

MERCADO MALDONADO, LAURA
Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana
de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora
Vivienda y Comunidades Sustentables, núm. 11, 2022, Enero-Junio, pp. 85-110
Universidad de Guadalajara

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665170661005>

Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora

Mitigation and adaptation of the urban heat island effect in hot dry climate. The case of Hermosillo, Sonora

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i1.187>

LAURA MERCADO MOLDONADO

<https://orcid.org/0000-0001-7687-4554> / laura.mercado@unison.mx

Universidad de Sonora, México

Recibido: 29 de junio de 2021. Aceptado: 05 de noviembre de 2021.

RESUMEN

En la ciudad de Hermosillo, Sonora en las últimas décadas, se ha transformado el uso de suelo, superficie urbana, densidad poblacional, tránsito vehicular y las actividades de la población, generando cambios en la climatología urbana, haciendo presente el fenómeno llamado Isla de Calor Urbana (ICU) que deteriora las condiciones ambientales y de habitabilidad urbana principalmente en comunidades vulnerables de clima cálido seco (Ruiz, Correa, & Cantón, 2012). Es así que conocer la ubicación y morfología de la ICU se hace relevante en cuanto a planeación urbana, a manera de herramienta de diseño para el análisis y mitigación de la misma y aumentar la resiliencia de la ciudad frente a estos efectos del Cambio Climático.

El objetivo del presente trabajo es identificar las causas que provocan la formación del fenómeno como el remplazo de superficies naturales por artificiales, selección de materiales del entorno urbano y su geometría y aumento en el calor antropogénico a través del tránsito vehicular y alto consumo de sistemas de climatización por las altas temperaturas características del clima cálido seco. También exponer los efectos a la población que intervienen en la formación de ICU en la mancha urbana de Hermosillo, en relación

al deterioro del ambiente y a la salud, que permitan proponer y validar el uso de estrategias de mitigación principalmente en lugares desérticos donde el elemento hídrico es escaso y la vulnerabilidad ambiental y de salud pública es más latente, esto en busca de la adaptación al confort térmico urbano y mejorar la habitabilidad de espacios urbanos, salir a disfrutar las calles, admirar el paisaje y fomentar el contacto social.

La metodología es de carácter experimental, con el método de transectos en los principales ejes de la estructura urbana, así como una metodología comparativa para contrastar información meteorológica y satelital. Un método cualitativo de tipo descriptivo es utilizado para abordar las variables de mitigación y cuantitativo correlacional con el caso de estudio a través de un análisis de las causas del fenómeno y medidas de control analizadas.

Los resultados muestran propuestas de mitigación que tienen como principal énfasis estudiar la trayectoria solar y brindar sombras, incrementar vegetación arbórea xerófila, aprovechamiento de agua pluvial con jardines de lluvia, reemplazo de superficies horizontales para aumentar su albedo y control de calor antropogénico interviniendo la configuración del cañón urbano. Finalmente se conceptualizan medidas de adaptación en el marco de políticas públicas de enfoque integral

a través del instrumento de la planeación urbana para reducir la vulnerabilidad a los efectos adversos de las altas temperaturas en el espacio público.

El principal hallazgo de las estrategias presentadas para clima cálido seco, es la incorporación de la vegetación arbórea que además de aportar enfriamiento evaporativo, su principal función como mitigación a la ICU, es control de radiación solar directa a fin de proveer sombras a las superficies urbanas artificiales ya sea en vialidades, banquetas y objetos arquitectónicos y en superficies naturales, ya que el suelo natural del desierto tiene una alta capacidad de absorción térmica. Por otra parte, localidades en clima cálido seco estimulan el uso del aire acondicionado de manera continua lo que implica una limitante en el control de calor antropogénico, sin embargo, se plantean medidas de adaptación en relación a la arquitectura bioclimática para balancear los valores de consumo energético.

Estas herramientas son relevantes para una planeación urbana y políticas públicas ambientales del fenómeno, que consideren técnicas para reducir la intensidad de ICU esto implicará una adaptabilidad ambiental ante los fenómenos del cambio climático lo que favorecerá la sustentabilidad de la ciudad

Palabras clave: Clima Cálido Seco, Habitabilidad Urbana, Isla de Calor Urbana, Transectos térmicos, Urbanismo Sustentable

ABSTRACT

In the city of Hermosillo, Sonora in the past decades, land use, urban surface, population density, vehicular traffic and population activities have been modified, generating changes in urban climatology, resulting in the phenomenon called Urban Heat Island (UHI), which deteriorates environmental conditions and urban habitability, especially in vulnerable communities with a hot dry climate (Ruiz, Correa, & Cantón, 2012). Thus, knowing the location and morphology of the UHI is relevant in terms of urban planning, as a design tool for its analysis and mitigation and

to increase the resilience of the city against the effects of climate change.

The purpose of this paper is to identify the causes that lead to the formation of this phenomenon, such as the replacement of natural for artificial surfaces, the choice of materials in the urban environment and their geometry, and the increase in anthropogenic heat generated by vehicular traffic and the high demand for air conditioning systems due to the high temperatures characteristic of the hot dry climate. Also to present the effects to the population that intervene in the formation of ICU in the urban area of Hermosillo, in relation to the deterioration of the environment and health, that allow propose and validate the use of mitigation strategies especially in desert places where the water element is limited and the environmental and public health vulnerability is more significant, this in pursuit of the adaptation to urban thermal comfort and improve the habitability of urban spaces, go out to enjoy the streets, admire the landscape and encourage social contact.

The methodology is experimental, with the transect method in the main axes of the urban structure, as well as a comparative methodology to contrast meteorological and satellite information. A descriptive qualitative method is used to address the mitigation variables and a quantitative correlation with the case study through an analysis of the causes of the phenomenon and the control measures analyzed.

The results show mitigation measures with the main emphasis on studying the solar path and providing shade, increasing xeric tree vegetation, rainwater management with rain gardens, replacing horizontal surfaces to increase albedo, and controlling anthropogenic heat by altering the configuration of the urban canyon. Finally, adaptation measures are conceptualized within the context of public policies with an integral approach through the tool of urban planning to reduce vulnerability to the adverse impacts of high temperatures in public spaces.

The main finding of the strategies described for hot dry climate is the incorporation of trees

which, in addition to providing evaporative cooling, its primary function as mitigation to the ICU, is the control of direct solar radiation in order to provide shading to artificial urban surfaces, whether in roads, sidewalks and buildings and natural land, since the natural soil of the desert has a high thermal absorption capacity. On the other hand, locations in hot dry climate encourage the use of air conditioning constantly, which implies a limitation in the control of anthropogenic heat, however, measures are proposed in relation to bioclimatic architecture to balance the values of energy consumption.

These tools are relevant for urban planning and environmental public policies that consider techniques to reduce the intensity of ICU, which will imply an environmental adaptability to climate change events that will favor the sustainability of the city.

Keywords: Hot Dry Climate, Sustainable Urbanism, Thermal Transects, Urban Habitability, Urban Heat Island

INTRODUCCIÓN

Las ciudades son consideradas como la forma territorial más eficaz de la modernidad, se configuran de un tejido que entremezcla el entorno artificial de espacios construidos y el natural a través de espacios verdes, donde la habitabilidad urbana en parques, jardines y espacios públicos, están en función del confort térmico. Actualmente, estos espacios resultan inconfortables a causa de las condiciones extremas del clima y la modificación del balance energético lo que afecta la calidad de vida urbana y los usos tradicionales del espacio donde un individuo desarrolla características biológicas, sociales, económicas, culturales, ideológicas y psicológicas. Es por ello, que el rescate del espacio público y habitabilidad urbana en climas áridos es de los motivos principales de controlar los fenómenos causados por la urbanización acelerada como la Isla de Calor Urbana a través de estrategias de mitigación y adaptación al fenómeno en ciudades de clima cálido seco.

La transformación del uso de suelo nativo por superficies no reflectivas e impermeables que absorben un alto porcentaje de radiación solar incidente, desarrollan con el paso de los años Islas de Calor Urbanas (ICU), definido por Tim R. Oke (1987) como la presencia de aire más caliente en la zona urbana que sus alrededores, por su parte la agencia de protección ambiental (EPA, 2009) le denomina perfil de ICU, aquel que muestra su intensidad y cambia con los meses de acuerdo con la cantidad de radiación incidente. La presencia del fenómeno provoca cambios en el medio ambiente traducidos en un aumento de temperatura y contaminación del aire impactando las temperaturas urbanas, la salud, el consumo energético, la estética del paisaje y la memoria colectiva¹ que tienen relación directa con el confort de una población, además en las ciudades de clima cálido seco es donde se registra mayor vulnerabilidad ambiental a los efectos adversos del Cambio Climático que el resto de los ecosistemas (Casillas-Higuera, García-Cueto Rafael, & González-Navarro, 2014).

Debido a lo anterior, en los últimos años se ha mostrado interés en el urbanismo sustentable, que surge a partir de la búsqueda de una solución que permita la implementación de programas ambientales que propicien soluciones integrales enfocadas a un desarrollo urbano sustentable, a favor del aprovechamiento de recursos naturales (Ruiz, Correa, & Cantón, 2012). Por otra parte, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son oportunos ya que en uno de sus apartados hace referencia a urbes más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles en atención al acelerado crecimiento urbano donde más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades, además se incluye una sección referente al cambio climático que adopta medidas para combatir sus efectos ya que se registró el 2019 como el año más caluroso en toda la historia (ONU, 2020).

Con respecto a las ciudades desérticas, las mitigaciones en la literatura estudiada se basan

1. Definida por Pedro Brandao (2011), como una identidad espacial producto de experiencias que guarda en su memoria una comunidad.

principalmente en cinco puntos: 1) Reducir el consumo energético de la ciudad, 2) Selección de materiales superficiales, 3) Densificación con crecimiento vertical, 4) Aumentar la flora y 5) Optimizar el recurso del agua.

En la búsqueda de estudiar las características, morfología e intensidad de ICU en climas cálidos, se estudia el fenómeno a meso escala y escala local que permitan analizar las diferencias térmicas de la zona periurbana al centro de la ciudad, así como analizar áreas de intervención críticas y ofrecer estrategias de mitigación y adaptación. Es así como se elige la ciudad de Hermosillo, Sonora como la unidad de análisis para el caso de estudio de ICU ubicado en el desierto continental de Sonora que se caracteriza por ser árido y con altas temperaturas de aire y de superficie. De acuerdo con Villalobos (2018) el desierto de Sonora posee un área alrededor de 223,009 km² donde el 71% se encuentra al noroeste de México, formando un paisaje rico con variación ecológica, climática, edáfica y topográfica.

En Sonora, la transformación de uso de suelo de las tierras para la agricultura, el disturbio antrópico, praderas para uso pecuario, minería, urbanización y desarrollos costeros, son las principales causas de los cambios en los ecosistemas de la localidad. En la capital, la ciudad de Hermosillo la población es dispersa con desarrollos de baja densidad, discontinuos y fragmentados donde las edificaciones y pavimentos en áreas urbanizadas, hoy absorben e irradian más calor que el original desierto natural que fue remplazado (Rosheidat & Bryan, 2010). Por su parte la actuación de gestión y gobernanza urbana de la localidad no parece priorizar en las políticas públicas el aspecto ambiental, donde organismos y dependencias gubernamentales aparentemente están desarticulados cuando se presenta la vulnerabilidad y riesgos generados por la propia población y grandes proyectos urbanos.

Es así que el presente trabajo busca ubicar la ICU en la localidad de Hermosillo, Sonora con clima cálido seco y proponer estrategias de mitigación y adaptación al fenómeno que pueda ser reconocidos en la práctica de la planeación urbana.

IMPACTO DE ISLA DE CALOR URBANA EN LA VIDA URBANA DEL DESIERTO

ISLA DE CALOR URBANA. CAUSAS Y EFECTOS

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos² (EPA, 2009), existen dos tipos de Isla de Calor Urbana. La ICU superficial, se refiere a la capa inmediata del suelo y se caracteriza por ser más intensa durante el día y la ICU atmosférica, que contiene dos capas, la Capa Urbana (UCL³) refiriéndose a la capa de aire donde se vive desde el suelo hasta el tope de los edificios y la Capa Límite Superficial (UBL⁴) que se presenta a partir de la UCL y su altura varía en el día y la noche.

Por su parte, T.R. Oke (1987) plantea la UCL bajo una micro escala y el clima está determinada por la naturaleza inmediata de su alrededor, mientras la Capa Límite Superficial (UBL) se refiere a la capa de aire adyacente a la superficie de los techos de los edificios. Así mismo en su obra *"The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects"* (1995) establece una clasificación de Isla de Calor Urbana separándolos en fenómeno diurno y nocturno, el primero con capas turbulentas, cálidas, secas y contaminadas de 1 km hasta 40 km de altura y diferencias de temperatura del aire de 1.5°C y el segundo posee de 100 m a 300 m de altura; justo arriba de la capa límite urbana el aire se vuelve ligeramente más fresco.

En las ciudades del desierto, el fenómeno además se intensifica con la presencia de *Olas de Calor*⁵ aumentando la intensidad de ICU y en consecuencia tiene mayores efectos adversos por el clima árido tales como mayor consumo energético, incremento de contaminación y afectación en la salud pública (Yves, y otros, 2021; Rizwan, Dennis, & Chuncho, 2008), principalmente en la población vulnerable de entre 0 y 14 años de edad

-
2. United States Environmental Protection Agency (EPA) por sus siglas en inglés
 3. UCL. Por sus siglas en inglés Urban Canopy Layer
 4. UBL. Por sus siglas en inglés Urban Boundary Layer
 5. Las *Olas de Calor* son eventos asociados con calor o clima cálido, donde su duración son algunos días con vientos bajos, poca brisa y temperaturas altas (World Meteorological Organization, 2015).

y personas mayores ya que tienen una menor capacidad termorreguladora y los hace susceptibles a los efectos del calor, este porcentaje de habitantes tiene mayores índices de hospitalización, morbilidad y mortalidad (Nikolopoulou, 2004)

Como lo hace notar Golden (2010), los desiertos se caracterizan por tener cielos claros incrementando la cantidad de radiación solar que llega a la superficie aumentando con esto las temperaturas diurnas. A una altura de 1.5 m, el rango diurno es comúnmente 40°C, y se ha encontrado que alcanza los 56°C en sitios de climas áridos como Tucson, Arizona. En función de lo planteado, Tim R. Oke (1987) argumenta que en la superficie del desierto no impactado, puede incluso acercarse a 80°C ya que el desierto natural tiene grandes capacidades de almacenamiento de calor, si la temperatura del aire se eleva, el suelo árido lo hará rápidamente y por la noche al refrescar, los suelos naturales se enfrián velozmente; pero una vez que este desierto natural se ve impactado con el cambio de superficies naturales por concreto y asfalto, convirtiéndose en áreas urbanas, este equilibrio natural se altera y está directamente relacionado con el Factor de Cielo Visible y las proporciones de calle o espacios urbanos.

De acuerdo con la historia de las ciudades, las comunidades a través de los años van creciendo en densidad aumentando y cambiando el área de ocupación del suelo impactando negativamente el territorio y los recursos naturales. Con esta transformación, es indiscutible que el microclima es alterado por el intercambio de superficies naturales por artificiales causando aumento de temperatura urbana. En relación a las causas que provocan ICU, son varios autores que analizan variables que contribuyen al calentamiento urbano. Rosheidat y Bryan (2010), afirman que la fuente principal de ICU sigue siendo la superficie horizontal urbana; Taslim, Parapari, y Shafaghat (2015) muestran una relación directa entre las ICU nocturnas y la proporción H/W de los cañones urbanos de la calle (altura de los edificios (H) y ancho de la calle adyacente(W)), también Wong y Lau (2013) afirman que el uso de suelo, zonificación y las actividades humanas,

influyen en la temperatura superficial urbana, así como el grupo de los edificios, modifican las condiciones climáticas del sitio por su composición, distribución, color y contaminantes que emiten al exterior

En la opinión de Rizwan et al. (2008) en su investigación titulada *"A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island"*, las causas de la presencia de ICU, se separan en dos grupos, el primer grupo es nombrado factores controlables y tiene relación con la orientación, diseño de infraestructura verde, Factor del Cielo Visto a través de la reglamentación urbana y planeación urbana, selección de materiales, diseño arquitectónico y urbano, el segundo grupo lo titulan factores incontrolables y se refiere a los parámetros climáticos tales como temperatura, humedad, vientos, precipitación, punto de rocío, radiación y asoleamiento, definidos por la latitud, altitud, topografía, orografía, hidrografía, albedo, evaporación, viento y su velocidad, nubosidad, entre otros.

Bajo estas perspectivas se concluye entonces que el entorno urbano tiene un impacto directo en la formación, intensidad y morfología del fenómeno por la transformación e impacto de cobertura urbana en la ciudad, la geometría urbana y su influencia en el microclima urbano, los materiales de la superficie y su condición térmica en el ambiente urbano y calor antropogénico.

En cuanto a los efectos, la presencia del fenómeno ICU presenta impactos negativos en el balance térmico principalmente en los espacios abiertos. El alto impacto en la demanda de sistemas de climatización incrementan el consumo de energía, causando el agotamiento de la capacidad térmica, un aumento en la contaminación en el aire adyacente modificando la calidad de aire misma (Rosenfeld, Akbari, Bretz, Sailor, & Taha, 1995), aumenta el calor antropogénico y los gases de efecto invernadero deteriorando las condiciones de confort, salud y calidad de vida.

Esta afectación de calidad de aire urbano promueve el crecimiento de bacterias y substancias tóxicas que provoca sensación de desconfort e impactos en la salud. También, el incremento de

tráfico vehicular se relaciona con la calidad del aire al aumentar el humo de los autos, la suspensión de partículas que contaminan el aire genera consecuencias en la salud a corto plazo como irritación nasal u ocular y otras más complicadas como la bronquitis crónica (Ellis, y otros, 2016)

En regiones desérticas donde el fenómeno de ICU se presenta, la demanda de agua potable se hace presente, ya que se utiliza como recurso de enfriamiento evaporativo, poniendo en riesgo a las comunidades vulnerables al no tener fácil acceso al vital líquido, amplificando el problema de contaminación ambiental y salud pública de los habitantes.

En México, la Secretaría de Salud Federal (2009), menciona que en temperaturas extremas como en climas cálido seco, la salud representa un riesgo, trayendo consecuencias relacionadas con enfermedades cardiovasculares, cancerígenas, respiratorias y un incremento en la susceptibilidad de alergias o infección en los pulmones (Giguère, 2012). Además, el número de incidentes de golpes de calor va en aumento, donde se presentan fenómenos climáticos como las Olas de calor y las Islas de Calor Urbanas

De acuerdo con el Consejo de Salubridad General (CSG, 2012), La Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization), estima que el número de muertes relacionadas con el calor extremo se duplicará en los próximos 20 años y en el periodo de 1950-2100, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel On Climate Change, IPCC) dice que se producirán cambios climáticos relacionados con temperaturas máximas (2017)

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN DE ISLA DE CALOR URBANA EN EL DESIERTO

De acuerdo a Li Xueqin y otros (2021), más del 90% de la población mundial que reside en desiertos o tierras áridas se encuentra en países en desarrollo donde la tasa de migración del campo a la ciudad seguirá aumentando por lo que sugiere más investigación con respecto a esta zona climática.

En ciudades desérticas, las mitigaciones expuestas a lo largo de la literatura estudiada se basan principalmente en cinco puntos: 1) Reducir el consumo energético de la ciudad, 2) Selección de materiales superficiales, 3) Densificación con crecimiento vertical, 4) Aumentar la flora y 5) Optimizar el recurso del agua. Estas estrategias tienen impactos en la ICU diurna y en la ICU nocturna. En localidades de clima cálido-seco, la Isla de Calor Urbana tiene la particularidad de presentarse como un fenómeno nocturno ya que en el día la temperatura de las superficies naturales del desierto posee gran capacidad de absorción de calor resultando en temperaturas superficiales más altas que las urbanas y es por la noche cuando estos suelos naturales que tienen una rápida liberación de radiación de onda larga se encuentran entonces más frescas que las superficies de la huella urbana. Los trabajos de Santamouris y Kolokotsa (2016), Taslim, Prapari y Shafaghat (2015), Xin y Ying (2019) y Shalaby (2011), plantean medidas de control con impactos diurnos, ya que, a pesar de ser un fenómeno comúnmente nocturno, el efecto de enfriamiento por vegetación urbana provee promedios efectivos en ciudades desérticas, así como hacer uso de infraestructura urbana sustentable y controlar el calor antropogénico, son herramientas que tienen consecuencias en el día, de un clima árido caracterizado por una intensa radiación solar (Wang, Zhao, Yang, & Song, 2016).

Por otra parte, autores como Caldas et al. (2019), Hernández (2020) y Kondo et al. (2021), afirman que falta participación y concientización de la sociedad en temas ambientales, anudado a la carencia de coordinación y colaboración entre los diversos sectores gubernamentales, es así que plantean estrategias de adaptación que exponen medidas de fortalecimiento en la participación de la sociedad para disminuir Islas de Calor en el espacio público en el marco de políticas públicas, implementar sistemas de calidad y disponibilidad de información en materia de gestión de agua, rehabilitación y recuperación de suelos forestales e instalar infraestructura para control de vulnerabilidad en zonas de riesgo. Palacio (2019),

expone que un plan de adaptación es necesario para articular y canalizar los recursos humanos, tecnológicos y económicos, que permita incorporar las amenazas climáticas con el fin de disminuir la vulnerabilidad ambiental.

IMPACTO DE ICU EN LA VIDA URBANA DEL DESIERTO

En la búsqueda de la habitabilidad hacia una mejora en calidad de vida urbana, es preciso estudiar las condiciones que se desenvuelven en el ambiente urbano que permitan entornos favorables, apropiados y vividos por el pueblo, a fin de comprender el incremento de patologías sociales⁶ urbanas propiciadas por el diseño. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) dentro de los informes de salud, menciona que no solo la ausencia de enfermedad o padecimiento definen la calidad de vida, sino también el estado de bienestar físico, mental y social.

De acuerdo con Sosa, Correa y Cantón (2017), el confort térmico⁷ en áreas exteriores es uno de los factores que influye en la habitabilidad de los espacios públicos, por lo que implica un reto que el diseño responda al fortalecimiento de las interacciones y que al mismo tiempo disminuyan causas derivadas al cambio climático, además, los efectos de Isla de Calor Urbana en ciudades áridas, condicionan la habitabilidad térmica del espacio exterior.

En la ciudad contemporánea el desarrollo de ésta muchas veces no obedece a las necesidades regionales y por ende no se logra el confort; los espacios públicos son inhabitables y la práctica social se ve afectada por ello. Con la urbanización en un intento de atraer inversiones, llegó el mercado inmobiliario ubicando los desarro-

llos en zonas alejadas de centros urbanos, no accesible a servicios y equipamiento obligando a la población a recorrer grandes distancias y un mayor uso de recursos, servicios públicos y utilización de transporte. Cuando, la zonificación urbana de un lugar no es clara, por factores como inadecuadas orientaciones y múltiples usos de suelo y cercanía de equipamiento, los usuarios tienen dificultades para su movilidad y provoca la ausencia de vida urbana en espacios públicos (Schjetnan et al., 1997).

Desde la posición de Hernández (2000) los equipamientos públicos son fundamentales en cualquier estrategia de interacción social ya que no necesitan generar recursos económicos son de propiedad colectiva y es posible sustentar una red social, también argumenta que la pérdida de los espacios colectivos, son sustituidos por privados de carácter lucrativo, situación que se observa en muchas ciudades del mundo.

Los ciudadanos perciben el espacio en función de posibilidad de apropiación y accesibilidad. Citombart (1978), señala que la apropiación de un lugar no es hacer una utilización reconocida, sino establecer una relación de vivencias propias y convertirse en actor de su propia transformación.

La planificación urbana no contempla en algunas ocasiones adecuada conectividad entre los espacios públicos y se perciben como lugares de transición, inseguros y no confortables; no son áreas diseñadas para habitarlos y provocan un encierro voluntario, haciendo todavía mayor el uso de los espacios privados, aumentando el uso de sistemas de climatización. Es entonces que Hernández (2000), sugiere que para garantizar la supervivencia de la sociedad surge la responsabilidad ecológica, como un reclamo de una ciudad para ciudadanos, que reconozca la calidad de vida a través de un proyecto de sustentabilidad que responde a tres cualidades, i) la libertad individual, que habla del tiempo y espacio dominado por el poblador con libre elección de lugar, participación, contacto social y apropiación del espacio, ii) la responsabilidad social que se refiere a actividades sociales para el desarrollo humano en espacios urbanos y, iii) la responsabilidad

6. De acuerdo con la Real Academia Española Fuente especificada no válida, la patología social es una conducta anormal dentro de la sociedad.

7. Definido Según la norma de los estándares internacionales ISO 7730 (2005) y la ANSI/ASHRAE 55 (2013) como “*aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico*”, según Lacomba et al. Fuente especificada no válida, como el equilibrio térmico que logra el cuerpo humano en un ambiente dado y que le permite desarrollar sin dificultad ni molestia cualquier actividad física o mental y Nikolopoulou (2004), como “*la satisfacción psicofisiológica del humano con respecto a las condiciones climáticas del entorno*”.

idad ecológica que habla de una nueva estructura urbana que garantice la calidad del entorno al no consumir recursos ni producir residuos ya que la ciudad y los procesos que la animan, resultan de las actividades de los que interactúan en ella.

Lezama y Domínguez (2006), señalan que, actualmente, la tendencia del urbanismo es ambientalista en búsqueda de coherencia con el entorno necesario para el desarrollo del ser humano, que implica bienestar social, que tiene a ideas y prácticas amplias de justicia, democracia e igualdad con elementos para un acceso equitativo, igualitario y democrático de la riqueza natural y no solo por protección ambiental, argumentan también que en Latinoamérica la sustentabilidad está vinculado a la gobernabilidad, ya que se requieren estrategias de desarrollo particulares para cada situación por lo que se vuelve un desafío alcanzar la sustentabilidad en un ambiente construido. Así mismo, sugieren que la interacción del medio ambiente en políticas y toma de decisiones obliga al cambio de algunas categorías normativas y surgen conceptos como el de participación, información, democracia ambiental que se refiere a un sistema de gobierno participativo donde el ciudadano tiene voz para defender su derecho al medio ambiente.

Es por ello por lo que el rescate del espacio público y habitabilidad urbana en climas áridos es de los motivos principales de controlar los fenómenos causados por la urbanización acelerada como la Isla de Calor Urbana a través de estrategias de mitigación y adaptación del fenómeno en ciudades de clima árido que permitan moderar los daños o incluso aprovechar las oportunidades de estos cambios.

LA CIUDAD DEL SOL: HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO

Hermosillo, Sonora, ubicado en el desierto de Sonora, es de las ciudades más cálidas del noroeste de México presentando mayor frecuencia de días cálidos (Fig.2). Se localiza en la latitud 29°05'56" Norte y longitud 110°57'15" Oeste, con una altitud

promedio de 221 msnm. Ubicada dentro de una zona árida que de acuerdo a la escala climática de Köppen BW(h')hw(x')(e') corresponde a clima seco de desierto con vegetación xerófila o sin vegetación, muy extremoso con lluvia irregular y escasa. Se señala también que conforme a modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen propuestas por Enriqueta García (2004) el clima BW designado como desierto, se reclasifica como clima muy árido o muy seco, también a la designación de clima con invierno seco(w) se adopta por clima con lluvia en verano.

La localidad recibe una extensa cantidad de radiación en el periodo de verano que supera los 1,000 W/m², aumentando las temperaturas del suelo donde incide como en espacios exteriores afectando el confort térmico, factor que influye en la habitabilidad de los espacios públicos, por lo que resulta un reto que el diseño responda al fortalecimiento de las interacciones y que al mismo tiempo disminuyan cambios derivados al cambio climático.

El Sistema Nacional Meteorológico, lo posiciona en una región cálida seca registrando una temperatura máxima promedio mensual de 38.8°C en agosto y una mínima promedio mensual de 23.8°C en enero (CONAGUA, 2020), temperaturas que varían de acuerdo a la configuración de la ciudad. Es de notarse la razón por la que los habitantes prefieran pasar parte de su día en los interiores aumentando el consumo energético por aire acondicionado.

En base a la herramienta Climate Consultant (Liggett y Milne, 2008) que permite visualizar parámetros climáticos a través de un archivo de datos climáticos, de cualquier lugar del mundo, se ingresó el registro correspondiente a la ciudad de Hermosillo, Sonora (*.epw) y así obtener la información climática respecto al caso de estudio. La Figura 2, muestra la matriz de temperatura de la ciudad, donde las máximas extremas se localizan en junio, julio y agosto, sin confort en ninguna hora del día. En cuanto a diciembre y enero se muestran temperaturas frescas durante todo el día carentes de confort.

FIGURA 1

Temperatura máxima promedio mensual, agosto 2020

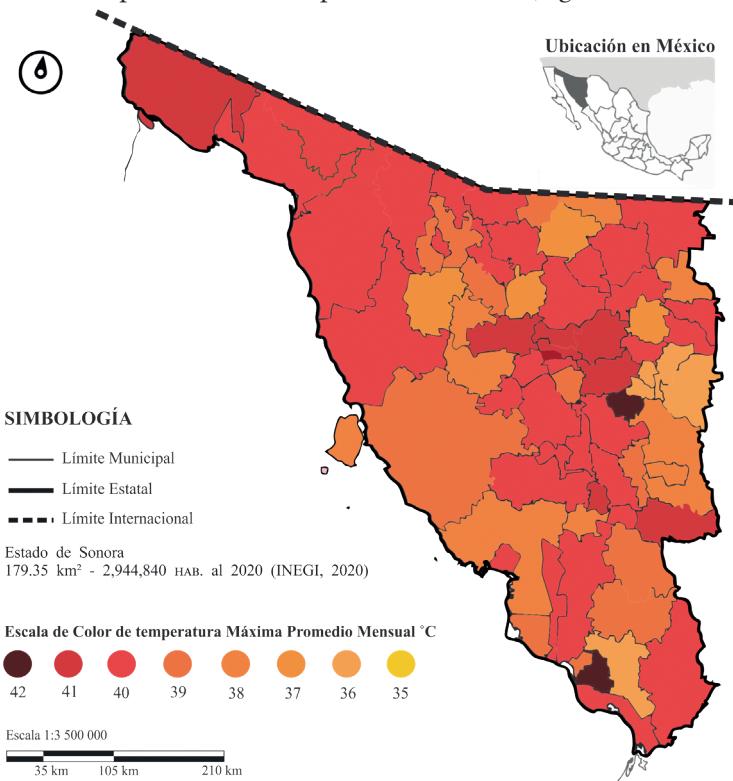
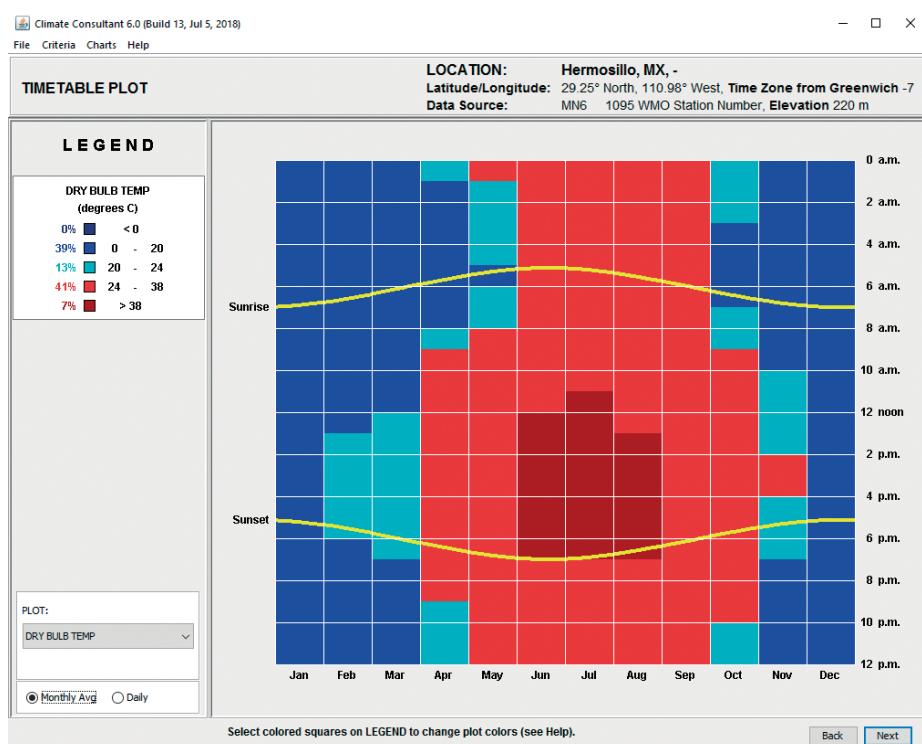


FIGURA 2

Matriz de temperaturas en Hermosillo, Sonora



En el municipio de Hermosillo, los primeros antecedentes de planeación urbana sucedieron apenas en el año 2000 con el nacimiento del instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), su crecimiento urbano se encontró sujeto a normatividades dispuestas por el IMPLAN, y a intervenciones de megaproyectos con el plan Sonora Proyecta⁸ que no contemplaban el impacto ambiental como la perdida de flora y fauna local, escasez de mantos acuíferos, desviación de ríos, contaminación e impacto social con la generación de zonas baldías, falta de infraestructura para los nuevos desarrollos urbanos, perdida de espacios públicos y áreas verdes solo por exponer algunos, dando como consecuencia impactos sociales de marginación y conflictos de integración cultural.

Por otra parte con la llegada del mercado inmobiliario de acuerdo al Programa de Desarrollo Urbano para el Centro de Población de Hermosillo (IMPLAN, 2007), la ciudad comenzó un proceso de expansión derivada de conjuntos habitacionales en zonas alejadas de centros urbanos no accesible a servicios y equipamiento obligando a la población a recorrer grandes distancias y en consecuencia un elevado uso de recursos, servicios públicos y utilización de transporte, lo que ha generado una pérdida y desfragmentación del espacio público, donde se perciben como un lugar de transición, inseguro y no confortable; no son diseñados para habitarlos y provocan un encierro voluntario, haciendo todavía mayor el uso de los espacios privados, aumentando el uso de sistemas de climatización.

Ante la extensión inminente, se buscaba una planeación hacia la integración urbana derivado de sus principales ejes viales que se convertirían en ejes de crecimiento para la ciudad, dejando de crecer concéntricamente para apuntar heterogé-

neamente hacia todas direcciones, trayendo como consecuencia la proliferación de asentamientos dispersos en torno a la periferia (Estrada, 2018).

El impactante crecimiento demográfico que experimentó la ciudad a lo largo de las décadas, también lo presenta en extensión territorial, tan solo en la década 2000-2010 casi duplica el total de la superficie urbana que posee teniendo de acuerdo al Programa de desarrollo metropolitano de Hermosillo al 2010, 17,430 hectáreas impactando de gran manera el ecosistema del territorio y su medio ambiente (IMPLAN I. M., 2018). En la Figura 3, se expone el crecimiento de la mancha urbana en la localidad de Hermosillo, Sonora a través del tiempo.

Posteriormente, en el año de 2014, se actualizó el Programa de Desarrollo del Centro Urbano de Hermosillo para establecer nuevos parámetros en su crecimiento, sin embargo de acuerdo a Estrada (2018) los principales factores que inciden en el desarrollo de la ciudad se dan a partir del marketing político atendiendo los intereses particulares de cada administración gubernamental

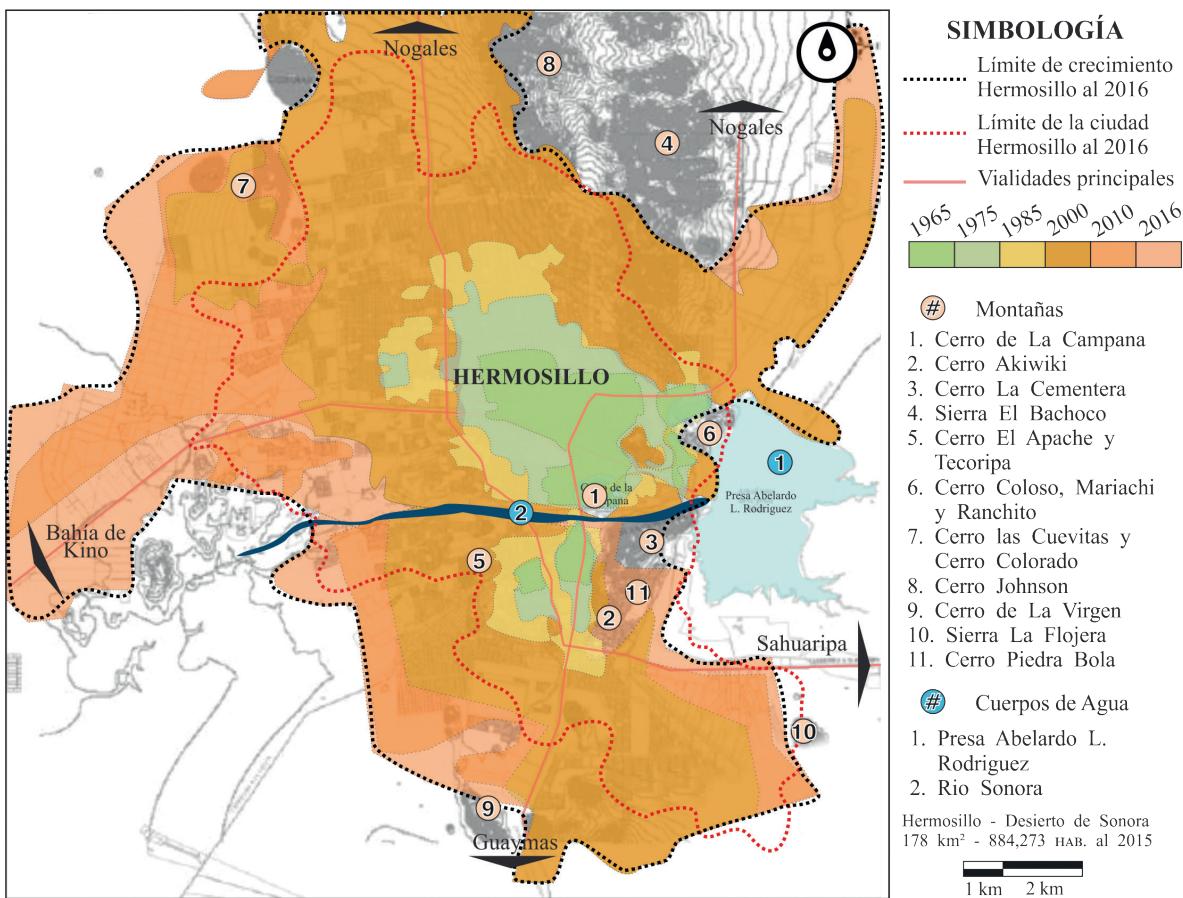
La capital de Sonora fragmentada, segmentada y desigual, al 2015 contaba con 3,675,556 m² de áreas verdes, lo cual representa el 2.08% de la superficie total urbana, traducidas en 5.14 m² de área verde por habitante (IMPLAN I. M., Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2013-2015, 2014), presentando un déficit, ya que la OMS establece un mínimo de 9 m² por habitante (ONU-Hábitat, 2015).

En un esfuerzo por incluir la sustentabilidad urbana en la planeación de la ciudad de Hermosillo, se han llevado a cabo distintas acciones, en el año 2015 el Instituto Municipal de Planeación junto con un grupo de investigadores formaron parte del Proyecto de Resiliencia Urbana ante Eventos Extremos Climáticos⁹ trata de una red colaborativa de científicos y profesionales de diversas localidades del mundo para implementar infraestructura urbana resiliente ante futuros eventos extremos, este estudio coordinado desde la Universidad Estatal de Arizona (A.S.U.) se realizó

8. El Plan Sonora Proyecta durante la administración de Eduardo Bours Castelo 2003-2009, se plantea el desarrollo a la imagen e infraestructura en el estado de Sonora con más de 100 obras que alcanzaba una inversión de 7 mil millones de pesos, dando formación al organismo denominado Operadora de Proyectos Estratégicos del Estado de Sonora (IMPULSOR), como operadora de los proyectos situados en el gran polígono de uso comercial en la zona del Vado del Río.

9. Urban Resilience to Extremes Sustainability Research Network (URExSRN) por sus siglas en inglés

FIGURA 3
Mancha urbana 1965, 1975, 1985, 2000, 2010, 2016



Fuente: Elaboración propia en base a Lagarda, Landeros, & Nieblas, 2009; Implan (2016)

en nueve ciudades de América y Latinoamérica entre ellas Hermosillo.

Con respecto a la necesidad de mitigar las altas temperaturas de la región, la urbanización de los últimos treinta años y la falta de espacios verdes en la ciudad, se establecen nuevas pautas de planeación en el diseño urbano para lo que respecta a la movilidad y usos de suelo en las políticas de crecimiento en la ciudad. Para el 2016, el IMPLAN publicó el Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos (IMPLAN I. M., 2016). Esta es una medida que puede ser considerada como un instrumento de participación ciudadana promovido por las autoridades para controlar los efectos del calentamiento global.

Pero no es hasta el 2018 que el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN I. M., 2018), desarrolla el Programa Parcial de Crecimiento Urbano del Sector Oeste de Hermosillo cuyo objetivo incluye la visión sustentable de la siguiente manera *"Ordenar y regular la actividad desarrollada en el territorio del centro de población, potenciando su actividad económica y propiciando oportunidades de desarrollo competitivo, sustentable y humano con visión de largo plazo, que ofrezca una mejor calidad de vida a sus habitantes"*. En el mismo año publican el Reglamento de Desarrollo Urbano y del Espacio Público para el Municipio de Hermosillo (IMPLAN, 2018), donde se afirma que la acelerada urbanización, ya rebasó la capacidad de las autoridades de planear y ordenar el territorio con un modelo de planeación de ciudad

sin flexibilidad, lo cual solo resultó en mayores problemas e informalidad y hace mención que el espacio público se encuentra reducido, en mal estado, privatizado, desatendido, inseguro y mal administrado.

Esta serie de medidas, normas y programas de orden de gestoría ambiental urbana tratan de establecer un entorno para mejorar la calidad de vida con una visión más integral en la ciudad de Hermosillo, a la necesidad de tener acceso a los equipamientos y espacios públicos con la característica de considerar en la gestión, proceso y diseño el elemento ambiental, pero sin embargo la condición de la zona árida todavía no prevalece como condición jerárquica. Por ello, resulta fundamental estudiar los fenómenos climáticos como el de la Isla de Calor Urbana, morfología, causas y efectos que provoca a manera de entenderlos y controlarlos a través de estrategias de mitigación y adaptación que pueda ser reconocidos en la práctica de la planeación urbana.

METODOLOGÍA

El presente trabajo busca observar la variación temporal de un día representativo de verano de Hermosillo, Sonora, para establecer una relación e impacto del entorno construido sobre las variables climáticas del sitio.

Es así que la unidad de análisis a meso escala es Hermosillo, Sonora, por lo que un modelo meteorológico con un análisis espacial y geo estadístico son los seleccionados, ya que los resultados dependen de las características regionales del sitio; el método para llevar a práctica el modelo es de carácter experimental debido a que las variables analizadas son medibles y tienen control y validez, con estaciones meteorológicas móviles y fijas con el método de transectos (Mobile units traverse method) y correlacional ya que permite relacionar distintos instrumentos y datos con el proceso de detección y monitoreo (Remote Sensing data) de imágenes satelitales, información meteorológica y levantamiento en campo.

De acuerdo con distintos autores como Oke T. (1987), Cueto (2006) y la Agencia de protección ambiental¹⁰ (2009) resaltan la importancia de estudiar el efecto del fenómeno diurno y nocturno para encontrar la distribución espacial y mencionan que la máxima intensidad se refleja de 3 a 5h después del amanecer. Es así que se seleccionan para colectar temperatura superficial de los materiales con iguales condiciones de exposición al sol, viento y temperatura del aire, los horarios correspondientes a las 9 h, ya que habrán pasado de 3 a 4 horas de salir el sol, las 15 h por ser el tiempo donde se desarrolla la mayor actividad humana y 21 h para observar las superficies después de 1 a 2 horas oculto el sol.

Además, se toman datos de 9 estaciones meteorológicas representativas de la ciudad, donde la estación *Misión del sol* será la representativa del área urbana y la estación *CIAD* del área de conurbación. La información es validada con datos recabados en campo por medio de contraste y comparación entre ellos registrados en instrumentos elaborados para el depósito de parámetros tales como materiales, temperatura superficial, vegetación, temperatura del aire, humedad y viento.

Para la selección del estudio a micro escala, las áreas de intervención de análisis, diagnóstico y estrategias de mitigación, se toma la morfología de la Isla de Calor Urbana y se ubican 2 muestras representativas en el periodo de verano en una cuadricula de 180 m. x 180 m. que corresponde a 3.2 hectáreas. Una de ellas se ubica en el sitio de mayor intensidad de ICU en el periodo de verano y la otra se desarrolla en la periferia de la zona urbana. Por último, se comparan con la temperatura superficial de las imágenes satelitales LANDSAT8 que tiene una resolución para sus bandas TIRS de 100 m. re muestreadas a 30 metros por pixel.

Las imágenes satelitales son obtenidas por USGS U.S. Geological Survey, Landsat 8, adquirido para la fecha del 29 de agosto de 2015 para cubrir el periodo de verano de Hermosillo, Sonora, fue procesada digitalmente y analizada para ex-

10. Environmental Protection Agency (EPA) por sus siglas en inglés

traer a una resolución espacial de 30 m. pixeles. Posteriormente se procesaron en el sistema de información geográfica ArcGIS 10.2.1, que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, se seleccionan las bandas 4-Red que mapea la vegetación, la banda 5-Near Infrared (NIR) que muestra el contenido de la biomasa y las costas, la banda 10-TIRS (Thermal Infrared Sensor) con una resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo y finalmente la banda 11- TIRS con una resolución de 100 m muestreadas a 30 metros por pixel, mapeo térmico mejorado y humedad estimada del suelo para obtener un mapa de temperatura superficial. Finalmente se genera el isoterma para con realizar una comparación y obtener la morfología final de la Isla de Calor Urbana superficial.

ÁREAS DE ESTUDIO

Se planifican los recorridos para las estaciones móviles, que cubran longitudinalmente y transversal la mancha urbana, destinando así vialidades que forman parte de la jerarquía de la estructura vial de la ciudad. Se seleccionaron los 3 ejes principales de la localidad, A) Blvd Solidaridad, siendo la vialidad principal de la ciudad con orientación norte-sur y una distancia de 20 km. B) Blvd. Luis Encinas y Blvd. Jesús García Morales, cruzando la ciudad de oriente a poniente con una longitud de 16 km y finalmente C) Blvd.

Vildósola, blvd. Rodríguez y blvd. Morelos, de 15 km norte-sur.

Para ubicar las intensidades de las ICU superficiales, es necesario levantar datos en distintas horas ya que las temperaturas se ven influenciadas por las superficies urbanas que las rodea; se destinó 9 h, 15 h y 21 h., horarios donde se realizó el trayecto en automóvil, parando en cada uno de los transectos localizados a 1 km de separación. El trabajo experimental de campo se realizó bajo el instrumento Kestrel 3000 Weather & Environmental Meter el día 25 de agosto de 2015.

MORFOLOGÍA DE ISLAS DE CALOR URBANAS DE HERMOSILLO

Al observar el comportamiento de temperatura del aire en los tres ejes, se presentan variaciones de temperatura por las propiedades térmicas de los materiales urbanos. Se puntualiza el Eje A como el transecto con temperaturas más altas se observan los puntos más cálidos de entre 42.6 °C y 42.7 °C en las intersecciones Av. de alborada (punto 8), blvd. Colosio (punto 9) y blvd. Luis Encinas (punto 10). Por otra parte, la Tabla 2 muestra la variación de temperatura en los tres horarios del punto periurbano y se da a conocer que por la mañana es la menor en los tres horarios.

TABLA 1

Temperatura del aire en transecto Solidaridad, periodo cálido

9 h	30.1	30.6	30.6	33.3	34	34.8	33.8	34.3	34.8	34.4	34.3	34.9	33.7	36	35.2	34	35.5	35.5	36.6	37.1
15 h	37.6	40.7	32.2	38.3	31.8	38.8	40.1	40.2	41.2	42.6	42.7	41.5	41.4	41.2	40.2	41.5	40.4	39.7	39.6	39.8
21 h	31.8	32.2	32.2	38.3	31.8	32.3	32.3	32.4	32.2	33.5	33.5	33.2	33.4	34	33.7	33.5	32.9	33.2	32.5	32.5
punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

Fuente: Elaboración propia con datos colectados en campo de agosto 2015

FIGURA 4

Ubicación de transectos móviles y estaciones fijas en la mancha urbana de Hermosillo, Sonora

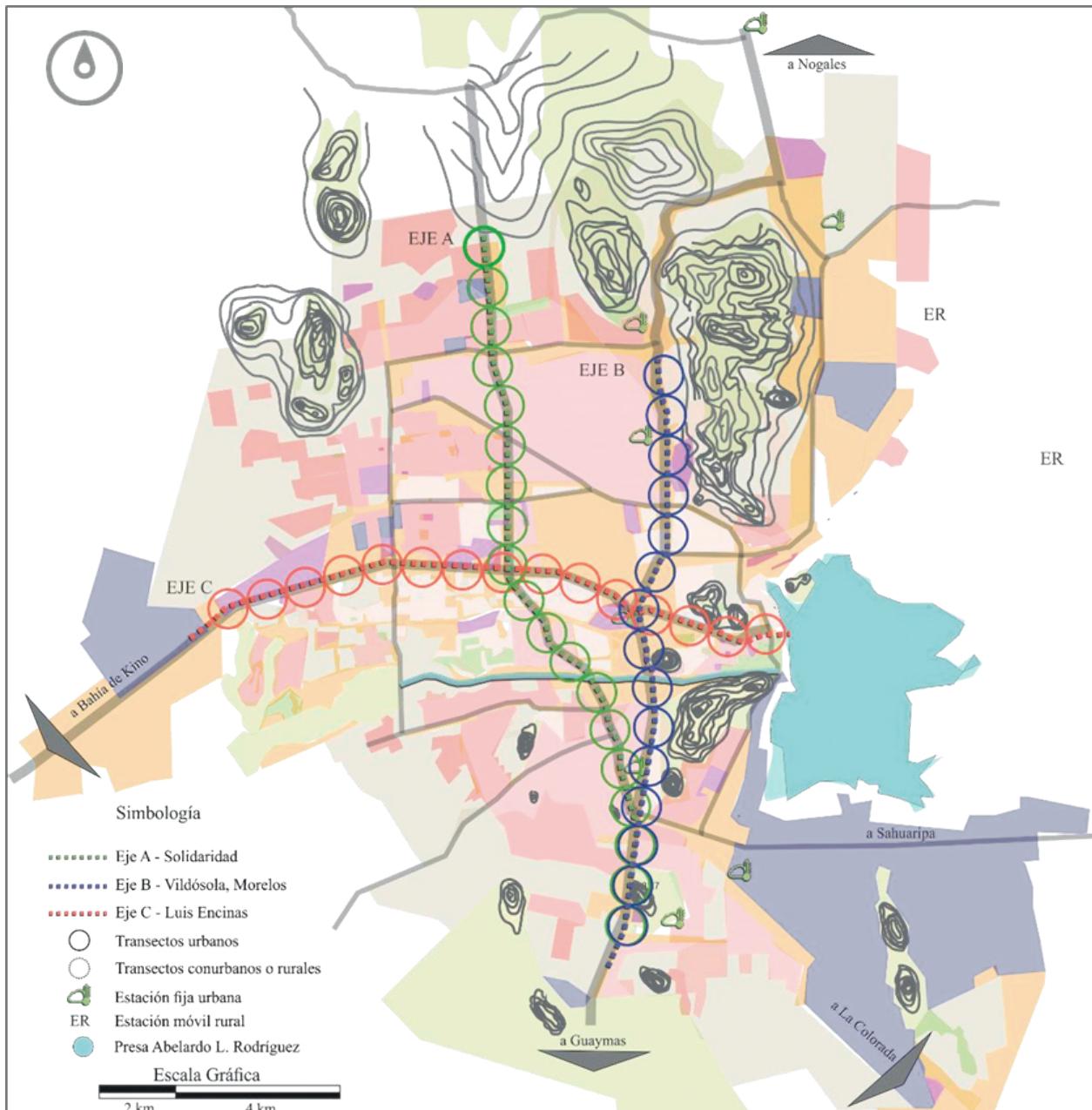


TABLA 2

Temperatura del aire en transecto La Victoria (ER),
periodo cálido

Hora	°C
9 h	30
15 h	38.9
21 h	31.4

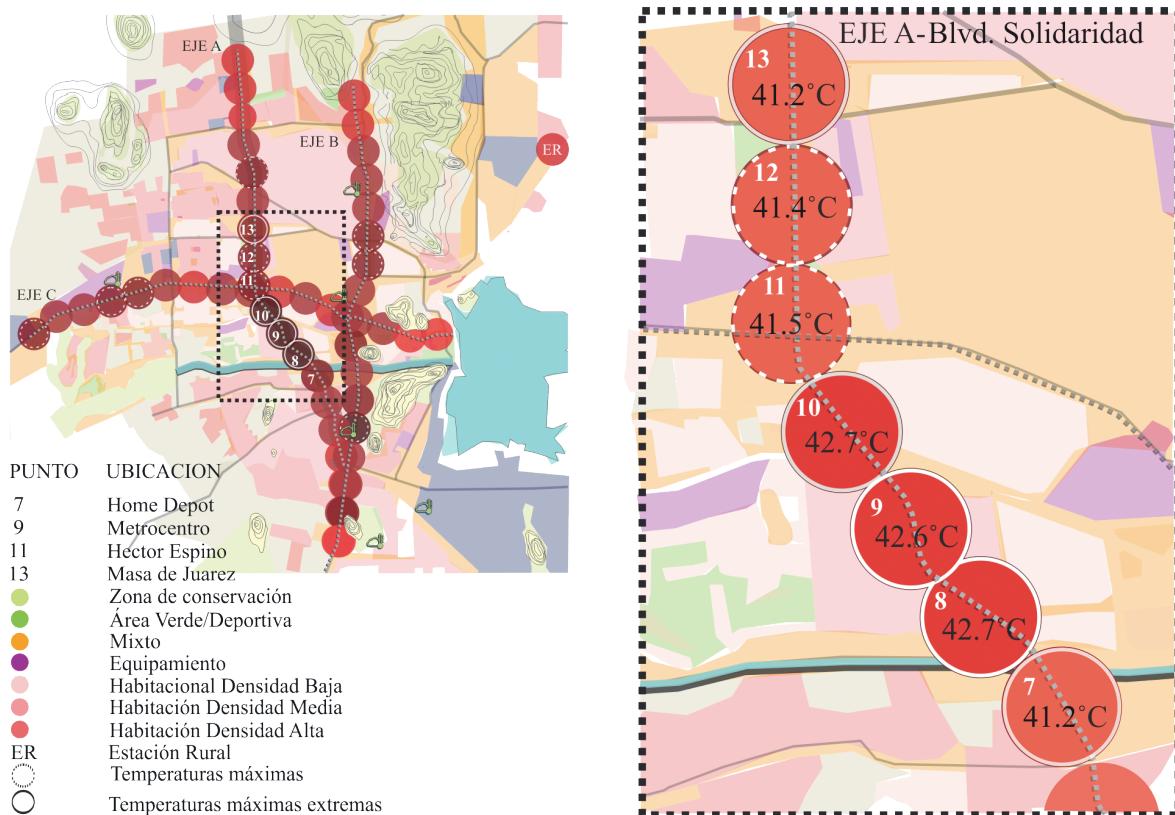
Fuente: Elaboración propia con datos colectados en campo de agosto 2015

La Figura 5, muestra las temperaturas del aire en escala de colores de los tres transectos a las 13 h. y se ubican los puntos más cálidos sobre el Eje A.

Para contrastar la información, se exhibe en la Figura 6 las temperaturas superficiales obtenidas del satélite Landsat adquirido de la fecha 29 de agosto de 2020 las cuales fueron procesadas en el sistema de información geográfica ArcGIS 10.2.1 con el uso de las bandas 10-TIRS (Thermal Infra-

FIGURA 5

Temperatura del aire en transectos de agosto 2015 de Hermosillo, Sonora



Fuente: Elaboración propia, 2019.

red Sensor) con una resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo y finalmente la banda 11- TIRS con una resolución de 100 m re muestradas a 30 metros por pixel, mapeo térmico mejorado y humedad estimada del suelo para obtener un mapa de temperatura superficial del territorio hermosillense dando a conocer que las temperaturas se presentan como en un típico desierto continental con diferencias significativas entre lo urbanizado y lo rural. Además, se le agregaron los transectos de estudio y se afirma que el eje A es el de mayor temperatura dentro de la mancha urbana.

A partir de este contraste de información se generó el Isoterma de la temperatura superficial de los datos colectados en campo de transectos de la temperatura del aire y la imagen Landsat de la temperatura superficial, y con esto se plantea la presencia de varias Islas de Calor Urbana di-

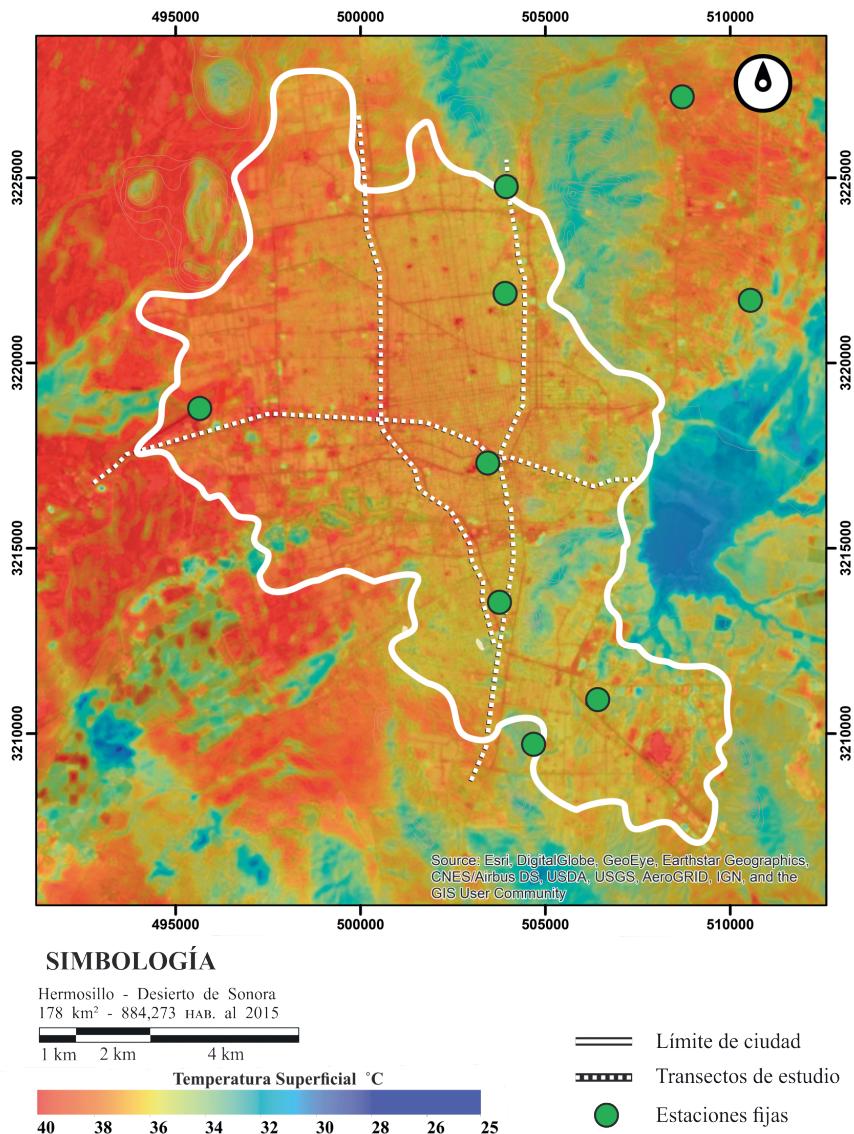
urnas (ICU_d) así como la morfología registrada en el periodo cálido (Figura 7).

Al examinar a fondo el área urbanizada, se sitúan ICU_d con mayor intensidad caracterizadas principalmente por formarse en zonas de alta densidad vehicular y poblacional con materiales de bajo albedo donde se obtiene una absorción amplia de radiación en la superficie del suelo y el 90% es asfalto en color oscuro.

Puntualmente se localiza una Isla de Calor al centro de lo urbanizado identificada como blvd. Solidaridad entre avenida de Alborada y blvd. Luis Encinas, este sitio presenta temperaturas altas (43°C) con respecto a la zona periurbana (38°C) con una morfología que obedece a la geometría urbana, uso de suelo mixto y equipamiento, materiales no permeables de bajo albedo, escasa vegetación y calor antropogénico generado por densidad vehicular, también otra ICU_d se presenta

FIGURA 6

Temperatura superficial de agosto 2015 en la huella urbana de Hermosillo, Sonora



Fuente: Elaboración propia, 2019

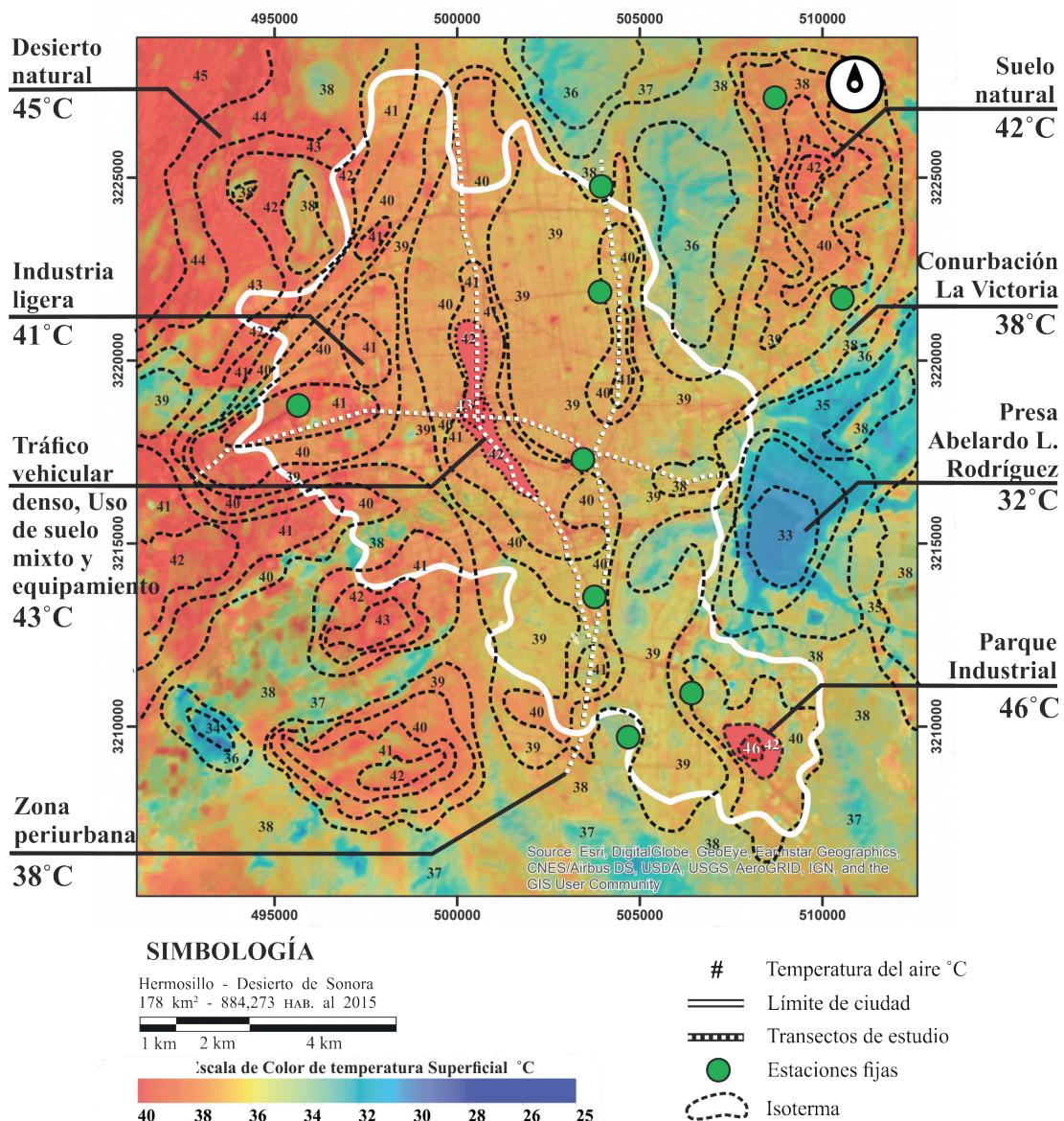
en el uso de suelo correspondiente a la industria ligera y el aeropuerto internacional al noroeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora registrando hasta 41°C de temperatura del aire y finalmente se forma otra isla en el uso de suelo industrial al sur de la localidad y su morfología respeta los límites de las empresas que arrojan CO₂ al ambiente registrando una temperatura de 46°C.

Obtenida la morfología de Isla de Calor Urbana diurna en el horario de 15 h, se determinó

la intensidad del fenómeno (datos levantados en campo de temperatura del aire) a partir de la relación que Oke (1987) ha expuesto entre las temperaturas urbanas y rurales para determinar su intensidad con la expresión fjT_{u-r} , donde:
 fjT = Diferencia de temperatura
 u = Temperatura urbana
 r = Temperatura rural
 p = Temperatura periurbana

FIGURA 7

Mapa de Isotermas de agosto 2015



Fuente: Elaboración propia con información de Landsat 8, 2019

TABLA 3

Cálculo de intensidad de ICU diurna urbana

Periodo cálido
ΔT_{u-r}
$\Delta T = 42.6 - 45.7$
$\Delta T = -3.1$

Fuente: Elaboración propia, 2020, con datos colectados en el campo de agosto 2015

TABLA 4

Cálculo de intensidad de ICU diurna en la zona

Periodo cálido
ΔT_{u-p}
$\Delta T = 42.6 - 38.9$
$\Delta T = 3.7$

Fuente: Elaboración propia, 2020, con datos colectados en campo de agosto 2015

Como se espera, la ICU_d resulta negativa (Tabla 3), ya que el suelo natural del desierto acumula más calor que el suelo urbano. Pero si buscamos analizar dentro de la mancha urbana, la intensidad de ICU el ente la zona urbanizada y lo periurbano, la intensidad de ICU_d del centro urbano es más amplia a causa del bajo albedo de los materiales superficiales del entorno en el blvd. Solidaridad y av. de Alborada (Tabla 4).

La práctica de construir el diseño vertical con distancias pequeñas entre ellos ayuda a interceptar la radiación solar sin permitir que llegue a las superficies para calentarlas, pero en Hermosillo no sucede esta situación, debido a que se caracteriza por ser una ciudad con edificaciones horizontales, provocando el acceso de radiación solar al cañón urbano, aumentando la temperatura superficial y haciendo el proceso de enfriamiento lento por la noche, asociado principalmente a las características térmicas de los materiales en las zonas urbanas. Por su parte, el punto de conurbación cuenta con un porcentaje de superficies permeables y hay mayor presencia vegetal en la zona.

MEDIDAS DE MITIGACION AL FENOMENO ICU DE HERMOSILLO

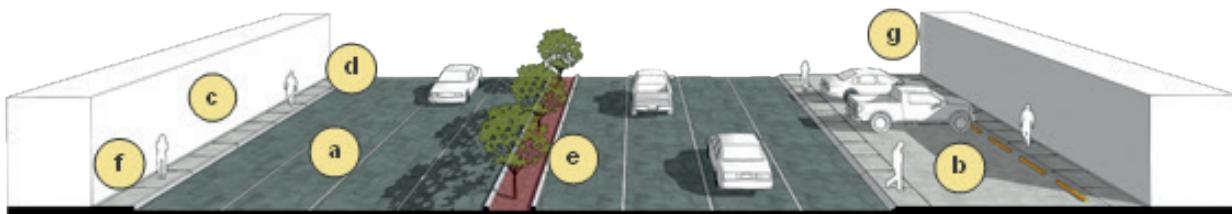
A fin de estudiar a meso escala el fenómeno de Isla de Calor Urbana en clima cálido seco, se toma como caso de estudio la ciudad de Hermosillo, Sonora, de esta manera se analizan las diferencias térmicas de las zonas urbanas, conur-

baciones y rurales para identificar características y distinciones en las principales causas que provocan la ICU dentro de la urbe y con ello ofrecer estrategias de mitigación y adaptación aplicables a tipologías climáticas regionales representativos de las ciudades áridas, considerando que habrá que evaluar la efectividad de acuerdo con el sitio ya que el tejido urbano es una mezcla de usos de suelo, densidad poblacional, geometría urbana, vegetación entre otros parámetros.

Se toma un área identificada previamente en la morfología del fenómeno para la aplicación de estas medidas, se trata de una red vial primaria, de la ciudad de Hermosillo, Sonora, que corresponde al Eje A de los datos colectados en campo donde se localizó una ICU al centro de lo urbanizado identificada como blvd. Solidaridad y avenida de Alborada. El sitio presenta una ICU superficial de mayor intensidad y sus características físicas del entorno urbano en una superficie de 3.24 ha son: 2.24% de vegetación, 1m² de área verde por habitante, uso de suelo mixto y densidad de tránsito de 274 mil vehículos al día con ocho carriles de asfalto que contribuyen a tener 42.7 °C de temperatura del aire en el periodo cálido.

Es un boulevard tipo en la localidad ubicado en uso de suelo mixto que separa dos áreas comerciales, por ello, grandes superficies de estacionamiento son localizadas en la zona. El ancho de la calle corresponde a cuatro carriles en cada sentido divididos por un camellón, son vías de acceso de alta velocidad difíciles de cruzar por el

FIGURA 8
Red vial primaria tipo de la ciudad de Hermosillo, Sonora



Fuente: Elaboración propia, 2020.

peatón con un alto volumen de tránsito en hora pico con alta actividad durante todo el día.

A continuación, en la Figura 8, se exponen las principales características que causan el aumento de temperaturas en el sitio y en consecuencia una intensidad mayor de Isla de Calor Urbana

- a. Vialidad de asfalto de bajo albedo expuestas a la radiación solar.
- b. Estacionamiento de concreto y/o asfalto impermeable.
- c. Edificios de baja altura que no provee sombras ni espacios arbolados exteriores en banquetas para el peatón.
- d. Banquetas de concreto de bajo albedo sin protección solar.
- e. Camellón de concreto natural y color rojo sin protección solar.
- f. Existen paraderos de autobús sin diseño de protección solar con la trayectoria solar de Hermosillo.
- g. Escasa vegetación y se ubica pasto sintético aportando calor al ambiente

En el momento que la ICU_d se presenta, la superficie más cálida es el concreto y asfalto mientras que la más fresca es el adoquín. Cuando la ICU nocturna aparece, la superficie más cálida es la piedra roja y el más fresco el concreto. Para balancear este calentamiento urbano se han desarrollado medidas de mitigación y adaptación clasificadas en tres grupos: Infraestructura Urbana, Infraestructura Verde e Infraestructura Vial.

INFRAESTRUCTURA URBANA

Una de las propuestas de mitigación que la ciudad de Hermosillo puede aplicar es promover el diseño urbano denso, compacto y vertical para sombrear espacios públicos exteriores y vialidades, ya que actualmente se encuentra dispersa lo que provoca grandes distancias de recorridos y en consecuencia mayor infraestructura vial, además la baja altura de los edificios no contribuye al efecto de sombreado que el edificio vertical provee. Ahora bien, la configuración del

cañón urbano no es fácil de intervenir ya que el ancho de las calles y la altura de los edificios ya está dado, por ello las medidas van en función de sombrear estas superficies y ceder carriles para otros usos.

Es así como se plantean las siguientes medidas:

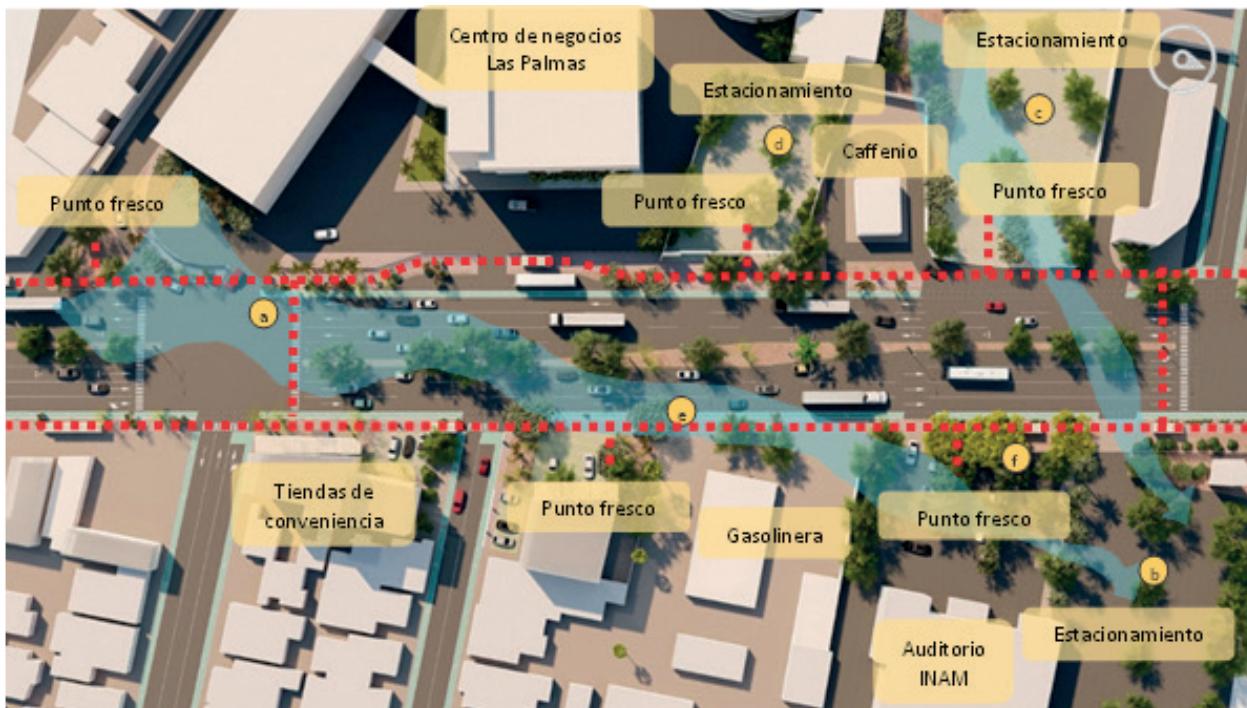
- a. Incorporar trayectorias de conectividad urbana (red peatonal) con protección solar naturales (árboles perennes) o artificiales (pergolados y lonas), de fácil acceso entre áreas verdes, puntos frescos y edificios a menos de 20 minutos entre ellos.
- b. Incorporar en los estacionamientos de concreto y asfalto de los comercios de alrededor como Caffenio, el Abajillo Restaurant, Centro de Negocios las Palmas, el auditorio INAM y la Plaza Comercial Paseo Plaza, vegetación en masas para generar puntos frescos en la geometría urbana que mitiguen los efectos adversos de las altas temperaturas en la búsqueda de la adaptación.
- c. Evitar lotes baldíos ya que la tierra del desierto tiene una gran capacidad de absorción de calor.
- d. Abrir al público general los estacionamientos verdes para brindar un punto fresco de descanso en su trayecto.
- e. Aplicar estrategias pasivas urbanas de enfriamiento como adecuada orientación, uso de vegetación y uso de ventilación natural en calles y edificios.

Incluir grupos de árboles o perímetros verdes para evitar radiación directa, reflejada y difusa. Por su parte, las superficies que permanecen bajo la sombra, se encuentran en temperaturas más favorables para el clima extremo que se percibe, lo que se traduce en una reducción de temperatura superficial, es por esto por lo que la estrategia de mitigación en función al recorrido solar tiene mayor énfasis en cualquier urbe del desierto. Las medidas de control son:

- a. Incorporar trayectorias cómodas para el peatón con elementos de protección solar artifical como pergolados o lonas en espacios

FIGURA 9

Propuesta de conectividad y puntos frescos en blvd. Solidaridad y avenida de Alborada



Fuente: Elaboración propia, 2021

públicos y natural (vegetación) para brindar sombras.

- b. Incluir sistemas de sombreado en el perímetro de los edificios con vegetación o parapluies, toldos, louvers, entre otros para sombrear muros y ventanas.
- c. Hacer uso de superficies permeables como adoquín, concreto poroso en ciclovía y banquetas para proveer de filtraciones de agua.
- d. Reemplazar materiales por unos de alto albedo a la envolvente de las edificaciones sugiriendo un valor numérico de 0.70 de albedo para revestimiento y muros perimetrales de alta inercia térmica para acumular y almacenar exceso de calor previéndose se caliente al ambiente liberando horas más tarde cuando el ambiente sea fresco.
- e. Reemplazar las superficies de estacionamientos del sector por permeables de adoquín entrelazados de manera que admita que el agua se filtre en sus uniones o bien con vegetación,

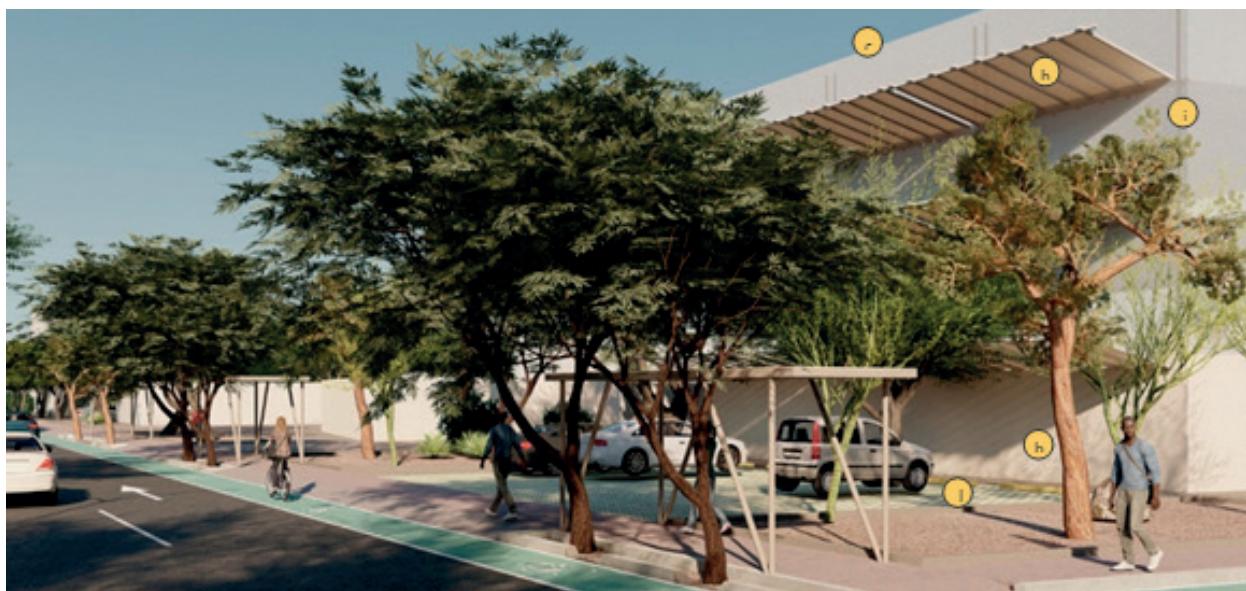
celosías o concreto perforado que permita el crecimiento pasto y/o árbol.

- f. Reemplazar materiales oscuros como en el caso del camellón del blvd. Solidaridad de piedra roja por unos de alto albedo con superficies claras, estas tienen mayor duración por que reflejan radiación, permanecen frescas y sufren menos expansión térmica y contracción, o bien sombrear estas superficies el mayor tiempo posible.

Finalmente mitigar el control antropogénico en la ciudad es un reto ya que en un día típico de verano la radiación recibida supera los 1,000 W/m² por lo que los habitantes recurren al uso del sistema artificial de climatización con demandas de 12 horas o más a día para amortiguar las temperaturas y por otra parte, el parque vehicular ya que se contaban en la ciudad al 2010, 1.29 autos por persona (INEGI, 2015) incrementando la densidad vehicular en las principales vialidades aportando calor antropogénico al ambiente ur-

FIGURA 10

Medidas de mitigación y adaptación en blvd. Solidaridad y avenida de Alborada



Fuente: Elaboración propia, 2021.

bano. A continuación, se presentan estrategias de mitigación en relación con el control de calor antropogénico.

- Reducir el uso de aire acondicionado en el interior de las edificaciones a través de medidas bioclimáticas o estrategias pasivas de enfriamiento que favorezcan la adaptabilidad
- Tener restricciones de tiempo para uso de equipo de refrigeración en edificios públicos y privados.
- Promover políticas públicas para el uso de transporte en empresas privadas y públicas de manera gratuita y reducir el uso del automóvil.
- Generar políticas públicas que busquen proveer restringir los tiempos de uso de refrigeración en edificios públicos y privados.

INFRAESTRUCTURA VERDE

En una ciudad desértica las alternativas de infraestructura verde por arboles xéricos es de las estrategias más atractivas a aplicar ya que requiere menor irrigación así mismo incluir un plan estratégico de cuidados de agua es primordial principalmente cuando el recurso hídrico es escaso como en el caso de Hermosillo, Sonora. A

continuación, se enlistan las medidas de mitigación a la ICU en relación con la vegetación:

- Incluir una red verde que se refiere a una red estratégicamente planificada de áreas no cementados que conserven características de naturalidad, aunque no necesariamente tengan césped, árboles o arbustos, por ejemplo, suelos permeables para modificar el microclima, control de ruido y mejorar la calidad del aire que constituyen una alternativa sustentable a la planificación urbana tradicional.
- Moderar el clima urbano que beneficia al proceso de adaptación a fenómenos como la ICU con el incremento de áreas verdes con arborización xerófila en camellones, banquetas y espacios públicos que provea sombra e intercepte los rayos solares que permitan sombrear las superficies de bajo albedo como concreto o asfalto. Se recomienda el uso de Mezquite Chileno por su amplia copa lo que se traduce en mayor sombreado, así como arbustos bajos y medianos como barreras naturales de partículas suspendidas para proteger contra el calor que libera el auto en la vialidad y estacionamiento.

- Ubicar la flora de acuerdo con sus características como follaje, densidad, uso, riego, raíces, tierra, orientación, cobertura de suelo por sombra entre otros, para maximizar el beneficio de la mitigación
- Bloquear los vientos áridos de verano con vegetación continua o en masas de acuerdo con la orientación de los vientos dominantes.
- Evitar el uso de césped sintético ya que incrementa la temperatura superficial hasta 10 grados más.
- Incluir vegetación en camellones del blvd. Solidaridad ya que la presencia de vegetación en el cañón urbano modifica los factores radiativos de las capas urbanas y provee de sombras a las superficies pavimentadas.
- Implementar un conjunto de microcuenca o jardines de lluvia en el camellón del blvd. Solidaridad para mayor captación pluvial.
- Plantear políticas públicas donde se incentive a plantar vegetación en inmuebles públicos como escuelas, edificios del gobierno, hospitalares.
- Informar de estrategias de forestación y cuidado del agua a la población en general.
- Promover que las empresas privadas tomen su banqueta y/o camellón y generen perímetros verdes.
- Incluir espacios para ejercitarse y áreas de juegos infantiles sombreados con pérgolas, lonas y árboles a fin de fomentar la cohesión social, el bienestar emocional, disminuir el estrés y mejorar la salud física.

INFRAESTRUCTURA VIAL

Para el caso de las superficies expuestas al sol y tomando en cuenta al estudio de Giner et al. (2010) donde expone que el 76% de las calles de la capital sonorense están pavimentadas con carpeta asfáltica o concreto hidráulico al 2010, se plantea intervenir la cobertura urbana de infraestructura vial, ya que el objetivo es reducir temperatura y capacidad de almacenamiento de calor de las superficies urbanas. El efecto de calentamiento en las superficies depende de las

propiedades térmicas por lo que son oportunos las siguientes estrategias de mitigación:

- a. Incluir pigmentos al asfalto o aplicar una capa de concreto de 2.5 cm sobre el asfalto que ayuden a aumentar el albedo sobre el blvd. Solidaridad de 0.35 como máximo. Por otra parte, se observa una comunidad con apego al auto, el parque vehicular al 2010 que se contaba en la ciudad, ha crecido de manera exponencial registrando 1.29 autos por persona (INEGI, 2015) incrementando la densidad vehicular aportando calor antropogénico al ambiente urbano, es así que son varias las medidas que se proponen:
- b. Combinar calles de automóviles con banquetas peatonales y vialidades a ciclistas. De manera que se propone reducir un carril de cada dirección en el boulevard Solidaridad y ceder el espacio a áreas verdes, ciclo vías y arborización.
- c. Destinar un carril de vía rápida para automóviles que transporten más de una persona y con esto reducir el uso personal del auto.
 - Promover el uso de transporte en empresas privadas y públicas de manera gratuita para reducir el uso del automóvil.
 - Tener libre acceso al sistema de transporte público en horas o días de olas de calor.

Estas mejoras buscan reducir la temperatura urbana en la búsqueda del rescate de espacio público a fin de fomentar la cohesión social, bienestar emocional, disminuir el estrés, mejorar la salud física y adaptarse a los efectos adversos del Cambio Climático.

CONCLUSIÓN

A lo largo del tiempo, las ciudades se han convertido en grandes emisoras de contaminación ambiental, pero también pueden ser consideradas como elementos de mitigación, ya que son la forma territorial más eficaz de la modernidad donde se desenvuelve la vida urbana, para ello

FIGURA 11

Medidas de mitigación y adaptación en blvd. Solidaridad y avenida de Alborada



Fuente: Elaboración propia, 2021.

en el contexto urbano, la adaptación a impactos extremos del cambio climático es un desafío de planeación urbana sustentable, donde el factor ambiental sea una condición de diseño para la interacción social y cultural, que sean resilientes al clima extremo y a fenómenos como el de la Isla de Calor Urbana. Debido a esto, se hace relevante como premisa de la presente investigación, diagnosticar este fenómeno, analizarlo y posteriormente proponer estrategias de mitigación de la ciudad de Hermosillo, Sonora localizada en el noroeste de México, y que forma parte de las ciudades asentadas en la gran superficie transfronteriza que abarca el Desierto de Sonora.

Los resultados muestran medidas que pueden reducir la temperatura del aire sin embargo existen variables de *i) geometría del entorno urbano*, referente al ancho de vialidad y banquetas, disponibilidad de espacios urbanos vacíos, altura de edificaciones, entre otros, *ii) microclima urbano* a causa de los elementos naturales y superficiales que rodean la zona *iii) recorrido solar* ya que la orientación de los sitios varía, y *iv) vegetación*

propuesta por el espacio disponible para su plantación, son variables a considerar de acuerdo con las necesidades de los sitios que se busque intervenir que permitan plantear distintas estrategias de control al fenómeno.

Es así que se establece que el principal énfasis de control de Isla de Calor Urbana de clima cálido seco en la ciudad de Hermosillo, se hace en el estudio del recorrido solar (a fin de interceptar la radiación directa) y la relación que tiene con la altura de los edificios y ancho de las calles en el *cañón urbano* que se vincula con el *Factor de Cielo Visto* (FCV), así como la adecuada selección de especies vegetales de tipo xerófilo y priorizar la selección de materiales superficiales urbanos de acuerdo a su comportamiento térmico.

Estos hallazgos, ayudan a comprender los roles y la importancia de las características del entorno urbano y proporciona pautas prácticas para el diseño y planificación urbana con estrategias de adaptación climática que considere la sustentabilidad y resiliencia de la comunidad que tenga efectos favorables a la temperatura urbana para contrarrestar los efectos adversos de la ICU en

ciudades con condiciones desérticas similares a las de Hermosillo, Sonora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borbora, J., & Das, A. K. (2014). Summertime Urban Heat Island study for Guwahati City. *Sustainable Cities and Society*, 11, 61-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.12.001>
- Brandão, P. (2011). *La Imagen de la Ciudad: Estrategias de identidad y comunicación*. Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- Caldas, P., Aranda, E., & Dongo, C. (2019). Adaptación climática de barrios de vivienda social en una ciudad árida: Piura. *TECNIA*, 27-41. doi:<https://doi.org/10.15460/tecnia.v29i1.328>
- Carrasco, G. B., & Estrada, S. Y. (2018). Megaproyectos como productores de suelo urbanizable. Análisis de tres casos de estudio en Hermosillo, Sonora (2004-2015). *Contexto*, XII(16), 53-66. doi:<https://doi.org/10.29105/contexto12.16-4>
- Casillas-Higuera, A., García-Cueto Rafael, L.-C. O., & Gonzalez-Navarro, F. F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante modelado dinámico en Mexicali, B.C., México. *Información tecnológica*, 25(1), 139-150. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000100015>
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- CSG, C. d. (2012). *Guía Práctica Clínica. Prevención y diagnóstico del golpe de calor en pacientes de 19 a 59 años en el primer nivel de atención. Evidencias y Recomendaciones Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica: SEMAR-571-12*. CENETEC.
- Cueto, O. R. (2006). Balance de energía y capa límite superficiales sobre distintos usos de suelo en la Cd. de Mexicali B.C. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ellis, J., Terraza, H., Faure, M. S., Deregibus, B., Ramirez, I., Schwint, A., & Moscoso, G. (2016). *Voces emergentes: Percepciones sobre la calidad de vida urbana en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Voces-emergentes-Percepciones-sobre-la-calidad-de-vida-urbana-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- EPA, E. P. (2009). *Urban Heat Island Basics, Reducing Island Heat Islands Compendium of Strategies*. Environmental Protection Agency, U.S. Recuperado el Septiembre de 2014, de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- Estrada, S. Y. (2017). Impactos ambientales y sociales de los megaproyectos urbanos en Hermosillo, Sonora. En B. V. Gallegos, *Megaproyectos Urbanos y productivos* (págs. 83-92). Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Estrada, S. Y. (2018). Ciudad Collage. Representaciones e imaginarios urbanos de Hermosillo, Sonora (2004-2015). Hermosillo, Sonora, México: El Colegio de Sonora.
- Evans, J. M., & Schiller, S. (2005). La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo el caso de Tampico, México. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 37-42. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/83074>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Ciudad de México: Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- Giguère, M. (2012). *Urban Heat Island Mitigation Strategies*. Québec, Canadá. Obtenido de <http://www.inspq.qc.ca>.
- Golden, J. S. (2010). The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions - a sustainable urban engineering complexity. *Environmental Sciences*, 1-4, 321-349. doi:[10.1080/15693430412331291698](https://doi.org/10.1080/15693430412331291698)
- Healthy Air Living. (2011). *Urban Heat Island Mitigation: An innovative way to reduce air pollution and energy usage*. San Joaquin Valley: San Joaquin Valley, Air pollution control district.
- Hernández, A. A. (2000). Barrios y equipamientos públicos, escencia del proyecto democrático de la ciudad. *Documentación social*, 79-93.
- Hernández, G. T. (2020). Caracterización de los efectos de la isla de calor en la Delegación Venustiano Carranza, Ciudad de México.
- IMPLAN. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano para el Centro de Población de Hermosillo*. Hermosillo, Sonora: Ayuntamiento de Hermosillo.

- IMPLAN. (2018). *Programa Parcial de Crecimiento Urbano del Sector Oeste de Hermosillo*. Sonora: Ayuntamiento de Hermosillo.
- IMPLAN. (2018). *Reglamento de Desarrollo Urbano y del Espacio Público para el Municipio de Hermosillo*. Hermosillo, Sonora: Ayuntamiento de Hermosillo.
- IMPLAN, I. M. (2014). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2013-2015*. Hermosillo, Sonora.
- IMPLAN, I. M. (2016). *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos*. Hermosillo, Sonora.
- IMPLAN, I. M. (2018). *Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Hermosillo*. Hermosillo, Sonora: Ayuntamiento de Hermosillo.
- INEGI. (2015). *Instituto nacional de estadística y geografía*. Recuperado el 2014, de <http://www.inegi.org.mx/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, I. (2017). *Chapter outline of the working group iii contribution to the ipcc sixth assessment report (AR6)*. Montreal, Canada.
- Kondo, K., Mabon, L. ::, Chen, Y., & Hayabuchi, Y. (2021). Balancing conflicting mitigation and adaptation behaviours of urban residents under climate change and the urban heat island effect. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102585. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102585>
- Lezama, J. L., & Domínguez, J. (2006). Medio Ambiente y sustentabilidad urbana. *El colegio de México*, 153-176. Obtenido de <https://www.re-dalyc.org/pdf/112/11204906.pdf>
- Lezama, J. L., & Domínguez, J. (2006). Medio Ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de Población*, 153-176.
- Li, X., Stringer, L., & Dallimer, M. (2021). The Spatial and Temporal Characteristics of Urban Heat Island Intensity: Implications for East Africa's Urban Development. *Climate*, 9(4), 51. doi:<https://doi.org/10.3390/cli9040051>
- Mercado, L. (2016). Isla de calor urbana de periodo cálido y frío. Caso: Hermosillo, Sonora. Tesis. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.
- Nikolopoulou, M. I. (2004). *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach*. Centre for Renewable Energy Sources, EESD, FP5.
- Oke, T. (1995). The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In *Wind climate in cities*, 81-107. . doi:[10.1007/978-94-017-3686-2_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2_5)
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates* (Segunda Edición ed.). London Editorial. doi:<https://doi.org/10.4324/9780203407219>.
- OMS, O. M. (2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/about/who-we-are/constitution>
- ONU-Hábitat. (2015). *Hábitat III issue papers: ii-public space*. Nueva York: Naciones Unidas.
- Palacio, C. C. (2019). *Medidas de Adaptación/Mitigación ante Islas de Calor en el Valle de Aburrá*. Universidad EIA.
- Rizwan, A., Dennis, L., & Chuncho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128. doi:[10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Sailor, D., & Taha, H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and buildings*, 22(3), 255-265. doi:[https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00927-P](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00927-P)
- Rosheidat, A., & Bryan, H. (2010). Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. *Proceedings of Sim-Build*, 4(1), 230-237.
- Ruiz, M. A., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Función ambiental de parques urbanos en zonas áridas: clima y confort térmico. *Encontro Nacional de Tecnología do Ambiente Construído*, 3472-3483.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 682-703. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2016). *Urban Climate Mitigation Techniques*. New York: Routledge. doi:<https://doi.org/10.4324/9781315765839>
- Secretaría de Salud. (2009). *Temporada de calor, lineamientos para su atención*. Gobierno Federal.
- Shalaby, A. S. (2011). Urban Heat Island and cities design: A Conceptual Framework of Mitigation Tools in Hot-arid Regions. *J. Urban Res*, 8, 42-63. doi:[10.21608/JUR.2011.94276](https://doi.org/10.21608/JUR.2011.94276)
- Shishegar, N. (2014). The Impact of Green Areas on Mitigating Urban Heat Island Effect: A Review.

- The International Journal of Environmental Sustainability*, 9(1), 119-130.
- Sosa, C. M., Correa, C. E., & Cantón, M. A. (2017). Influencia de la morfología urbana sobre la habitabilidad térmica exterior en una ciudad de clima árido. *Revista Hábitat Sustentable*, 44-53.
- Taslim, S., Parapari, D. M., & Shafaghat, A. (2015). Urban Design Guidelines to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects In Hot-Dry Cities. *Jurnal Teknologi*, 74(4), 119-124. doi:10.11113/jt.v74.4619
- Villalobos, A. C. (2018). Cambio climático y arqueología en el desierto de Sonora. *Anales de Antropología*, 37-53.
- Wang, Z.-H., Zhao, X., Yang, J., & Song, J. (2016). Cooling and energy saving potentials of shade trees and urban lawns in a desert city. *Applied Energy*, 161, 437-444. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.047
- Wong, J., & Lau, L. (2013). From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 25-35. doi:https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.10.005
- World Meteorological Organization, W. (2015). *Heatwaves and health: guidance on warning-system development*. Geneva 2, Switzerland: WMO-No.1142.
- Xin, H., & Ying, W. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: A case study of Wuhan, Central China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119-131. doi:https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.010
- Yves, R., Pohl, B., Rega, M., Pergaud, J., Thevenin, T., Emery, J., . . . Chateau-Smith, C. (2021). Is Urban Heat Island intensity higher during hot spells and heat waves (Dijon, France, 2014-2019)? *Urban Climate*, 35, 100747. doi:https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100747