

REVISTA CIENTÍFICA

---

ISSN  
2594-0198

# VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



Enero - Junio 2022 Año. 6 Núm. 11

Universidad de Guadalajara  
Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables

11



REVISTA CIENTÍFICA

---

# VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES

Enero-Junio 2022 Año 6 Núm. 11  
ISSN: 2594-0198

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



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA  
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



Universidad de Guadalajara  
Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables

## Directorio

### UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

*Rectoría General* Ricardo Villanueva Lomelí  
*Vicerrectoría Ejecutiva* Héctor Raúl Solís Gadea

### CENTRO UNIVERSITARIO DE ARTE, ARQUITECTURA Y DISEÑO

*Rectoría* Francisco Javier González Madariaga  
*Secretaría Académica* María Dolores del Río López  
*Secretaría Administrativa* Everardo Partida Granados

### CONSEJO EDITORIAL

*Director responsable* Fernando Córdova Canela  
*Editor responsable* José Arturo Gleason Espíndola  
*Coordinación editorial* Celina Yunuén Castillo Moya  
*Equipo Técnico* Carolina Ávila Escobedo

### CONSEJO DIRECTIVO

Gabriel Castañeda Nolasco (Universidad Autónoma de Chiapas-México), Fernando Córdova Canela (Universidad de Guadalajara-México), Elvira Maycotte Pansza (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-México), Alberto Muciño Vélez (Universidad Nacional Autónoma de México) y José Manuel Ochoa de la Torre (Universidad de Sonora-México).

### COMITÉ EDITORIAL

María Guadalupe Alpuche Cruz (Universidad de Sonora, México), Alejandra Villagrana Gutiérrez (Universidades de Guadalajara, México), Glenda Bethina Yanes Ordiales (Universidad de Sonora-México), Mariana Villada Canela (Universidad Autónoma de Baja California, México).

### COMITÉ CIENTÍFICO

Domingo Acosta (Universidad Central de Venezuela, Venezuela), Tanuja Ariyananda (Lanka Rain Water Harvesting Forum, Sri Lanka), Carlos Mauricio Bedoya Montoya (Universidad Nacional de Colombia, Colombia), Guillermo Boils Morales (Universidad Nacional Autónoma de México, México), Luis Humberto Buitron Aguas (Universidad Central de Ecuador, Ecuador), Nájila Cabral (Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará, Brasil), Adeildo Cabral da Silva (Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará, Brasil), César Augusto Casiano Flores (Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica), Helena Coch Roura (Universitat Politècnica de Catalunya, España), Jorge Daniel Czajkowski (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Evandro Fiorin (Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil), Jorge Alberto Galindo Díaz (Universidad Nacional de Colombia, Colombia), Yokasta Inmaculada García Frómata, Pontificia (Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana), Elena García Nevado (Université de Pau et des Pays de l'Adour, Francia), Tomás García Salgado (Universidad Nacional Autónoma de México, México), José Guerra Ramírez (Universidad Católica del Norte, Chile), Luis Fernando Guerrero Baca (Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, México), Agustín Hernández Aja (Universidad Politécnica de Madrid, España), Néstor Saúl López Iriás (Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua), Denis Leonardo Mayta Ponce (Universidad Católica San Pablo, Perú), Eloy Méndez Sainz (Universidad Autónoma de Puebla, México), Alicia Mimbacas (Universidad de la República, Uruguay), Carlos Freddy Miranda Zuleta (Universidad Católica del Norte, Chile), Tomas Antonio Moreira (Universidad de São Paulo, Brasil), Roberto Adrián Moreno García (Universidad Autónoma de Chile, Chile), Laura Munguía Sánchez (Universidad Técnica de Košice, Eslovaquia), Adolfo Narváez Tijerina (Universidad Autónoma de Nuevo León, México), Sergio Nasarre Asnar (Universidad Rovira i Virgili, España), Mara Regina Pagliuso Rodrigues (Instituto Federal de São Paulo, Brasil), Nuria Pérez Gallardo (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil), Ingrid Ethel Roche Lowczy (Universidad de la República, Uruguay), Ricardo Víctor Rodríguez Barbosa (Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil), Isabel Rodríguez Chumillas (Universidad Autónoma de Madrid, España), Gilkauris María Rojas Cortorreal (Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana), Ariel Sergio Ruchansky Lemes (Universidad de la República, Uruguay), Marco Schmidt (Universidad Tecnológica de Berlín, Alemania), Mónica Marcela Suárez Pradilla (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia), Isabel Valdivia Fernández (Universidad De La Habana, Cuba), Humberto Varum (Universidad de Porto, Portugal), Martín Franz Wieser Rey (Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú).

*Vivienda y Comunidades Sustentables*, Año 6, Núm. 11, enero-junio 2022 es una publicación digital, en forma semestral editada por la Universidad de Guadalajara a través del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) Conacyt del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Ubicada en Calzada Independencia Norte 5075, Edificio LNVCS, Col. Huentitán el Bajo, C.P. 44250, Guadalajara, Jalisco, México. Tel. (+52 33)1202-3000 Ext. 38783 revista.lnvc@gmail.com Dirección web: <http://www.revistavivienda.cuaad.udg.mx>. Editor Responsable: José Arturo Gleason Espíndola. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo: 04-2016-11115122500-203. ISSN: 2594-0198, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Fecha de publicación: 01 de enero de 2022.

Las opiniones y los comentarios expresados por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

### ACERCA DE LA REVISTA

La Revista *Vivienda y Comunidades Sustentables*, es un espacio de difusión del conocimiento científico y tecnológico original en materia de vivienda y comunidades sustentables, que considera a este binomio como un objeto de estudio complejo, cuyos procesos inciden de manera importante en los procesos de la ciudad y el territorio, por lo tanto su estudio puede llevarse a cabo desde diferentes disciplinas y con distintos alcances, desde su estudio como área de conocimiento que requiere de la atención por parte del sector industrial, que requiere ser considerado como un derecho humano fundamental y como una oportunidad para coadyuvar la sustentabilidad en sus diferentes acepciones y escalas de intervención urbana y territorial. Esta revista busca generar un espacio de difusión del conocimiento, con un enfoque innovador, plural, experimental y multidisciplinar, y se encuentra vinculada con el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables Conacyt, al formar parte de su estrategia editorial.

# Contenido

Editorial	7
<b>José Arturo Gleasón Espíndola</b>	
Bajareque tecnificado. Evaluación de energía incorporada y emisiones de CO <sub>2</sub> en comparación con la edificación convencional	9
<b>Alleck J. González Calderón y Luis Fernando Guerrero Baca</b>	
Servicios urbanos para la construcción de resiliencia en los espacios públicos de tipo abierto en México	23
<b>Agustín Rojas Baltazar, Peter Chung Alonso y Dora Angélica Correa Fuentes</b>	
Habitabilidad un estudio desde la vivienda social en México como espacio habitado	51
<b>Jesús Enrique de Hoyos Martínez y Verónica Albarrán Carrillo</b>	
Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez	63
<b>Janio Alejandro Ruiz Sibaja y Eber Alberto Godínez Domínguez</b>	
Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora	85
<b>Laura Mercado Maldonado</b>	
Captación de agua de lluvia como alternativa para uso en agricultura urbana	111
<b>Rodrigo Roblero Hidalgo y Jorge Flores Velázquez</b>	
Hábitat, Vivienda y Construcción 4.0	125
<b>Hiram Eduardo Urias Barrera</b>	
Acerca de los autores	129



# Editorial

**JOSÉ ARTURO GLEASÓN ESPÍNDOLA**

La Revista de Vivienda y Comunidades Sustentables es un espacio de difusión del conocimiento científico y tecnológico original en materia de vivienda, desarrollo urbano, políticas públicas y comunidades sustentables. Esta revista trata sobre otros temas vinculados considerados objetos de estudio complejos, cuyos procesos forman parte de la ciudad y el territorio, de modo que pueden ser reinterpretados desde distintas perspectivas: desde el sector industrial, como un derecho humano fundamental y como una oportunidad para coadyuvar a la sustentabilidad a escalas urbana y territorial, desde un enfoque innovador, plural, experimental y multidisciplinar, que forma parte de la estrategia editorial del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables del CONACYT. Este décimo número lo integran seis artículos y una reseña relacionados con el urbanismo sustentable, las innovaciones en procesos y materiales de construcción, así como la historia de la arquitectura.

El primer artículo describe la realización de un prototipo tecnificado de la edificación de estructuras de bajareque, donde se compara con los sistemas constructivos convencionales en términos del peso volumétrico, la energía incorporada y las emisiones de CO<sub>2</sub>, teniendo con resultados de manera cuantitativa los atributos ecológicos del sistema realizado con bajareque tecnificado.

El segundo artículo presenta un análisis del estado actual del marco legal de planeación e instrumentación de los servicios urbanos en las ciudades, con especial atención en los espacios públicos, con el objetivo de establecer recomendaciones para coadyuvar al aumento de la resiliencia y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

La tercera propuesta muestra un estudio sobre la relación que tiene la persona con el espacio que habita y el cómo lo habita centrándose en el análisis del espacio habitado y el espacio edificado bajo las premisas del ser y del estar de la casa, tanto de la persona que habita, así como del habitáculo. El propósito es estudiar el habitar del ser y el estar, es valorar como influyen en la experiencia de habitar y la gestación de la habitabilidad como proceso que acontece en la relación interior y exterior.

El cuarto trabajo muestra un análisis estadístico que muestra los resultados sobre la caracterización geométrica y mecánica de bloques huecos de concreto, que usan en construcciones de estructuras de mampostería en Tuxtla Gutiérrez, sobre todo en la vivienda. El análisis utilizó las medidas de tendencia central de la geometría, la absorción de agua, la resistencia a cortante y la correlación entre el esfuerzo cortante resistente y las características físicas y geométricas de las piezas.



El quinto artículo estudia el fenómeno de la isla de calor urbana en clima cálido seco en la ciudad de Hermosillo con el objetivo de 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.

Por último, el trabajo trata sobre la captación de agua de lluvia y su utilización en la agricultura urbana. Se prepone en específico una metodología para estimar el volumen de captación de agua de lluvia para uso en agricultura urbana. Dentro esta metodología, se genera un modelo digital de superficie (MDS) y se identifican los coeficientes de escurrimiento por subárea de captación.

# Bajareque tecnificado. Evaluación de energía incorporada y emisiones de $\text{CO}_2$ en comparación con la edificación convencional

*Technified bajareque. Evaluation of incorporated energy and  $\text{CO}_2$  emissions in comparison with conventional building*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.177>

**ALLECK J. GONZÁLEZ CALDERÓN**

<https://orcid.org/0000-0001-6850-7594> / [alleck@hotmail.com](mailto:alleck@hotmail.com)  
Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón, México

**LUIS FERNANDO GUERRERO BACA**

<https://orcid.org/0000-0001-8256-4851> / [luisfg1960@yahoo.es](mailto:luisfg1960@yahoo.es)  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México

Recibido: 25 de enero de 2021 Aceptado: 28 de abril de 2021

## RESUMEN

La edificación de estructuras de bajareque ha demostrado ser altamente sostenible desde el punto de vista ecológico, económico y socio-cultural por lo que sirvió como referente para la realización de un prototipo tecnificado en la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón. A partir de la cuantificación de materiales se ha analizado comparativamente el peso volumétrico, la energía incorporada y las emisiones de  $\text{CO}_2$  con relación a un modelo realizado con sistemas constructivos convencionales, demostrándose de manera cuantitativa las destacables cualidades ecológicas del sistema alternativo construido con bajareque tecnificado.

Palabras clave: Energía embebida, Contaminación atmosférica, Cambio climático, Construcción sostenible, Vivienda rural.

## ABSTRACT

The construction of bajareque structures has proven to be highly sustainable from an eco-

logical, economic and sociocultural point of view, which is why it served as a reference for the realization of a technified prototype at the Autonomous University of Coahuila in Torreón. From the quantification of materials, the volumetric weight, the incorporated energy and the  $\text{CO}_2$  emissions have been comparatively analyzed in relation to a model made with conventional construction systems, quantitatively demonstrating the remarkable ecological qualities of an alternative system built with technified bajareque.

Keywords: Embodied energy, Air pollution, Climate change, Sustainable construction, Rural housing.

## INTRODUCCIÓN

El periodo histórico que va desde la primera Revolución Industrial se ha caracterizado por una incesante búsqueda de crecimiento económico y desarrollo tecnológico. No obstante, de manera simultánea se ha generado una crisis ecológica, motivada por intensos procesos de industrialización que, al consumir grandes cantidades de



energía, de fuentes fósiles, emiten enormes volúmenes de CO<sub>2</sub> y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), que al concentrarse en la atmósfera intensifican el calentamiento global y contribuyen con el fenómeno de cambio climático.

En 1972, el Club de Roma desarrolló una investigación denominada “Informe Meadows”, en la que se analizaron cinco rubros. Las conclusiones indicaron que: si las actuales tendencias de crecimiento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos permanecen sin cambios, los límites del crecimiento en el planeta se alcanzarán en algún momento del presente siglo (Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1972).

También en 1972, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> observada desde 1958 había crecido constantemente, con un aumento promedio de 1,5 partes por millón (ppm) cada año. Los cálculos que incluyeron los intercambios de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera, la biosfera y los océanos predecían que la concentración de CO<sub>2</sub> llegaría a la condición crítica de 380 ppm para el año 2000 (Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1972). Sin embargo, en 2019 la Organización Meteorológica Mundial informó que la concentración media mundial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera superó ya el umbral de 410 ppm (WMO, 2019).

Debido a que las actividades industriales demandan una gran cantidad de energía que proviene de fuentes fósiles, la generación de CO<sub>2</sub> procedente de procesos industriales contribuyó en torno al 78% del aumento total de emisiones de GEI entre 1970 y 2010 (IPCC, 2014). En 1970 se produjeron 14,8 millones de kilotonos de CO<sub>2</sub>, mientras que en 2010 se alcanzaron los 31,9 millones de kilotonos (Banco Mundial, 2020).

En los últimos cuarenta años se duplicó el consumo de energías provenientes de fuentes fósiles y con ello se ha incrementado el calentamiento global. Limitar el calentamiento global a 1,5 °C o 2 °C sin gastar en exceso el presupuesto de carbono requeriría cambios muy rápidos en la producción de electricidad, el transporte, la construcción, la agricultura y la industria. Cuanto más tiempo se

emita CO<sub>2</sub> al ritmo actual, más rápida deberá ser esta descarbonización (WMO, 2018).

Como ha sido ampliamente documentado la industria de la construcción es de las que mayores impactos ambientales genera. Los edificios ejercen una enorme presión sobre nuestro medio ambiente, ya que son responsables de una parte significativa del consumo global de energía, aproximadamente el 40%, más del 30% del uso de materiales y el 20% del uso de agua. A esto hay que agregar la generación de desechos que del total mundial la construcción produce 30% de residuos sólidos, y 20% de aguas residuales y más del 30% de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (UNEP, 2013).

En 2010 el sector de la edificación fue responsable de alrededor del 32% del uso de la energía final y de emisiones de 8,8 Gt CO<sub>2</sub>, incluidas emisiones directas e indirectas, y lamentablemente las proyecciones indican que la demanda de energía del sector aproximadamente se duplicará y las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarán entre el 50% y el 150% a mediados de siglo. Este crecimiento de la demanda de energía se debe al incremento en la riqueza, el cambio de estilos de vida, el acceso a servicios energéticos modernos y viviendas adecuadas y la urbanización (IPCC, 2015).

De continuar la tendencia de aumento de gases de GEI, cada vez serán más visibles los impactos sociales, ambientales y económicos, entre otros, causados por el cambio climático. Las graves inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor, así como la degradación de las tierras y bosques y la salinización de las aguas subterráneas, que vemos en la actualidad, son un anticipo del cambio climático interactuando con otros impactos antropogénicos (GIZ, 2016).

La industria de la construcción es un gigante entre los consumidores de energía; su uso se divide entre las fases de producción, operación y demolición de los edificios, y asciende en total a no menos del 40% del total de la energía utilizada por toda la sociedad. La construcción sostenible es, por tanto, uno de los retos más importantes a los que nos enfrentamos (Berge, 2009).

La cuantificación de los gases emitidos a la atmósfera, medidos convencionalmente sólo a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub>, nos informa del potencial de calentamiento global a causa de los gases emitidos durante la producción y puesta en obra de los materiales de construcción (Arguello y Cuchí, 2008). Es evidente que el CO<sub>2</sub> es parte de la naturaleza y que no es el único gas cuyo desequilibrio puede afectarla. Hay sustancias mucho más nocivas, pero desde hace décadas se emplea ese dato como un referente internacional que retrata muy fielmente las condiciones ambientales.

La evaluación de emisiones asociada a los datos de consumo de recursos caracteriza muy claramente la relación de cada material y el medio ambiente. Para analizar los recursos empleados durante la producción se utiliza convencionalmente la medición de la energía que se requirió para transformar las materias primas en productos y es lo que se denomina energía incorporada o energía embebida. La cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> y el balance de energía de fabricación permite realizar comparaciones con soluciones alternativas. Esto permite reconocer la importancia de la reducción de empleo de recursos, el reciclaje, el compostaje y el uso de materiales de construcción ecológicos (UNEP, 2013).

Debido a que la humanidad se encuentra en un proceso de rápida urbanización, los sistemas constructivos y materiales industrializados podrían sustituir a los vernáculos que durante siglos han sustentado la implementación de técnicas, materiales y mano de obra locales en el hábitat rural.

Además de las graves condiciones provocadas por el consumo de recursos, gasto energético y contaminación, la humanidad enfrenta el fenómeno de urbanización exponencial que conduce a la pérdida de la vida rural que paradójicamente es la que durante milenios garantizó la producción de alimentos para la sociedad. Se estima que actualmente la proporción de la población urbana mundial es del 55.7% pero no deja de crecer (Banco mundial, 2019). Por lo que además de prever la necesaria reducción de los materiales industrializados empleados en la edificación en

zonas urbanas, resulta imperioso mantener la vivienda rural y los saberes constructivos que han probado su eficacia a lo largo de la historia.

Entre los componentes de origen tradicional que aún permanecen en algunas zonas rurales, destaca el sistema constructivo conocido en México como bajareque y en otras latitudes se le llama bahareque, quinchá, embarrado o entramado. Se trata de un procedimiento constructivo que emplea tierra mezclada con fibras vegetales y se aplica sobre un entramado de carrizos, varas, ramas o rajas de bambú que se entretrejen o se atan entre sí, y a un marco generalmente hecho de madera (Guerrero, 2017). En la Figura 1 se observa una edificación en la que se reinterpreta la técnica de bajareque para su implementación en viviendas de más de dos niveles.

Desde hace varios años en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco y en la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón, se ha venido experimentado diferentes alternativas para evaluar la viabilidad de la recuperación de esta técnica de origen ancestral y su puesta al día para ser aplicada en viviendas sostenibles. Entre los principales factores a evaluar se encuentran las dos variables antes mencionadas: emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada, a fin de mostrar de forma fehaciente sus cualidades con respecto a las obras realizadas de manera convencional en la vivienda masiva de todo el país. En el presente texto se exponen los resultados obtenidos a partir de la comparación entre un módulo realizado con bajareque tecnificado en el campus de la UAdeC-Torreón en 2020, y los datos de un espacio similar pero realizado con muros de block de cemento y estructura de concreto armado.

**FIGURA 1**

Edificio histórico de cuatro niveles construido con bajareque en Cuenca, Ecuador.



Fuente: Elaboración propia.

## **MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES**

La construcción sostenible conlleva un proceso integral que busca restaurar y mantener la armonía entre los ambientes naturales y construidos. Implica un pensamiento holístico en lo que respecta a la construcción y gestión del entorno, a partir de la perspectiva del ciclo de vida (CIB, 2002).

Los principios de la construcción sostenible buscan entre otros aspectos, reducir el consumo de insumos, reutilizar recursos, emplear materiales reciclables, proteger la naturaleza, eliminar sustancias tóxicas, aplicar el análisis de ciclo de vida y elevar la calidad ambiental y confort de los espacios edificados. Estos principios han de aplicarse durante las fases de planificación, desarrollo, diseño, construcción, uso y operación, mantenimiento, modificación y deconstrucción, tomando en consideración recursos como el suelo, materiales, agua, energía y ecosistemas (Kibert, 2013).

Debido a que la Tierra es un sistema de recursos finitos, uno de los problemas más graves que se deben enfrentar en la búsqueda de una construcción sostenible destaca el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de la edificación (Acosta, 2009). El análisis de ciclo de vida de los productos de construcción proporciona una mejor

comprensión de los costos a largo plazo de los materiales. Cada etapa del ciclo, desde la extracción de materias primas, fabricación, distribución e instalación, hasta su reutilización o eliminación, se examina por su impacto ambiental. A su vez, el ciclo de vida de un material puede organizarse en tres fases: pre-construcción, construcción, post-construcción (Kim y Rigdon, 1998).

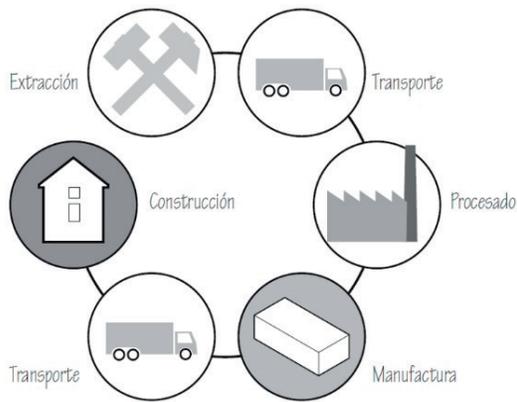
Los impactos relacionados con la producción de materiales se corresponden estrechamente con la energía incorporada en los materiales. Un ejemplo importante es la calcinación de la cal y las arcillas durante la producción de cemento, donde, además de muchos otros gases contaminantes, se liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (Berge, 2009). Reducir el consumo de energía del entorno construido y las emisiones de desechos al medio ambiente, son objetivos nodales de la construcción sostenible. El cambio climático está siendo causado por actividades humanas que están aumentando las concentraciones de gases que atrapan el calor y que contienen carbono, en particular CO<sub>2</sub>, en la atmósfera. La cantidad de estos gases que se liberan está en función tanto de la cantidad de energía que se consume como de la fuente de generación (Kibert, 2013).

La “energía incorporada” y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, durante la extracción de materias primas, los procesos de transformación y el transporte de los materiales hasta su destino final de utilización son parte fundamental de la valoración de su ciclo de vida (Rocha, 2011). En la figura 2 se muestra un esquema que integra las distintas fases del ciclo de vida de un material: extracción, transporte, procesado, manufactura, transporte y construcción.

Los materiales que se pueden considerar sostenibles son aquellos que limitan el consumo de recursos, además de incorporar materias primas reutilizadas y recicladas, con la finalidad de reducir sus impactos ambientales. Uno de los aspectos más importantes a considerar es la fabricación y empleo de materiales con menor energía incorporada o embebida, con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las prácticas de edificación.

**FIGURA 2**

Energía incorporada desde el proceso de extracción hasta la puesta en obra.



Fuente: Ching y Shapiro, 2014, p. 219

La energía incorporada a un material es la que se requirió para producirlo. Esto incluye la energía del combustible utilizado para alimentar el equipo de recolección o minería, el de procesamiento y los dispositivos de transporte que mueven la materia prima dentro de las instalaciones, incluida la fabricación, el transporte y la instalación final. Esta energía generalmente proviene de la quema directa de combustibles fósiles, que son un recurso limitado y no renovable, o bien de energía eléctrica que en general también suele provenir de plantas generadoras alimentadas por gas o por combustóleo. Cuanto mayor es la energía incorporada de un material, mayor fue la cantidad de esfuerzo necesario para producirlo, lo que implica consecuencias ecológicas más graves (Kim y Rigdon, 1998). Lógicamente existe una correlación directa entre la energía incorporada y el impacto ambiental derivado de las emisiones y gases de efecto invernadero asociados con el consumo energético.

Sin embargo, algunos productos tienen una energía incorporada relativamente menor cuando su extracción y transformación se realizan mediante procedimientos poco mecanizados, o bien, cuando son reciclados. Por ejemplo, el aluminio reciclado tiene el 10% de la energía incorporada con respecto al que se fabrica a partir de la extracción de mineral de bauxita. De manera

similar, el acero reciclado tiene el 20% de la energía incorporada del acero hecho con minerales naturales (Kibert, 2013).

Si bien, el cemento representa aproximadamente el 70% del coeficiente energético del concreto estándar, representa aproximadamente el 85% del CO<sub>2</sub> emitido. El alto coeficiente de CO<sub>2</sub> que emite la fabricación de cemento se explica por el aporte de calor para la calcinación y por el CO<sub>2</sub> liberado durante la calcinación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) a óxido de calcio (CaO) (Alcorn, 2010).

Aunque la mayoría de los materiales son emisores netos de CO<sub>2</sub>, los que tuvieron un origen vegetal son absorbentes netos. La madera, los carrizos, el bambú o la paja durante su desarrollo absorben cantidades importantes de CO<sub>2</sub> debido a la fotosíntesis que los mantuvo vivos. Una vida útil más larga para la mayoría de los materiales reduce las emisiones anualizadas. Pero los materiales de origen vegetal se consideran acumuladores de CO<sub>2</sub> (Guerrero y Soria, 2018).

El almacenamiento de carbono en los productos de construcción puede contribuir a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico durante un período prolongado por lo que ayuda de manera significativa a la reducción del calentamiento global (Berge, 2009). Por lo que al analizar los coeficientes de emisiones de CO<sub>2</sub> de los derivados de origen vegetal se observan cifras con signo negativo, que representan el CO<sub>2</sub> neto absorbido durante su vida.

La madera es un recurso renovable, producida de forma legal y sostenible es la más respetuosa con el medio ambiente. En comparación con los materiales de construcción convencionales no emite gases de efecto invernadero, requiere poca cantidad de energía durante sus procesos de producción y se considera un almacén de carbono. Así mismo, los materiales constructivos de tierra son reciclables, con una energía incorporada muy baja en comparación con el resto de los recursos constructivos y tienen notables capacidades de retardo y aislamiento térmico y acústico (UN-Habitat, 2012).

Maximizar el empleo de materiales que “secuestran” carbono, como la madera, el bambú y paja, es el medio más eficaz para reducir las emisiones anuales netas que minimizar las emisiones de otros materiales. Las emisiones de CO<sub>2</sub> como parte de un proceso de producción cuentan positivamente, mientras que el CO<sub>2</sub> absorbido equilibra la ecuación. Incluso los productos de madera con mayores insumos de energía, como la que se produce en forma laminada o el contrachapado, todavía tienen coeficientes de CO<sub>2</sub> negativos.

No obstante, es fundamental entender que los productos de origen vegetal solamente se pueden considerar sostenibles si existen procesos de siembra, cultivo y conservación cuidadosos. El agotamiento de los acuíferos y el incremento en los niveles de CO<sub>2</sub> de la atmósfera están directamente ligados con la pérdida de los bosques y selvas.

En este sentido, a medida que aumenta el precio de la madera virgen, la estructura de acero se está convirtiendo en una alternativa viable para la construcción residencial. Debido a que es altamente resistente a esfuerzos mecánicos, se necesitan menos componentes estructurales para soportar la misma carga. Aunque el acero tiene un contenido energético incorporado muy alto, se puede reutilizar y reciclar fácilmente. No obstante, un inconveniente del uso de acero en exteriores es su elevada conductividad térmica, ya que se necesita más aislamiento para proporcionar la misma resistencia térmica que una pared de postes de madera tradicional (Kim y Rigdon, 1998).

Esto abre la posibilidad de plantear sistemas constructivos que incorporen materiales como el acero en sus componentes estructurales, combinados con, componentes naturales como la madera, la tierra y la paja. En climas áridos y semiáridos la madera es un recurso escaso y poco durable por la radiación solar y la baja humedad ambiental, mientras que el acero puede ser de fabricación local y soportar de mejor manera las condiciones climáticas. No obstante, edificaciones milenarias han demostrado que en climas extremos la madera y la paja pueden conservar

su integridad si se recubren con tierra. De este modo se aprovecha el potencial de cada componente en una interacción compatible.

Entre las ventajas constructivas del bajareque, además de sus cualidades ecológicas al emplear tierra y material vegetal, destacan su ligereza, facilidad de construcción, compatibilidad estructural, escasa demanda de mantenimiento, resistencia a los terremotos y, sobre todo, su durabilidad. Como se visualiza en la Figura 3, se han encontrado restos arqueológicos construidos con bajareque de hace más de mil años en la Cueva del Maguey, Durango y con más de cuatro mil años de antigüedad en Caral, Perú (Guerrero, 2017).

**FIGURA 3**

Vestigios arqueológicos en la Cueva del Maguey, Durango.



Fuente: Elaboración propia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de un análisis comparativo, que contempla las variables de peso, energía embebida y de emisiones de CO<sub>2</sub>, entre dos sistemas constructivos empleados para la edificación de un local de 10 m<sup>2</sup> cada uno, se busca demostrar de manera cuantitativa la sostenibilidad de un sistema alternativo denominado bajareque tecnificado (SBT), edificado en la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón. Esta propuesta basada en la tradición constructiva del bajareque con madera, la tierra y la paja, incorpora algunos componen-

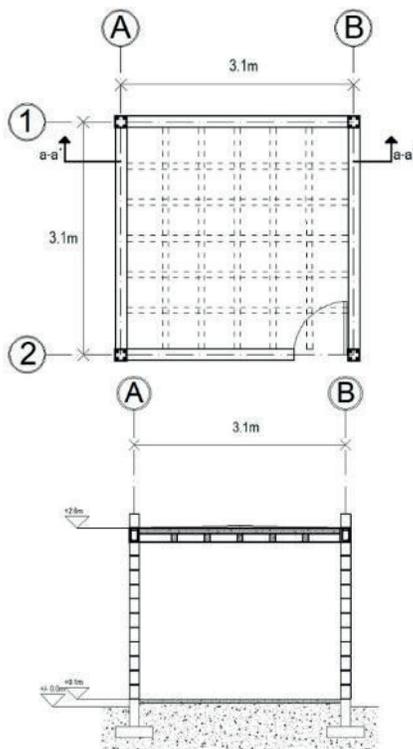
tes de acero y concreto en su enmarcamiento estructural y cimentación.

Los datos parámetros de sostenibilidad de dicho módulo se compararon con los de un local realizado con un sistema convencional, de amplio uso en la región, que sólo emplea acero y concreto. El sistema convencional se calculó previendo los siguientes datos:

a) cimientos continuos de concreto armado, con base de 0.55 m x 0.15 m y contratrabe de 0.55 m x 0.15 m; b) columnas de concreto armado, con sección de 0.15 m x 0.15 m; c) vigas de concreto armado, con sección de 0.2 m x 0.15 m; d) piso de concreto armado, con espesor de 0.05 m; e) muros de block hueco de concreto, con dimensiones de 0.4 m x 0.2 m x 0.15 m; f) cubierta reticular de concreto armado, con viguetas de 0.12 m x 0.08 m, capa de compresión de 0.05 m de espesor, placas de poliestireno de 0.4 m x 0.4 m x 0.1 m. En la Figura 4 se observan las características espaciales y constructivas del sistema convencional.

**FIGURA 4**

Planta y sección del módulo hecho con sistema constructivo convencional.



Fuente: Elaboración propia.

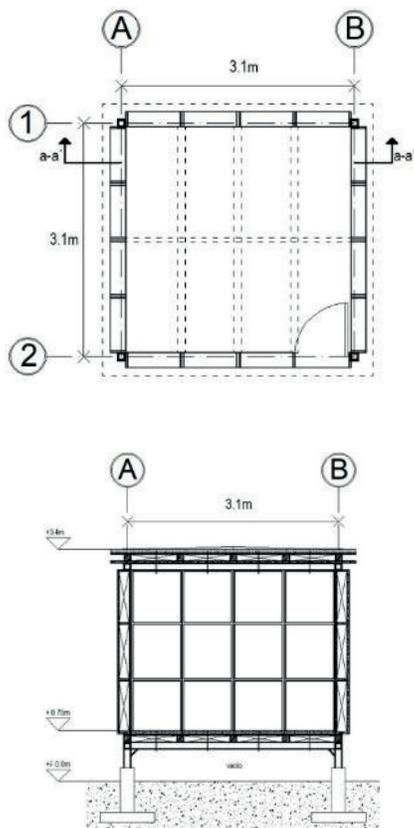
Por su parte el módulo prototipo realizado con bajareque tecnificado cuenta con:

a) cimientos aislados de concreto armado, con base de 0.8 m x 0.8 m x 0.15 m y dado de 0.2 m x 0.2 m x 0.65 m; b) columnas de acero tipo PTR, con sección de 0.1 m x 0.1 m y calibre de 0.0019 m; c) vigas de acero tipo PTR, con secciones de 0.1 m x 0.1 m y calibre de 0.0019 m; d) piso con entramado de madera, con secciones de 0.1 m x 0.1 m para envigado y secciones de 0.3 m x 0.025 m colocadas sobre el envigado, para soportar una placa concreto armado de 0.025 m de espesor; e) muros con estructura de madera, con modulación de 2.4 m x 0.75 m x 0.2 m y secciones de 0.2 m x 0.025, con aplicación de malla de acero, para corral de aves, en cara interior y exterior, para recibir revoques de tierra-paja con 0.05 cm de espesor. La disposición de los revoques genera una cámara ventilada de 0.1 m al interior de los muros; f) techo de entramado de madera, con secciones de 0.1 x 0.1 para envigado y componentes de 0.3 m x 0.025 m colocadas en la parte inferior y superior del envigado, que soportan una placa de concreto armado de 0.025 m de espesor. La disposición de una doble cara de madera genera una cámara ventilada de 0.1 m al interior de la cubierta.

En la Figura 5 se muestran las características espaciales y constructivas del sistema bajareque tecnificado. Así mismo, se visualiza parte del proceso constructivo: levantamiento de estructura metálica, colocación de paneles de madera para muros, aplicación de primer revoque sobre muros y finalización de la obra.

**FIGURA 5**

Planta, sección y proceso constructivo de sistema alternativo.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis se fundamenta en la cuantificación de materiales, de cada sistema constructivo, para determinar su peso volumétrico  $m^3$ , así como, la energía embebida MJ/kg y las emisiones de dióxido

de carbono en gramos, por cada kilogramo de material constructivo ( $gCO_2/kg$ ).

El proceso metodológico se divide en seis etapas:

- Inventario de materiales de ambos módulos
- Cuantificación de materiales de cada uno
- Peso volumétrico de materiales
- Cuantificación de la energía incorporada
- Cuantificación de las emisiones de  $CO_2$
- Comparación de sistemas constructivos

Con base en la elaboración de planos se registran todos los componentes del sistema constructivo, así como, sus tipologías y materiales que los constituyen. La cuantificación de los materiales en  $m^3$  se realizó con base en las características y dimensiones de cada componente empleado para cimentación, columnas, vigas, piso, muros y cubierta. Esta información se obtuvo por medio de la revisión de fichas técnicas de materiales emitidas por los fabricantes.

A partir de la cuantificación de los materiales empleados para cada componente constructivo, se asignó su peso volumétrico expresado en  $kg/m^3$ . Esto se obtuvo multiplicando el peso volumétrico de cada material en  $m^3$  por el peso asignado en  $kg/m^3$ , con base en datos de CEMEX (2005).

Una vez que se obtuvo el peso volumétrico de los materiales empleados en los componentes de cada sistema constructivo, se multiplicó por los coeficientes de MJ/g, para determinar la energía incorporada, así como, por los coeficientes de  $g CO_2/kg$ , para determinar las emisiones de dióxido de carbono. La información fue obtenida del *Centre of Building Performance Research*, de la Universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda, (Alcorn, 2003) por tratarse de una base de datos reconocida a nivel mundial y porque incluye todos los materiales que se emplearon en los módulos analizados.

Finalmente, con base en la elaboración de tablas, en Microsoft Excel, se expresaron y compararon los resultados de los volúmenes, pesos, energía incorporada y emisiones de dióxido de carbono, de los materiales consumidos en los componentes de cada sistema constructivo analizado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**TABLA 1**

Tabla de volúmenes, pesos, energía incorporada y emisiones de sistema constructivo convencional.

Componentes	Materiales	Convencional Volumen M3	(CEMEX) Peso Vol. Kg / M3	Convencional Peso Vol. Kg / M3	(Alcorn) Energía E. MJ / Kg	Convencional Energía E. MJ / Kg	(Alcorn) Emisiones g CO2 / Kg	Convencional Emisiones g CO2 / Kg
Cimientos	Concreto	1.72	2300.00	3962.21	0.90	3565.99	106.00	419994.26
	Acero	0.03	7900.00	203.03	31.30	6354.84	1242.00	252163.26
<b>Subtotal</b>		<b>1.75</b>		<b>4165.24</b>		<b>9920.83</b>		<b>672157.52</b>
Columnas	Concreto	0.21	2300.00	485.53	0.90	436.98	106.00	51466.18
	Acero	0.00	7900.00	35.32	31.30	1105.54	1242.00	43868.56
<b>Subtotal</b>		<b>0.22</b>		<b>520.85</b>		<b>1542.52</b>		<b>95334.74</b>
Vigas	Concreto	0.36	2300.00	817.19	0.90	735.47	106.00	86622.14
	Acero	0.00	7900.00	36.87	31.30	1154.01	1242.00	45791.67
<b>Subtotal</b>		<b>0.36</b>		<b>854.06</b>		<b>1889.48</b>		<b>132413.81</b>
Piso	Concreto	0.45	2300.00	1032.42	0.90	929.18	106.00	109436.94
	Acero	0.00	7900.00	8.85	31.30	276.94	1242.00	10989.22
<b>Subtotal</b>		<b>0.45</b>		<b>1041.27</b>		<b>1206.12</b>		<b>120426.16</b>
Muros	Block Concreto	1.82	2300.00	4174.50	0.90	3757.05	106.00	442497.00
	Concreto (juntas)	0.11	2300.00	263.81	0.90	237.43	106.00	27963.86
<b>Subtotal</b>		<b>1.93</b>		<b>4438.31</b>		<b>3994.48</b>		<b>470460.86</b>
Cubierta	Concreto	0.75	2300.00	1728.68	0.90	1555.81	106.00	183240.08
	Acero	0.01	7900.00	43.77	31.30	1370.12	1242.00	54367.18
	Poliestireno	0.58	8.00	4.61	58.40	269.11	2495.00	11496.96
<b>Subtotal</b>		<b>1.33</b>		<b>1777.06</b>		<b>3195.04</b>		<b>249104.22</b>
<b>TOTALES</b>		<b>6.04</b>		<b>12796.79</b>		<b>21748.47</b>		<b>1739897.31</b>

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 2**

Tabla de volúmenes, pesos, energía embebida y emisiones de sistema constructivo de bajareque tecnificado.

Componentes	Materiales	Bajareque Volumen M3	(CEMEX) Peso Vol. Kg / M3	Bajareque Peso Vol. Kg / M3	(Alcorn) Energía E. MJ / Kg	Bajareque Energía E. MJ / Kg	(Alcorn) Emisiones g CO2 / Kg	Bajareque Emisiones g CO2 / Kg
Cimientos	Concreto	0.48	2300.00	1109.06	0.90	998.15	106.00	117560.36
	Acero	0.01	7900.00	45.25	31.30	1416.36	1242.00	56201.99
<b>Subtotal</b>		<b>0.49</b>		<b>1154.31</b>		<b>2414.52</b>		<b>173762.35</b>
Columnas	Acero	0.01	7900.00	71.10	31.30	2225.43	1242.00	88306.20
<b>Subtotal</b>		<b>0.01</b>		<b>71.10</b>		<b>2225.43</b>		<b>88306.20</b>
Vigas	Acero	0.02	7900.00	170.64	31.30	5341.03	1242.00	211934.88
<b>Subtotal</b>		<b>0.02</b>		<b>170.64</b>		<b>5341.03</b>		<b>211934.88</b>
Piso	Madera	0.45	650.00	291.20	2.80	815.36	-1665.00	-484848.00
	Concreto	0.22	2300.00	514.74	0.90	463.27	106.00	54562.44
	Acero	0.00	7900.00	8.85	31.30	276.94	1242.00	10989.22
<b>Subtotal</b>		<b>0.67</b>		<b>814.79</b>		<b>1555.57</b>		<b>-419296.34</b>
Muros	Madera	0.57	650.00	369.85	2.80	1035.58	-1665.00	-615800.25
	Tierra-paja	2.70	1220.00	3294.00	0.15	494.10	-12.00	-39528.00
	Acero	0.00	7900.00	16.20	31.30	506.90	1242.00	20114.19
<b>Subtotal</b>		<b>3.27</b>		<b>3680.05</b>		<b>2036.58</b>		<b>-635214.06</b>
Cubierta	Madera	0.52	650.00	335.53	2.80	939.48	-1665.00	-558657.45
	Concreto	0.30	2300.00	700.58	0.90	630.52	106.00	74261.48
	Acero	0.00	7900.00	12.01	31.30	375.85	1242.00	14913.94
<b>Subtotal</b>		<b>0.82</b>		<b>1048.12</b>		<b>1945.86</b>		<b>-469482.03</b>
<b>TOTALES</b>		<b>5.28</b>		<b>6939.00</b>		<b>15518.99</b>		<b>-1049989.01</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados mostrados en las Tablas 1 y 2, se establecen comparaciones entre el sistema constructivo convencional (SCC) y el sistema de bajareque tecnificado (SBT). Se analizaron pesos, energía embebida y emisiones de dióxido de carbono, por cada componente:

#### CIMENTOS

El peso de la cimentación del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 3010.93 kg, que representa 72.3 %. En tanto, la energía embebida de la cimentación del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 7506.31 MJ, que representa 75.7 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de la cimentación del SCA son menores que la del SCC, con una diferencia de 498395.17 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 0.49 t CO<sub>2</sub>, que representan 74.2 %.

#### COLUMNAS

El peso de las columnas del SCA es menor que las del SCC, con una diferencia de 449.75 kg, que representa 86.4 %. En contraste, la energía embebida de las columnas del SCC es menor que la del SCA, con una diferencia de 682.91 MJ, que representa 30.7 %. En tanto, las emisiones de dióxido de carbono de las columnas del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 7028.54 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 0.007 t CO<sub>2</sub>, que representan 7.4 %.

#### VIGAS

El peso de las vigas del SBT es menor que las del SCC, con una diferencia de 683.42 kg, que representa 80.0 %. En contraste, la energía embebida de las vigas del SCC es menor que las del SBT, con una diferencia de 3451.55 MJ, que representa 64.7 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de las vigas del SCC son menores que las del SBT, con una diferencia de 79521.07 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 0.079 t CO<sub>2</sub>, que representan 37.5 %.

#### PISOS

El peso del piso del módulo de Bajareque Tecnificado es menor que el del sistema convencional, con una diferencia de 226.48 kg, que representa

21.7 %. En contraste, la energía embebida del piso del sistema convencional es menor que la del módulo experimental, con una diferencia de 349.45 MJ, que representa 22.5 %. Sin embargo, las emisiones de dióxido de carbono del piso del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 539722.5 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 0.53 t CO<sub>2</sub>, que representan 448 % menos.

#### MUROS

El peso de los muros de Bajareque Tecnificado es menor que el del sistema convencional, con una diferencia de 758.26 kg, que representa 17 %. En contraste, la energía embebida de los muros del SCC es menor que la del SBT, con una diferencia de 1957.90 MJ, que representa 49 %. No obstante, las emisiones de dióxido de carbono de los muros del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 1105674.92 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 1.1 t CO<sub>2</sub>, que representan 235% menos.

#### CUBIERTAS

El peso de la cubierta del módulo de SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 728.94 kg, que representa 41 %. En tanto, la energía embebida de la cubierta del SCA es menor que la del SCC, con una diferencia de 1249.18 MJ, que representa 39.1 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de la cubierta del SCA son menores que las del SCC, con una diferencia de 718586.25 g CO<sub>2</sub>, equivalentes a 0.71 t CO<sub>2</sub>, que representan 288 % menos.

#### TOTALES

En general, el peso del módulo de Bajareque Tecnificado es menor que el convencional, con una diferencia de 5857.79 kg, que representa 45.7 %. De la misma manera, la energía incorporada del primero es menor que la del SCC, con una diferencia de 6229.48 MJ, que representan 28.7 %. Por último, las emisiones de dióxido de carbono son menores que las del sistema convencional, con una diferencia de 2789886.32 g CO<sub>2</sub>, equivalente a 2.7 t CO<sub>2</sub>, que representan 160 % menos.

## CONCLUSIONES

El estudio sistematizado de las características de los sistemas constructivos alternativos cuya lógica constructiva se deriva de los saberes históricos y tradicionales, resulta crucial como medio para ponerlos en valor. Una parte importante de la información que existe acerca de la edificación que emplea muros de bajareque, se centra en su importancia como reminiscencia cultural, pero se suele poner poca atención en sus cualidades desde el punto de vista del impacto ambiental (Guerrero, 2017).

La información analizada en el presente artículo permite reconocer, mediante datos duros, la diferencia de tres variables cruciales para las mediciones de impacto ambiental: el peso de los inmuebles, la energía requerida para su elaboración y las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera durante la fabricación de sus materias primas.

Cuando se construyen estructuras de bajareque se generan componentes constructivos flexibles y ligeros que, además de hacerlos altamente resistentes a condiciones sísmicas, se impacta favorablemente a otros factores. Se requiere menor ancho y profundidad de cimentación, así como menor esfuerzo y tiempo de edificación. Además, como se trata de un sistema en el que se desarrollan cargas puntuales, es posible contar con zapatas de cimentación aisladas lo que se traduce igualmente en reducciones de trabajo.

El hecho de contar con un edificio que pesa prácticamente la mitad que una obra convencional (45,7% menos) representa enormes beneficios desde el punto de vista ambiental porque significa un ahorro de recursos equivalentes al mismo porcentaje, pero también, una disminución en la complejidad de los procesos constructivos.

En segundo lugar, el sistema de Bajareque Tecnificado que se evalúa y para el cual se emplearon tanto materiales de origen natural como industrializados, arroja datos energéticos alentadores. La reducción de casi una tercera parte (28,7 %) de la energía necesaria para fabricar sus insumos se vincula con ahorros en las fuentes de energía que

en general provienen de la quema de combustibles o de la electricidad.

Pero evidentemente el dato más impresionante que se deriva del análisis desarrollado deviene de la reducción del 160% en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Esta reducción se explica en parte por el empleo de tierra para el relleno de los muros, la cual se extrae del propio terreno o de sitios cercanos y se manipula sin complejos procedimientos tecnológicos. Pero, sobre todo, el diferencial mayor está asociado al manejo de material vegetal en su construcción. Como se mencionó líneas arriba, los datos derivados de la captura de carbono de la madera y la paja permiten plantear una ecuación en la que el balance final se ve favorecido gracias a los valores con signo negativo de sus emisiones a la atmósfera.

Es importante señalar que los materiales leñosos que se emplean para construir con bajareque tienen un impacto ecológico menor que los de origen industrializado puesto que no se necesitan secciones de gran espesor, dimensión, ni calidad. Además, es posible emplear madera de desperdicio que al reciclarse y protegerse con tierra queda protegida de las afectaciones del entorno, debido que ésta última mantiene estables sus condiciones higrotérmicas, evitándose tanto su pudrición como su degradación (Minke, 2005).

En los momentos actuales en los que se han hecho cada vez más evidentes los estragos provocados por las alteraciones a la atmósfera, el planteamiento de sistemas constructivos que reduzcan de manera tan destacable los indicadores de impacto ambiental genera expectativas promisorias. Es clara la urgencia de tomar medidas drásticas para actuar en contra del cambio climático a partir de la recuperación de selvas y bosques asociada al freno al consumo desmedido de bienes y servicios que está agotando los recursos del planeta.

El desarrollo de sistemas constructivos alternativos como el bajareque tecnificado puede apoyar de manera sustantiva en este esfuerzo global. Se trata de un sistema que puede ser fácilmente adaptado a procesos de autoconstrucción asistida

y que es viable para su empleo tanto en medios rurales como urbanos, consiguiéndose en todo caso los beneficios aquí documentados.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), para el Tipo Superior, por el financiamiento del proyecto de investigación UACOAH-PTC-494, del que forma parte este trabajo. A la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón, por el apoyo durante las gestiones y por facilitar la edificación de los prototipos experimentales dentro del campus universitario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. (2009). *Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, problemas y estrategias*. *Dearq, s/v*, (4), 14-23. <https://doi.org/10.18389/dearq4.2009.02>
- Alcorn, A. (2003). *Embodied energy and CO<sub>2</sub> coefficients for NZ building materials*. Wellington, New Zealand: Victoria University.
- Alcorn, A. (2010). *Global sustainability and the New Zealand house* (doctoral thesis). Victoria University, Wellington, New Zealand.
- Arguello, T. y Cuchi, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 con Techo-Chiapas del CYTED. *Informes de la construcción*, 60 (509), 25-34. <https://doi.org/10.3989/ic.2008.v60.i509.588>
- Banco Mundial (2019). Porcentaje de población urbana mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Banco Mundial (2020). Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>. Disponible en: [https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2016&name\\_desc=false&start=1970](https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2016&name_desc=false&start=1970)
- Berge, B. (2009). *The ecology of building materials*. Oxford, United Kingdom: Elsevier.
- CEMEX (2005). *Manual del constructor*. Ciudad de México, México: Talleres de proceso gráfico.
- Ching, F. y Shapiro, I. (2014). *Arquitectura ecológica: Un manual ilustrado*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- CIB (2002). Agenda 21 for sustainable construction in developing countries. Disponible en: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB3150.pdf>
- Guerrero, L. (2017). Pasado y porvenir de la construcción con bajareque. *Revista Gremium*, 4 (8), 69-80. Disponible en: <file:///C:/Users/A/AppData/Local/Temp/Dialnet-PasadoYPorvenirDeLaConstruccionConBajareque-6067557.pdf>
- Guerrero, L. y Soria, F.J. (2018) Traditional architecture and sustainable conservation. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 8 (2), 194-206. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-06-2017-0036>
- GIZ (2016). El libro de la vulnerabilidad. Conceptos y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Disponible en: [https://www.adaptationcommunity.net/download/va/vulnerability-guides-manuals-reports/giz\\_sbv\\_ES\\_SOURCEBOOK\\_screen\\_v171019.pdf](https://www.adaptationcommunity.net/download/va/vulnerability-guides-manuals-reports/giz_sbv_ES_SOURCEBOOK_screen_v171019.pdf)
- IPCC (2014). Cambio climático 2014 Informe de síntesis: Resumen para responsables de políticas. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf)
- IPCC (2015). Cambio climático 2014, Mitigación del Cambio Climático: Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Disponible en: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5\\_SPM\\_TS\\_Volume\\_es.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume_es.pdf)
- Kibert, C. J. (2013). *Sustainable construction: Green building design and delivery*. New Jersey, USA: Wiley
- Kim, J. & Rigdon, B. (1998). Qualities, use and examples of sustainable building materials. Disponible en: <http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/ARCHpdfs/ARCHsbmIntro.pdf>
- Meadows, D., Meadows, D. L., Randers, J. & Behrens, W. (1972). *The limits to growth: A report for the of Rome's project on the predicament of mankind*. New York, USA: Universe Books.
- Minke, G. (2005) *Manual de construcción en tierra*. Montevideo, Uruguay: Fin de siglo.
- Rocha, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Revista Nodo*, 6 (11), 99-116. Recuperado de: <http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/64>

UNEP (2013). Sustainable solutions for social housing: guidelines for project developers.

Disponible en: <https://www.unep.org/search/node?keys=social+housing&category=All&type=All&topic=All&region=All>

UN-Habitat (2012). Going green: A handbook of sustainable housing practices in developing countries. Disponible en: <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Going%20Green.pdf>

World Meteorological Organization (2018). Understanding the IPCC Special Report on 1.5°C.

Disponible en: <https://public.wmo.int/en/resources/library/understanding-ipcc-special-report-15%C2%B0C>

World Meteorological Organization (2019). WMO Greenhouse Gas Bulletin. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019. Disponible en: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?expl-num\\_id=10437](https://library.wmo.int/doc_num.php?expl-num_id=10437)



# Servicios urbanos para la construcción de resiliencia en los espacios públicos de tipo abierto en México

## *Urban services for the resilience construction in open public spaces in Mexico*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.178>

### **AGUSTÍN ROJAS BALTAZAR**

<https://orcid.org/0000-0002-5627-1614> / [agustinro3595@gmail.com](mailto:agustinro3595@gmail.com)  
Tecnológico Nacional de México, Campus Colima, México

### **PETER CHUNG ALONSO**

<https://orcid.org/0000-0002-3724-1938> / [peter.chung@itcolima.edu.mx](mailto:peter.chung@itcolima.edu.mx)  
Tecnológico Nacional de México, Campus Colima, México

### **DORA ANGÉLICA CORREA FUENTES**

<https://orcid.org/0000-0002-1804-5480> / [dora.correa@itcolima.edu.mx](mailto:dora.correa@itcolima.edu.mx)  
Tecnológico Nacional de México, Campus Colima, México

Recibido: 3 de febrero de 2021 Aceptado: 10 de agosto de 2021

## **RESUMEN**

Las ciudades enfrentan fenómenos naturales y antropogénicos que ponen en riesgo constante el bienestar y la calidad de vida de sus habitantes. Actualmente, se ha apostado por la propuesta de “resiliencia urbana” como la solución a estas situaciones.

Esta investigación tiene por objetivo recopilar y analizar características y recomendaciones de los marcos legales, de planeación e instrumental relacionadas al sustento de los servicios urbanos necesarios en un espacio público resiliente, con el fin de coadyuvar a las ciudades en el aumento de su resiliencia y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. Cabe mencionar que la investigación únicamente se centra en espacios públicos de tipo abierto y se analiza únicamente a la política e instrumentación a nivel federal.

El trabajo utiliza como fundamento los indicadores del modelo de medición de la resiliencia en espacios públicos, basado en el City Resilience Index. Se desarrolla con una revisión a los marcos legales, de planeación e instrumentales

aplicados a los servicios urbanos descritos en los indicadores. Finalmente, se obtiene como resultado un listado de recomendaciones basadas en la política pública nacional y su análisis.

La investigación tiene un aporte positivo al desarrollo de espacios públicos de calidad en México, se establecen los servicios urbanos necesarios (suministro de energía, suministro de agua potable, saneamiento de aguas residuales, gestión de residuos, movilidad y telecomunicaciones) y sus condiciones óptimas.

Además, se presentan las oportunidades y deficiencias de la instrumentación mexicana, evidenciando la necesidad de servicios urbanos óptimos para un uso emergente del espacio público.

Palabras clave: espacio público; resiliencia urbana; servicios urbanos.

## **ABSTRACT**

Cities face natural and anthropogenic phenomena putting in constant risk the wellness and quality of life of their inhabitants. Nowadays, “urban



resilience” has been opted as a solution for these situations.

The objective of this research is to compile and analyze characteristics and recommendations of the legal, planning and instrumental frameworks related to the support of the urban services necessary in a resilient public space, in order to help cities to increase their resilience and improve the quality of life of their inhabitants. It should be mentioned that the research only focuses on open-type public spaces and analyzes the policy and instrumentation at the federal level.

The paper uses as a basis the indicator of the model for measuring resilience in a public space, based on the City Resilience Index. It is developed with a review of the legal, planning and instrumental framework applied to urban services described in the indicators. Finally, the result is a list based on the national public policy and its analysis.

The research has a positive contribution to the development of quality public spaces in Mexico, urban services (energy supply, drinking water supply, wastewater, treatment, waste management, mobility and telecommunication) and their conditions are established, in addition, the opportunities and deficiencies of the Mexican instrumentation are presented.

Furthermore the opportunities and deficiencies of the Mexican instrumentation are presented, demonstrating the optimal urban services needs for an emergent use of public space

Keywords: public space; urban resilience; urban services

## INTRODUCCIÓN

Las ciudades de todo el mundo son vulnerables a diferentes agentes perturbadores de origen natural o humano. Según ONU-Hábitat (2018), actualmente, estos desafíos para las ciudades han aumentado debido a los efectos de la urbanización masiva, el cambio climático y la inestabilidad política. Además, la población en las ciudades

cada vez es mayor, está previsto para el año 2050 que el 70% de la población mundial viva en ellas.

México no es una excepción, debido a su ubicación geográfica y sus condiciones de vulnerabilidad física y social, se encuentra altamente expuesto a desastres de gran magnitud que, en el desarrollo de su historia, han generado graves pérdidas humanas y económicas principalmente concentradas en zonas urbanas (SEGOB, SEDATU y ONU-Hábitat, 2016) Por lo anterior, el concepto de resiliencia se ha convertido en un tema central del desarrollo urbano. Ahora resulta de gran importancia desarrollar estrategias y herramientas que ayuden a las ciudades a incrementar sus capacidades de resiliencia, de manera que estén mejor preparadas para enfrentarse a este tipo de situaciones.

En México existen gobiernos locales interesados en incrementar su resiliencia y con el apoyo de programas como “100 Ciudades Resilientes” de la Fundación Rockefeller y la “Red de Ciudades Resilientes” impulsada por SEGOB, SEDATU y ONU-HÁBITAT, se han encargado de fomentar el desarrollo de la resiliencia urbana en el país, desarrollando estrategias y promoviendo acciones con metas hacia un futuro resiliente.

Para el aumento de la resiliencia urbana en las ciudades mexicanas, los espacios públicos resultan de gran interés, esto se puede evidenciar en las estrategias de resiliencia publicadas por los ayuntamientos de algunas ciudades como Ciudad de México, Ciudad Juárez y Colima, donde se exponen a los espacios públicos como áreas de oportunidad para el aumento de su resiliencia y se desarrollan acciones encaminadas a la creación de espacios públicos seguros y resilientes.

Además, el PSDATU (SEDATU, 2020d) tiene como objetivo prioritario impulsar un hábitat asequible, resiliente y sostenible, donde se incluye la estructuración del espacio público como eje rector de la vida en comunidad.

El espacio público debe ser un tema central del desarrollo urbano, incluso su importancia es reconocida internacionalmente. Para ONU-Hábitat (2015) los espacios públicos bien diseñados y administrados son un activo fundamental para

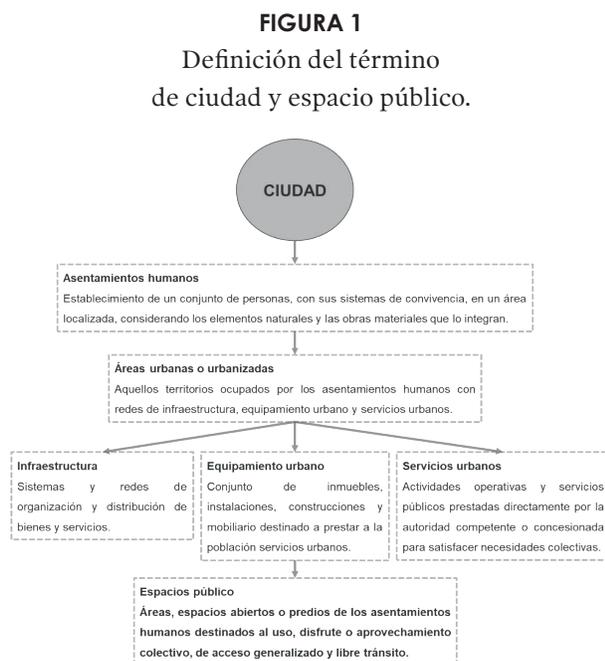
una ciudad, contribuyen positivamente en su economía, mejora la salud y bienestar de sus habitantes, reducen el impacto del cambio climático, aumentan la seguridad y disminuyen el temor a la delincuencia.

En el ámbito internacional y debido a la relevancia del tema, México ha adoptado compromisos a través de la Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana (2017) en materia de espacios públicos resilientes.

## MARCO CONCEPTUAL

### CIUDAD Y ESPACIO PÚBLICO

Esta investigación se enfoca en el espacio público que forma parte del equipamiento de un área urbana. Por lo anterior, haremos uso de un diagrama (ver figura 1) para explicar algunos conceptos relacionados, los cuales son desglosados hasta concluir con la definición de espacio público.



Fuente: Elaboración propia, con base en la LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2020).

Como se muestra en la figura 1, el espacio público está destinado al uso, disfrute o aprovechamiento colectivo y es de acceso generalizado y libre tránsito. ONU-Hábitat (2015) establece que los

espacios públicos son lugares de propiedad pública o de uso público, accesibles y agradables para todos de forma gratuita y sin afán de lucro. Esto incluye calles, espacios abiertos e instalaciones públicas.

En México, cada gobierno local por mandato de la LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016) se encarga de definir y clasificar a sus espacios públicos, a través de planes o programas municipales de Desarrollo Urbano. De tal manera que, en cada caso debe revisarse la normativa local en materia, para conocer la clasificación asignada a este tipo de espacios y sus características establecidas. Además, cada municipio debe contar con normas y disposiciones técnicas aplicadas para el diseño o adecuación de estos espacios.

Esta investigación se centra en los espacios públicos de tipo abierto. La misma ley se refiere a ellos como espacios destinados para la recreación, el deporte y zonas verdes, incluyendo espacios como parques, plazas, jardines o zonas de esparcimiento.

Los espacios públicos del tipo abierto no están contenidos dentro de un espacio construido ni cerrado, es decir estos lugares permiten el acceso libre para todo tipo de usuarios. Estos pueden ser: centros de ciudad o centros cívicos; plazas, alamedas y centros de barrio; camellones y jardines; parques y áreas verdes; parques lineales; bosques urbanos; espacios deportivos y culturales y; frentes de agua (SEDESOL, 2011).

## RESILIENCIA Y ESPACIO PÚBLICO

A nivel nacional, la LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016) define el concepto de resiliencia urbana como:

La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesta a un peligro para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de sus efectos en un corto plazo y de manera eficiente, a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas y funcionales, logrando una

mejor protección futura y mejorando las medidas de reducción de riesgos (p. 4).

Por su parte ONU-Hábitat (2018) establece que “el concepto de resiliencia describe la habilidad de cualquier sistema urbano de mantener continuidad después de impactos o de catástrofes mientras contribuye positivamente a la adaptación y la transformación”.

También para la Fundación Rockefeller y Arup (2018) “La resiliencia es la capacidad de las personas, las comunidades y los sistemas para adaptarse, sobrevivir y crecer frente impactos y tensiones, e incluso transformarse cuando las condiciones lo requieran.

En general cada órgano o institución que suscita al concepto se encarga de definirlo, no obstante, todas las definiciones guardan relación y refieren a la capacidad de un sistema urbano de mantener continuidad y mejorar ante los impactos o tensiones que enfrentan.

En cuanto al concepto de espacio público resiliente, no se tiene una definición exacta. No obstante, de acuerdo a las acciones de las estrategias de resiliencia revisadas previamente, podemos inferir que se refiere a espacios seguros, que permiten su uso emergente en caso de desastre, contribuyendo a atender situaciones de emergencia.

En el caso de la Ciudad de México el espacio público ha desempeñado un papel fundamental en las etapas de emergencia y de reconstrucción, después de los sismos de 1985 y 2017. En 1985 se identificaron treinta y cuatro espacios utilizados después del sismo, donde se realizaron más de diez actividades diferentes, por ejemplo, campamentos improvisados, organización de actividades de búsqueda y rescate, preparación de comida, puestos de socorro y ayuda médica y psicológica, centros de acopio y reparto de donaciones, entre otros (Montejano M. y Moreno M., 2016).

Montejano M. y Moreno M. (2020) conscientes del uso y la función del espacio público en la ciudad de México para la atención a emergencias, vislumbra la necesidad de incluir en los programas para el espacio público su uso emergente y

adaptarlos con mobiliario, accesibilidad, comunicaciones, arbolado, instalaciones de agua diseñadas estratégicamente, iluminación de emergencia, etc.

## SERVICIOS URBANOS

Esta investigación aborda a los servicios urbanos, que de acuerdo con la LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión ,2016), abarca a aquellos servicios públicos que satisfacen necesidades colectivas en los Centros de Población (ver figura 1).

En primer lugar, se tiene el tema de energía. En este caso, el suministro eléctrico engloba al conjunto de productos y servicios requeridos para satisfacer su demanda y consumo. Este servicio se brinda por medio del Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica que incluye a las actividades necesarias para la transmisión y distribución (H. Congreso de la Unión, 2014b).

En segundo lugar, se aborda el tema del agua potable. El servicio público es otorgado por medio del Sistema de Agua Potable que incluye al conjunto de obras y acciones que permiten su prestación. En este caso, se satisfacen necesidades de un uso público urbano, que se refiere a la aplicación del agua nacional para los centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal (H. Congreso de la Unión ,1992).

En tercer lugar, se encuentra el saneamiento de aguas residuales. El servicio público es ofrecido por medio del Sistema de Alcantarillado que abarca al conjunto de obras y acciones que permiten su prestación; se incluye el saneamiento, que abarca a la conducción, tratamiento, almacenamiento y descarga de las aguas residuales. Se define como aguas residuales a aquellas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas (H. Congreso de la Unión,1992).

En cuarto lugar, se aborda el tema de residuos. La gestión integral de residuos incluye acciones para su manejo, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social. En este caso, nos enfocamos en los residuos sólidos urbanos, que incluyen a aquellos que provienen de cualquier actividad en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (H. Congreso de la Unión, 2003).

En quinto lugar, se incluye el tema de movilidad, la cual se define como “capacidad, facilidad y eficiencia de tránsito o desplazamiento de las personas y bienes en el territorio, priorizando la accesibilidad universal, así como la sustentabilidad de la misma” ( H. Congreso de la Unión, 2016, p. 4).

Finalmente, se aborda el tema de telecomunicaciones. El servicio se brinda por medio del Servicio Público de Telecomunicaciones, abarca a toda emisión, transmisión o recepción de signos, señales, datos, escritos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de hilos, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos, sin incluir la radiodifusión (H. Congreso de la Unión, 2014a).

## MARCO REFERENCIAL

### INSTRUMENTO PARA LA MEDICIÓN DE RESILIENCIA EN ESPACIOS PÚBLICOS

En este apartado se aborda el modelo de medición del espacio público resiliente, el único identificado que se alinea a los intereses de esta



Fuente: Cabrera, P. et al. (2020)

investigación y que mide resiliencia urbana en espacios públicos.

El modelo fue desarrollado por Cabrera Andrade, P., Correa Fuentes D., y Chung Alonso, P. (2020), quienes realizaron una adaptación a nivel espacio público de los 52 indicadores que conforman el CRI, un instrumento de medición de resiliencia urbana. El modelo incluye las 4 dimensiones y las 12 metas del modelo original, sin embargo, en el caso de los indicadores, después de un análisis detallado se seleccionaron y adaptaron 38 de estos, que evalúan la resiliencia en los espacios públicos (ver figura 2).

Además, se incluyen 104 preguntas que tienen la función de establecer los alcances de los 38 indicadores. Cada pregunta cuenta con su ficha de escenarios que está integrada por el indicador, la pregunta, las condiciones de mejor y peor escenario y, una sección cuantitativa, que delimita las medidas preferidas, guía métrica y las medidas base.

## METODOLOGÍA

Esta investigación surge con el propósito de beneficiar la resiliencia en espacios públicos mexicanos. Este artículo se limita a los servicios urbanos necesarios en espacios públicos resilientes de tipo abierto. La metodología consistió en el desarrollo de 8 etapas (ver figura 3), que se describen a continuación:

Para la selección y análisis de indicadores, se realizó una investigación documental en diferentes repositorios académicos para identificar los alcances de la resiliencia a nivel espacio público, con los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Información aplicada exclusivamente a la resiliencia en espacios públicos.
- Información desarrollada, enfocada o aplicada a México.
- Información publicada con una antigüedad no mayor de diez años.
- Información desarrollada por organizaciones o instituciones con relevancia en el tema para el país.

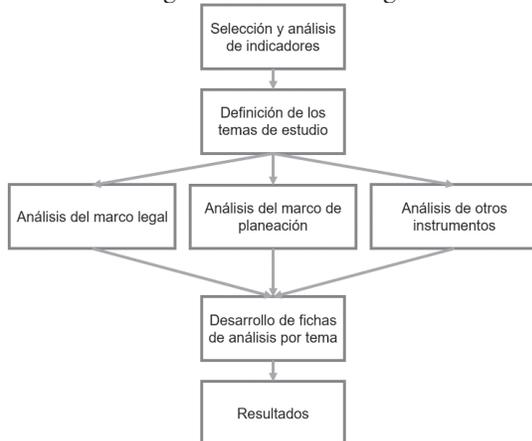
Se seleccionó el modelo de medición de la resiliencia en espacios públicos de Cabrera Andrade P. et al (2020), el único identificado que cumple con los criterios de inclusión y exclusión.

El modelo establece 38 indicadores que son tomados como fundamento teórico para el desarrollo de esta investigación. De manera que, los instrumentos y políticas públicas analizadas guardan relación con estos indicadores. Para conocer el alcance de cada indicador fue necesario analizar las 104 preguntas y sus fichas de escenarios que se desprenden de ellos.

Después de analizar los 38 indicadores del modelo, se identificaron 6 servicios urbanos (que son prestados directamente por la autoridad y satisfacen necesidades colectivas) los cuales son los siguientes: energía, agua potable, aguas residuales, residuos, movilidad y telecomunicaciones (Tabla 1).

**FIGURA 3**

Diagrama de metodología.



Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 1**

Indicadores relacionados a los servicios urbanos.

Temática	Indicadores (sustento teórico)
Energía	Indicador 1. Suministro de energía asequible y adecuado Indicador 22. Infraestructura flexible Indicador 23. Capacidad de sobra retenida Indicador 24. Mantenimiento y continuidad diligente
Agua potable	Indicador 2. Acceso inclusivo al agua potable Indicador 22. Infraestructura flexible Indicador 23. Capacidad de sobra retenida Indicador 24. Mantenimiento y continuidad diligente
Aguas residuales	Indicador 3. Saneamiento efectivo Indicador 22. Infraestructura flexible Indicador 23. Capacidad de sobra retenida Indicador 24. Mantenimiento y continuidad diligente
Residuos	Indicador 22. Infraestructura flexible Indicador 23. Capacidad de sobra retenida Indicador 24. Mantenimiento y continuidad diligente
Movilidad	Indicador 26. Redes de transporte diversas y costeables
Telecomunicaciones	Indicador 27. Comunicaciones y tecnología confiables y segura

Fuente: Elaboración propia, con base en Cabrera, P. et al. (2020)

En la etapa de análisis se revisaron los marcos legales, de planeación e instrumental aplicado a cada servicio urbano identificado. En el primero de ellos, se abarcan las Leyes Federales que emiten regulaciones de carácter general y las NOM

que son de uso obligatorio. Además, se pueden incluir Normas Mexicanas (expresan recomendaciones), PROY-NOMs (están sujetas a cambios) y Normas de Emergencia.

Para el marco de planeación se revisaron desde Plan Nacional de Desarrollo hasta los programas y estrategias del gobierno federal. Además, se incluyen otros instrumentos de planeación publicados por las diferentes secretarías u organismos federales.

Finalmente se revisaron instrumentos que no entran en la categoría de normativos ni de planeación, pero que guardan relación con las temáticas de estudio. Estos instrumentos son publicados por las secretarías u organismos del gobierno federal como guías y manuales. Además, se analizaron otros tipos de instrumentos de injerencia nacional publicados por organizaciones o instituciones no gubernamentales con relevancia e influencia en la promoción del espacio público o de estas temáticas en el país.

Después del análisis, se desarrolló una ficha para cada temática, que incluye los resultados del análisis del marco legal, de planeación e instrumental. En las fichas se enlistan los instrumentos analizados y sus regulaciones o acciones relacionadas a cada temática. Además, se incluye una sección de observaciones, donde se expresan datos relevantes identificados.

Como resultados se presenta un listado con las características y recomendaciones identificadas y fundamentadas en las fichas de análisis, estas se encuentran divididas por temáticas y están enfocadas a la construcción de resiliencia en los espacios públicos del tipo abierto en México.

## RESULTADOS

En esta sección se muestra la ficha generada para cada uno de los servicios urbanos seleccionados, y posterior a ellas se emiten las conclusiones que surgen con el análisis de cada marco.

## FICHA 1 ENERGÍA

El suministro de energía es fundamental en un espacio público resiliente, debido a que es un servicio esencial para la población, que debe brindarse todos los días sin interrupción. Se establece como necesario un suministro asequible y adecuado para el desarrollo de actividades (Cabrera Andrade et al., 2020).

La LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016) es el único instrumento legal con regulaciones para espacios públicos, donde se plantea implementar sistemas o dispositivos de alta eficiencia energética en las obras públicas de equipamiento urbano. En general en el marco legal se fomentan el uso de fuentes renovables (limpias)

y prácticas de eficiencia energética. Las NOMs se enfocan en la seguridad de las instalaciones e identifican luminarias con alta eficiencia energética.

El marco de planeación está enfocado en la eficiencia energética, el uso de energías limpias y el desarrollo de infraestructura integradora. Destaca la acción de aumentar el rendimiento de equipos de iluminación (lámparas LED) para el espacio público. Asimismo, los programas analizados se enfocan en la eficiencia energética (principalmente en la iluminación).

El marco instrumental está encaminado a la generación de energía limpia y el uso eficiente de la energía (principalmente en la iluminación). Además, se identificaron guías de modelos comerciales de luminarias con alta eficiencia energética.

<b>MARCO LEGAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Regulación</b>
LIE (H. Congreso de la Unión, 2014b)	Regula la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional y el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.
LTE	Regula el aprovechamiento sustentable de la energía. También contiene el listado de las fuentes de energías renovables en el país.
LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016)	Fomenta en la urbanización la aplicación de tecnologías que beneficien al medio ambiente; promueve la implementación de sistemas o dispositivos de alta eficiencia energética en las obras públicas de infraestructura y equipamiento urbano y; establece que las redes de infraestructura de energía primaria deberán contar con estudios de prevención de riesgo tomando en cuenta su escala y efecto.
LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)	Fomenta la mitigación y adaptación al cambio climático en materia de hidrocarburos y energía eléctrica y; promueve la sustitución del uso y consumo de los combustibles fósiles, la generación de electricidad a través de fuentes renovables de energía, prácticas de eficiencia energética, y la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, particularmente en bienes muebles e inmuebles públicos.
PROY-NOM-001-SEDE-2018 (SENER, 2018).	Establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades.
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>
PND (SEGOB, 2019)	Apartado 3 "Economía – Rescate del sector energético" impulsa el desarrollo sostenible mediante la incorporación de poblaciones y comunidades a la producción de energía con fuentes renovables.
PSE (SENER, 2020b)	Acción puntual 4.1.7 que establece en la política de eficiencia energética el aumento del rendimiento de equipos de iluminación en espacios públicos y el uso de energías renovables, sistemas de almacenamiento, conversión de corriente y tecnologías de interconexión a la red eléctrica.

ETPUTCL (SENER, 2020a)	Líneas de acción identificadas en tres vertientes: Ahorro y uso eficiente de energía. Apartado de Servicios públicos municipales donde se establecen acciones para impulsar la eficiencia energética municipal, como tecnología clave se hace referencia al uso de lámparas LED en el alumbrado público Aprovechamiento de energías limpias. Acciones para el desarrollo e impacto social de fuentes de energías limpias. Desarrollo de infraestructura integradora. Acciones en rubros de redes inteligentes, generación distribuida y almacenamiento.
PNEEAPM (SENER, 2017)	Impulsa la eficiencia energética a través de la sustitución de los sistemas ineficientes de alumbrado público municipal. Para participar en el proyecto se deben seleccionar luminarias acordes a la NOM-031-ENER-2012 y NOM-028-ENER-2010.
PMU (SEDATU, 2020c).	Modalidad de Equipamiento Urbano y Espacio Público. Se busca implementar acciones en los espacios públicos considerando la introducción de ecotecnología y ecotecnologías, para hacerlos más amigables con el ambiente. Requisitos de sustentabilidad: luminarias de bajo consumo y especificaciones de ahorro energético.
ENCC (SEMARNAT, 2013)	Ejes estratégicos M1: Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia M2: Reducir la intensidad energética mediante esquemas de eficiencia y consumo responsable
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Relación</b>
GDCU (WRI MÉXICO, 2016a)	A nivel de barrios, se debe procurar que al menos el 70% del alumbrado público cuente con focos ahorradores.
GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	Se recomienda optar por sistemas de iluminación eficientes como los de vapor de sodio de baja presión y tecnología LED, así como luminarias tipo lámparas en posición horizontal o cabeza de cobra. Además de sistemas alternativos como luminarias solares.
<b>OBSERVACIONES</b>	
Se identificaron otros programas (PETE y PENAS) establecidos en la LTE, pero no se encuentran vigentes. Actualmente, el PMU se encuentra extendido solo para 18 ciudades definidas por SEDATU.	

## FICHA 2 AGUA POTABLE

El suministro de agua es igualmente fundamental en un espacio público resiliente, debido a que es un servicio esencial para la población, y se establece como necesario un suministro adecuado para el desarrollo de actividades y como medio de amortiguamiento en caso de ser utilizado como refugio temporal (Cabrera Andrade et al., 2020).

Ningún instrumento legal aborda el tema a nivel espacio público, pero se guarda relación debido a que se fomenta un uso sustentable del agua. Además, se identificaron NOMs relacionadas con la calidad del agua potable y a las condiciones óptimas del sistema.

El marco de planeación está enfocado a garantizar el acceso universal al agua y al aprovechamiento eficiente de la misma. Además, se hace

promoción al uso de eco tecnologías y a la captación de agua pluvial. Asimismo, los programas identificados se enfocan en la cobertura y la eficiencia del servicio.

El marco instrumental está relacionado al uso eficiente y sustentable del agua. En este caso se identificaron actividades que requieren del suministro del agua en el espacio público, además se destaca a la captación de agua de lluvia como alternativa para optimizar funciones ambientales. También se mencionan los tipos de obras de captación.

## FICHA 3 AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales es fundamental para el saneamiento efectivo en un espacio pú-

<b>Agua potable</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Regulación</b>
LAN (H. Congreso de la Unión, 1992)	Regula la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.
LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016)	Fomenta en la urbanización la aplicación de tecnologías que beneficien al medio ambiente; promueve la gestión integral del agua y los recursos hidráulicos y; establece que las redes de infraestructura hidráulica primaria deberán contar con estudios de prevención de riesgo, tomando en cuenta su escala y efecto.
LGEEPA (H. Congreso de la Unión (1988)	Propone enfrentar el cambio climático en materia de prestación del servicio de agua potable y saneamiento, también fomenta el aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación del agua.
LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)	Fomenta la implementación de acciones para la adaptación conforme a promover el aprovechamiento sustentable de las fuentes superficiales y subterráneas de agua.
PROY-NOM-127-SSA1-2017 (SSA, 2019)	Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
NOM-230-SSA1-2002* (SSA, 2002)	Requisitos sanitarios para manejo del agua en las redes de agua potable.
NOM-001-CONAGUA-2011 (CONAGUA, 2011b).	Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario - Hermeticidad - Especificaciones y métodos de prueba
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>
PNH (CONAGUA, 2020b)	Objetivo prioritario 1 "Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable".
Agenda del Agua 2030 (CONAGUA, 2011a)	Cuencas en equilibrio. Reducción de la demanda pública urbana, a través de la reducción de fugas, tecnologías eficientes y reúso del agua. Una medida es el reúso para riego en parques.
PROAGUA (CONAGUA, 2020a)	Tiene como objetivo incrementar y sostener la cobertura y/o eficiencia del servicio de agua potable, a través del apoyo al financiamiento de obras de infraestructura y acciones para el desarrollo de dichos servicios.
PMU (SEDATU, 2020c).	I. Modalidad de Equipamiento Urbano y Espacio Público. Se busca implementar acciones en los espacios públicos considerando la introducción de ecotecnia y ecotecnologías, para hacerlos más amigables con el ambiente. Requisitos de sustentabilidad: Aprovechamiento de agua pluvial y racionalización de agua potable.
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Relación</b>
GDCU (WRI MÉXICO, 2016a)	A nivel de barrios, se debe procurar que al menos el 90% del agua para riego sea obtenida por la recuperación y almacenaje de agua de lluvia, o proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales.
GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	Se recomienda que los espacios públicos tengan el servicio de sanitarios y bebederos. Además, considerar el abastecimiento de agua para riego en los programas de mantenimiento. Para optimizar las funciones ambientales del espacio público se hace énfasis en la captación y manejo de agua pluvial. Además, para ahorrar agua se recomienda utilizar como cubresuelos plantas suculentas y plantas endémicas que requieren menor mantenimiento.
MAPAS (Libro 7) CONAGUA (2019)	Menciona los tipos de obras existentes y la forma adecuada de sus instalaciones para la captación de aguas atmosféricas, superficiales y subsuperficiales.
Observaciones	
PROAGUA cuenta con un listado de localidades (rurales y urbanas) con grado de prioridad. En el libro 7 del MAPAS se profundiza en obras de captación de agua. Se desconoce el estatus actual de la NOM-230-SSA1-2002*.	

blico resiliente, debido a que es un servicio esencial para la población que debe brindarse todos los días e incluso en momentos de interrupción. El saneamiento efectivo es vital para mantener condiciones de higiene, prevenir enfermedades y proteger al medio ambiente. Se debe proveer de un saneamiento adecuado para los usuarios del espacio (Cabrera Andrade et al., 2020).

Ningún instrumento legal emite regulaciones para este tema a nivel espacio público, sin embargo, los instrumentos analizados guardan relación porque promueven la protección del agua y su uso sustentable. También se identificaron NOMs

relacionadas principalmente a los límites permisibles de contaminantes.

El marco de planeación está enfocado a la conservación del agua y a garantizar el acceso universal al saneamiento, también fomenta el uso de ecotecnologías. Se identificó una sola acción relacionada al espacio público, trata sobre el reúso del agua tratada para riego en parques.

El marco instrumental señala la importancia del saneamiento y se identifican los diferentes procesos para el tratamiento de aguas residuales. Se sugiere a los humedales de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales en áreas verdes y el reúso de aguas tratadas para riego o infiltración.

<b>MARCO LEGAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Regulación</b>
LAN (H. Congreso de la Unión, 1992)	Regula la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.
LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016)	Fomenta para la urbanización la aplicación de tecnologías que beneficien al medio ambiente; promueve la gestión integral del agua y los recursos hidráulicos, incluyendo el drenaje, saneamiento y tratamiento de aguas residuales y; establece que las redes de infraestructura hidráulica primaria deberán contar con estudios de prevención de riesgo, tomando en cuenta su escala y efecto.
LGEEPA (H. Congreso de la Unión (1988)	Fomenta el aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de las aguas nacionales; la prevención y control de la contaminación de las aguas; la prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.
LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)	Propone enfrentar el cambio climático en materia de prestación del servicio de agua potable y saneamiento.
PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 (SEMARNAT, 2017)	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
NOM-002-SEMARNAT-1996* (SEMARNAT, 1996)	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
NOM-003-SEMARNAT-1997* (SEMARNAT, 1997)	Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
NOM-014-CONAGUA-2003 (CONAGUA, 2003)	Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
NOM-006-CONAGUA-1997 (CONAGUA, 1997)	Especificaciones y métodos de prueba para fosas sépticas prefabricadas.
NOM-001-CONAGUA-2011 (CONAGUA, 2011)	Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario - Hermeticidad - Especificaciones y métodos de prueba
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>
PNH (CONAGUA, 2020b)	Objetivos prioritarios: 1.Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable. 2.Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.

Agenda del Agua 2030 (CONAGUA, 2011a)	Cuencas en equilibrio. Reducción de la demanda pública urbana, a través de la reducción de fugas, tecnologías eficientes y reúso del agua. Una medida es el reúso para riego en parques.															
PROAGUA (CONAGUA, 2020a)	Tiene como objetivo incrementar y sostener la cobertura y/o eficiencias de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, a través del apoyo al financiamiento de obras de infraestructura y acciones para el desarrollo de dichos servicios, en localidades urbanas y rurales del país.															
ENCC (SEMARNAT, 2013)	Línea de acción M3.9 Impulsar nuevas tecnologías e infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, a través de esquemas de coinversión e instrumentos económicos que faciliten el autofinanciamiento de la operación y mantenimiento de la infraestructura.															
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>																
<b>Instrumento</b>	<b>Relación</b>															
GDCU (WRI MÉXICO, 2016a)	A nivel de barrios, se debe procurar que se trate el 100% del agua residual de la comunidad urbana dentro del conjunto o en una planta de tratamiento de aguas residuales cercana.															
GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	Como elemento para la higiene se recomienda que los espacios públicos tengan el servicio de sanitarios. Se recomienda humedales de tratamiento en áreas verdes (parques, camellones, áreas verdes residuales) para tratamiento de aguas residuales domésticas y reúso en riego o infiltración.															
MAPAS (Libro 25) CONAGUA (2019)	Clasificación y descripción de los procesos de tratamiento de aguas residuales.  <table border="1" data-bbox="548 926 1365 1184"> <caption>Tabla 1.7 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales</caption> <thead> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Remueve</th> <th>Proceso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tratamiento primario</td> <td>Arenas Partículas gruesas Sólidos suspendidos</td> <td>Rejillas desarenadores sedimentación</td> </tr> <tr> <td>Tratamiento secundario</td> <td>Materia orgánica disuelta</td> <td>Tratamiento biológico (ej. lodos activados)</td> </tr> <tr> <td>Tratamiento terciario</td> <td>Nitrógeno Fósforo Materia coloidal</td> <td>Desnitrificación-nitrificación Remoción de fósforo Coagulación-floculación</td> </tr> <tr> <td>Tratamiento avanzado</td> <td>Patógenos Microcontaminantes</td> <td>Desinfección Oxidación forzada</td> </tr> </tbody> </table>	Clasificación	Remueve	Proceso	Tratamiento primario	Arenas Partículas gruesas Sólidos suspendidos	Rejillas desarenadores sedimentación	Tratamiento secundario	Materia orgánica disuelta	Tratamiento biológico (ej. lodos activados)	Tratamiento terciario	Nitrógeno Fósforo Materia coloidal	Desnitrificación-nitrificación Remoción de fósforo Coagulación-floculación	Tratamiento avanzado	Patógenos Microcontaminantes	Desinfección Oxidación forzada
Clasificación	Remueve	Proceso														
Tratamiento primario	Arenas Partículas gruesas Sólidos suspendidos	Rejillas desarenadores sedimentación														
Tratamiento secundario	Materia orgánica disuelta	Tratamiento biológico (ej. lodos activados)														
Tratamiento terciario	Nitrógeno Fósforo Materia coloidal	Desnitrificación-nitrificación Remoción de fósforo Coagulación-floculación														
Tratamiento avanzado	Patógenos Microcontaminantes	Desinfección Oxidación forzada														
<b>OBSERVACIONES</b>																
En el libro 25 del MAPAS se profundiza en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Se desconoce el estatus actual de las NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.																

#### FICHA 4 RESIDUOS

El tratamiento de los residuos es fundamental para el saneamiento efectivo en un espacio público resiliente, debido a que es un servicio esencial para la población que debe brindarse todos los días. El saneamiento efectivo es vital para mantener condiciones de higiene, prevenir enfermedades y proteger al medio ambiente. Se debe proveer de un saneamiento adecuado para los usuarios del espacio (Cabrera Andrade et al., 2020). Esta investigación se enfoca exclusivamente en los residuos sólidos urbanos que son generados en el espacio público.

Ningún instrumento legal emite regulaciones en materia para el espacio público, pero se fo-

menta una gestión integral de los residuos y atribuye al municipio el manejo de residuos sólidos urbanos. Las NOMs identificadas no se consideran de interés debido a que se enfocan en los residuos peligrosos y de manejo especial.

En el marco de planeación está enfocado en la gestión integral de los residuos y su funcionamiento por medio de la economía circular. El PMU (SEDATU, 2020c) pone como requisito específico incluir en los proyectos contenedores para la separación de residuos.

En el marco instrumental se expone la importancia de la separación de residuos sólidos y se presenta la iconografía para lograrlo. Además, se mencionan las características de los contenedores y se contempla al barrido como una fase del siste-

<b>MARCO LEGAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Regulación</b>
LGPGIR (H. Congreso de la Unión, 2003)	Reglamenta las disposiciones que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Se incluye a la clasificación de los residuos y se designa atribuciones.
LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016)	Fomenta para la urbanización acciones de adaptación y mitigación al cambio climático; Impulsa la gestión integral de los residuos y establece que las instalaciones de tratamiento, confinamiento, eliminación o disposición de residuos peligrosos y municipales deberán contar con estudios de prevención de riesgo, tomando en cuenta su escala y efecto.
LGEEPA (H. Congreso de la Unión, 1988)	Atribuye al municipio el funcionamiento, implantación y mejoramiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.
LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)	Corresponde a los municipios el manejo de residuos sólidos municipales. Además, promueve políticas y acciones de mitigación asociadas a la reducción de emisiones.
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
PNPGIR (SEMARNAT, 2018)	Fomenta la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el país, a través del financiamiento de estudios o programas para su prevención y gestión integral, el desarrollo de infraestructura y su aprovechamiento material o energético.
VNGSCR (SEMARNAT, 2019)	Busca transformar el esquema tradicional del manejo de los residuos en un modelo de economía circular, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y favorecer el desarrollo sustentable en el país.
ENCC (SEMARNAT, 2013)	Línea de acción M 3.9: Impulsa nuevas tecnologías e infraestructura para el manejo integral de los residuos sólidos y el aprovechamiento energético del biogás, a través de esquemas de coinversión e instrumentos económicos que faciliten el autofinanciamiento de la operación y mantenimiento de la infraestructura.
PMU (SEDATU, 2020c)	I. Modalidad de Equipamiento Urbano y Espacio Público. Se busca implementar acciones en los espacios públicos considerando la introducción de ecotecnia y ecotecnologías, para hacerlos más amigables con el ambiente. Requisitos de sustentabilidad: botes, contenedores para separación de basura y especializados (PET, Vidrio, Papel, Aluminio).
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
GDCU (WRI MÉXICO, 2016a)	A nivel barrios, se debe procurar que existan instalaciones y vehículos de recolección que faciliten la separación de residuos sólidos, acompañado por un programa comunitario de gestión (separación y reciclaje) de los residuos. Para lograr mayores ahorros en residuos, se sugiere: - Crear centros de compostaje comunitarios. - Utilizar los fondos de la venta de residuos reciclables para mejorar la comunidad.
GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	Como elementos para la higiene se recomienda contar con botes de basura de al menos dos elementos juntos (desechos orgánicos e inorgánicos) y capacidad adecuada al espacio; contenedores herméticos, cerrados, con capacidad adecuada y de al menos dos elementos (desechos orgánicos e inorgánicos) y; depósito de heces caninas.

<p>GDIGMIRSU (SEMARNAT, s. f.)</p>	<p>Presenta la iconografía para ocho residuos diferentes que posteriormente agrupa en dos clasificaciones: primaria y secundaria. La guía indica los usos correctos e incorrectos de los diseños y las condiciones que deben de cumplir.</p> 
<p>MTGRTRSM SEDESOL (s.f.)</p>	<p>El almacenamiento apropiado de los residuos (uso de recipientes de capacidad adecuada, materiales de construcción de recipientes adecuados y separación de componentes) tiene una influencia positiva en su manejo y en el aseo urbano. Se recomiendan recipientes de construcción metálica y la capacidad se determina por el método de "prueba y error" hasta encontrar el tamaño adecuado.</p> <p>El barrido es otra fase del sistema de recolección de basura, es la actividad de recolección manual o mecánica de residuos sólidos depositados en la vía pública para mantenerla limpia y en condiciones estéticas.</p>
<p>MMRS (INDESOL, 2015).</p>	<p>Manejo integral de los residuos sólidos. Para realizar un manejo adecuado de los residuos sólidos, primero hay que separarlos.</p> <p>Los residuos orgánicos se pueden convertir (por medio del compostaje) en abonos orgánicos, que resultan nutritivos para las plantas, disminuyen la cantidad de basura generada para tu población y generan un mejor ambiente.</p>
<p><b>OBSERVACIONES</b></p>	
<p>No se identificaron NOMs para los residuos sólidos urbanos. El último registro del PNPGIR fue en el año 2018. En la GDIGMIRSU está homologada a nivel nacional la iconografía para la separación de residuos.</p>	

ma de recolección. Destaca la acción de composteo para convertir residuos orgánicos en abono.

## FICHA 5 MOVILIDAD

Una movilidad fiable es indispensable para un espacio público resiliente debido a que crea co-

nectividad entre lugares, personas y servicios, fomenta un entorno positivo para los usuarios y mantiene redes sociales y lazos, y apoya la rápida evacuación masiva durante las emergencias. La movilidad en el espacio se debe enfocar en la diversidad, la seguridad y la calidad de las opciones de viaje para acceder al espacio (Cabrera Andrade et al., 2020).

<p><b>MARCO LEGAL</b></p>	
<p><b>Instrumento</b></p>	<p><b>Regulación</b></p>
<p>LGAHOTDU (H. Congreso de la Unión, 2016)</p>	<p>Establece que se debe asegurar que las personas puedan elegir libremente la forma de trasladarse a fin de acceder a los bienes, servicios y oportunidades que ofrecen sus Centros de Población, además de procurar la accesibilidad universal de las personas y priorizar la movilidad peatonal y no motorizada</p>
<p>LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)</p>	<p>Para reducir las emisiones se promueve diseñar e implementar sistemas de transporte público integrales, y programas de movilidad sustentable en las zonas urbanas o conurbadas.</p>

NOM-034-SCT2-2011 (SCT, 2011).	Establecer los requisitos generales que han de considerarse para diseñar e implantar el señalamiento vial de las carreteras y vialidades urbanas de jurisdicción federal, estatal y municipal.
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
PND (SEGOB, 2019)	Programa de Desarrollo Urbano y Vivienda
PSDATU (SEDATU, 2020d)	Estrategia prioritaria 3.4 Impulsar políticas de movilidad, conectividad y seguridad vial, para mejorar el acceso a bienes y servicios urbanos.
PMU (SEDATU, 2020c).	Modalidad Movilidad y Conectividad. En esta modalidad se contemplan la construcción, renovación y adecuación de nueve tipos de proyectos: calles integrales, peatonalización de calles, infraestructura ciclista, pasos peatonales a nivel, senderos seguros, intersecciones seguras, alumbrado público peatonal y vehicular, superficie peatonal con diseño de accesibilidad universal (guarniciones, banquetas y rampas) y señalización horizontal y vertical y, nomenclatura.
ENCC (SEMARNAT, 2013)	Eje estratégico M3.7 Generar incentivos, infraestructura y programas para favorecer el transporte no motorizado, articulado dentro de sistemas integrados de transporte, en el que se dé prioridad al peatón y al ciclista para generar beneficios ambientales y de salud inmediatos.
PMNN (SEDATU, 2020b)	Salud, estrategia 2: Ampliación de infraestructura peatonal y áreas públicas. Los parques, plazas y jardines deben permanecer abiertos, reduciendo obstáculos en sus accesos y ampliando las secciones de circulación para garantizar sana distancia de al menos 2 metros.
GIME4S (SEDATU (2020a)	Las acciones para la movilidad se pueden agrupar en cinco categorías de proyectos emergentes: ampliación del área peatonal, ciclovías emergentes, reducción de velocidad, reuso del estacionamiento y supermanzanas.
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
GDCU (WRI MÉXICO, 2016a)	Estrategia barrial. Conectar los espacios públicos entre sí y con los principales lugares de atracción, a través de un sistema de banquetas, ciclovías o senderos peatonales/ ciclistas. Estrategia vial. Entre las sugerencias más pertinentes están: A. Prever senderos, biciestacionamientos y paraderos de transporte público para facilitar la accesibilidad a estos espacios por medios de movilidad sustentable B. Diseñar las vialidades contiguas con estrategias de "tráfico calmado" C. Proveer una iluminación adecuada D. Prever la conexión entre el ámbito público y el privado, especialmente con los comercios y equipamientos públicos E. Diseñar y construir los espacios con materiales de alta calidad, detalles interesantes, vistas y experiencias sensoriales agradables. F. Proveer protección contra la intemperie climática. G. Proporcionar elementos de asiento y reunión.
MEPVP (WRI MÉXICO, 2016b).	Los espacios públicos exitosos fomentan la vida pública y promueven la interacción social por medio de ambientes accesibles que integran al peatón y al ciclista. Los criterios de calidad en los espacios públicos exitosos son: protección y confort.

GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	<p>Como elementos para los adultos mayores, se sugiere rampas de un ancho mínimo de 1.50m y máximo de 1.80m, con pendientes de 6% a 8% y de material antiderrapante y resistente.</p> <p>Como elementos para recorrer se sugieren senderos, pasillos y andadores que deben conectar a las diferentes áreas del espacio y evitar obstáculos que dificulten la libre circulación del peatón; ciclistas, vías exclusivas para bicicletas, se recomienda un ancho mínimo para un carril de 1.50m y de dos carriles 2.5m, que sean de concreto.</p> <p>Como elementos de servicio público se recomienda contar con parada de autobuses y estacionamientos (vehículos, vehículos de personas con capacidades diferentes, motocicletas y bicicletas).</p>
MCDVCM (SEDATU (2019)	<p>Infraestructura para diferentes tipos de movilidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Infraestructura peatonal (banquetas, rampas, pavimento podotáctil y bolardos). Se debe diseñar para que puedan ver y ser vistos, sobre todo en lugares en donde pudieran estar más expuestos.</li> <li>-Infraestructura ciclista (carril compartido, carril prioritario ciclista, carril bus-bici, ciclocarril y cicloavía).</li> <li>-Transporte público (estaciones de transporte público).</li> </ul>
<b>OBSERVACIONES</b>	
<p>Se identificaron instrumentos de movilidad orientados a la nueva normalidad. En el MCDVCM se puede profundizar en el diseño vial.</p>	

Ningún instrumento legal en materia emite regulaciones para este tipo de espacios públicos. En general, se promueve la accesibilidad universal, los sistemas de transporte público integrales y la movilidad sustentable (peatonal y no motorizada). Solo se identificó una NOM relacionada al diseño e implementación de señalamientos viales.

El marco de planeación está encausado en la sostenibilidad, la seguridad vial y la resiliencia, priorizando a la movilidad peatonal y no motorizada. Sin embargo, no se encontraron acciones específicas para los espacios públicos del tipo abierto. También se identificaron instrumentos con acciones enfocadas a la nueva normalidad por situación de pandemia.

En el marco instrumental se destaca la importancia de generar infraestructura para la movilidad no motorizada (peatonal y ciclista) y el transporte público, se destaca la importancia de conectar los espacios públicos entre sí y con lugares de atracción por medio de sistemas de banquetas o senderos y vías ciclistas. Además, se abordan temas de accesibilidad universal.

## FICHA 6 TELECOMUNICACIONES

Las redes de tecnología de la información y la comunicación son indispensables para un espacio

público resiliente porque generan conectividad debido a que permiten una comunicación segura y el acceso a la información, fomentan un entorno positivo para los usuarios, permiten comunicar a los ciudadanos durante las emergencias y difundir información que puede salvar vidas y activos. Se considera que los sistemas de comunicación deben ser eficaces, fiables y accesibles para todos (Cabrera Andrade et al., 2020).

La LFTR (H. Congreso de la Unión, 2014a) es el único instrumento legal con regulaciones para espacios públicos, principalmente relacionado a temas de conectividad a internet. En general se fomenta el acceso a la información a través de las telecomunicaciones y en específico del acceso a internet. También se impulsa a instrumentar y operar redes de detección, monitoreo, pronóstico y sistemas de alertamiento. No se identificaron NOMs relacionadas a esta temática.

El marco de planeación está enfocado a la cobertura universal del servicio y a la conectividad digital de los servicios de telecomunicaciones en el espacio público. Destaca el PCDSP (SCT, 2019c) como una oportunidad para acceder al servicio de internet en sitios públicos.

En el marco instrumental se destaca la importancia del acceso al servicio de internet en los espacios públicos y de incluir a las telecomunicaciones para garantizar la seguridad. Además, se

enlistan a los sistemas de alerta temprana existentes en México. También se hace mención de la presencia de teléfonos públicos en el espacio público.

## RECOMENDACIONES FINALES

Como resultado del análisis anterior, en esta sección se presenta la Tabla 2 conformada por dos apartados principales; en el primero se sintetizan

las características óptimas de cada servicio urbano aplicables al espacio público, que se alinean al modelo de resiliencia de referencia, las cuales están fundamentadas en los marcos legales, de planeación e instrumental. En el segundo, se presentan recomendaciones para impulsar el desarrollo de estos espacios desde el ámbito federal, debido a que se identificaron pocos instrumentos, regulaciones, acciones o recomendaciones destinados a la resiliencia de estos espacios públicos.

<b>MARCO LEGAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Regulación</b>
LFTR (H. Congreso de la Unión, 2014a)	Regula la prestación de los servicios públicos de interés general de telecomunicaciones y radiodifusión. Además, aborda temas de conectividad en sitios y espacio públicos, el involucramiento de los tres órdenes de gobierno en temas de conectividad a internet y la necesidad de un registro de estos espacios públicos.
LGAHOTDU(H. Congreso de la Unión, 2016)	Fomenta la consolidación de redes de comunicaciones, creación y mantenimiento de infraestructura productiva, equipamientos y servicios públicos de calidad.
LGPC (H. Congreso de la Unión, 2012b)	Fomenta instrumentar y operar redes de detección, monitoreo, pronóstico y sistemas de alertamiento, en coordinación con las dependencias responsables e incorporando los esfuerzos de otras redes de monitoreo públicas o privadas
LGCC (H. Congreso de la Unión, 2012a)	Fomenta un sistema de alerta temprana ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, incluyendo huracanes, lluvias atípicas, olas de calor, olas de frío y sus efectos como inundaciones, deslaves, marea alta, u otros que generan vulnerabilidad en la población, en la infraestructura estratégica y en las actividades productivas del país.
<b>MARCO DE PLANEACIÓN</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
PCS (SCT, 2019b)	Establece las bases para promover el incremento en la cobertura de las redes y la penetración de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión incluyendo banda ancha e Internet, bajo condiciones de disponibilidad, asequibilidad y accesibilidad, en las Zonas de Atención Prioritaria de Cobertura Social.
PCDSP (SCT, 2019c)	Genera con información proporcionada por las instancias de los tres órdenes de gobierno, la base de datos de los Sitios Públicos por Conectar asociados a programas y proyectos públicos, principalmente aquellos sitios que se encuentren en las Zonas de Atención Prioritaria.
<b>MARCO INSTRUMENTAL</b>	
<b>Instrumento</b>	<b>Acciones</b>
GDEPSIS (SEDESOL, 2011)	Como elementos de servicio público casetas de teléfonos. Como elementos para la seguridad alarmas sonoras o botones de pánico y sistemas remotos de vigilancia.
CMCEP (SCT, 2019)	Los espacios públicos se han constituido en importantes espacios de convivencia social. Si éstos cuentan con acceso a internet los ciudadanos pueden consultar información que otorga el Gobierno, académica y cultural, acceder a redes sociales para entretenimiento o mantener comunicación con sus seres queridos, buscar empleo, emprender negocios y mantenerse informados en caso de desastres naturales.

PAC (IFT, 2020)	Servicios y sistemas de alerta en México.																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sistema</th> <th>Fenómeno</th> <th>Cobertura</th> <th>Fecha de inicio</th> <th>Momento de aviso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Servicio Meteorológico Nacional</td> <td>Meteorológicos</td> <td>Nacional</td> <td>1877</td> <td>Aviso ante la ocurrencia y pronósticos.</td> </tr> <tr> <td>Servicio Sismológico Nacional (SNN)</td> <td>Sísmico</td> <td>Nacional</td> <td>1910</td> <td>Aviso ante la ocurrencia de eventos. Los resultados se publican 5 minutos en redes sociales y en la página de Internet del SNN(11).</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX)</td> <td>Sísmico</td> <td>Ciudad de México, Oaxaca, Chilpancingo, Acapulco y Morelia</td> <td>1991</td> <td>Segundos previos al arribo de un sismo que ya ha acontecido. Depende de la distancia, del epicentro y la energía del sismo.</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl</td> <td>Volcánico</td> <td>Zonas aledañas al volcán</td> <td>1994</td> <td>Ante la ocurrencia de eventos, mediante un programa basado en un Semáforo de Alerta Volcánica.</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México</td> <td>Incendios forestales</td> <td>Nacional</td> <td>1999</td> <td>Aviso ante la ocurrencia de eventos, mediante un Sistema de Alerta de Incendios.</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)</td> <td>Ciclón Tropical</td> <td>Nacional</td> <td>2000</td> <td>Con 72 horas de anticipación.</td> </tr> <tr> <td>Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis</td> <td>Tsunami</td> <td>Costa del Pacífico Mexicano</td> <td>2013</td> <td>Para tsunamis locales, con minutos de anticipación; para los regionales y lejanos o transoceánicos, en términos de horas previas.</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Tabla 1. Servicios y sistemas de alerta en México(12).</p>	Sistema	Fenómeno	Cobertura	Fecha de inicio	Momento de aviso	Servicio Meteorológico Nacional	Meteorológicos	Nacional	1877	Aviso ante la ocurrencia y pronósticos.	Servicio Sismológico Nacional (SNN)	Sísmico	Nacional	1910	Aviso ante la ocurrencia de eventos. Los resultados se publican 5 minutos en redes sociales y en la página de Internet del SNN(11).	Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX)	Sísmico	Ciudad de México, Oaxaca, Chilpancingo, Acapulco y Morelia	1991	Segundos previos al arribo de un sismo que ya ha acontecido. Depende de la distancia, del epicentro y la energía del sismo.	Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl	Volcánico	Zonas aledañas al volcán	1994	Ante la ocurrencia de eventos, mediante un programa basado en un Semáforo de Alerta Volcánica.	Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México	Incendios forestales	Nacional	1999	Aviso ante la ocurrencia de eventos, mediante un Sistema de Alerta de Incendios.	Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)	Ciclón Tropical	Nacional	2000	Con 72 horas de anticipación.	Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis	Tsunami	Costa del Pacífico Mexicano	2013
Sistema	Fenómeno	Cobertura	Fecha de inicio	Momento de aviso																																				
Servicio Meteorológico Nacional	Meteorológicos	Nacional	1877	Aviso ante la ocurrencia y pronósticos.																																				
Servicio Sismológico Nacional (SNN)	Sísmico	Nacional	1910	Aviso ante la ocurrencia de eventos. Los resultados se publican 5 minutos en redes sociales y en la página de Internet del SNN(11).																																				
Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX)	Sísmico	Ciudad de México, Oaxaca, Chilpancingo, Acapulco y Morelia	1991	Segundos previos al arribo de un sismo que ya ha acontecido. Depende de la distancia, del epicentro y la energía del sismo.																																				
Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl	Volcánico	Zonas aledañas al volcán	1994	Ante la ocurrencia de eventos, mediante un programa basado en un Semáforo de Alerta Volcánica.																																				
Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México	Incendios forestales	Nacional	1999	Aviso ante la ocurrencia de eventos, mediante un Sistema de Alerta de Incendios.																																				
Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)	Ciclón Tropical	Nacional	2000	Con 72 horas de anticipación.																																				
Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis	Tsunami	Costa del Pacífico Mexicano	2013	Para tsunamis locales, con minutos de anticipación; para los regionales y lejanos o transoceánicos, en términos de horas previas.																																				
Observaciones	El PCDSM está destinado a zonas de atención prioritaria de cobertura social. Se identificó a la EDN establecida en la LFTR, pero no se encuentra vigente. Algunos sistemas de alerta tienen cobertura limitada.																																							

**TABLA 2**

Características identificadas y recomendaciones para construir resiliencia en los espacios públicos de tipo abierto en México

Temática	Características identificadas en la etapa de análisis	Recomendaciones para el marco legal, de planeación e instrumental
Energía	<p>Conexión al Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.</p> <p>Aprovechamiento de fuentes renovables de energía.</p> <p>Instalaciones eléctricas apegadas a la PROY-NOM-001-SEDE-2018 para garantizar la seguridad.</p> <p>Uso de equipos con alto rendimiento energético, ecotecnología y ecotecnologías, principalmente en temas de iluminación (uso de luminarias enlistadas en la NOM-031-ENER-2012 y la NOM-028-ENER-2010).</p> <p>Uso de infraestructura integradora (generación distribuida y almacenamiento de energía).</p>	<p>Generar programas para impulsar el uso de fuentes alternativas (limpias) en estos espacios, incorporar ecotecnologías y desarrollar infraestructura integradora.</p> <p>Promover la seguridad en las instalaciones eléctricas en estos espacios y generar programas o instrumentación para la seguridad.</p> <p>Promover planes de contingencia para el suministro de energía en caso de interrupción del servicio.</p> <p>Regular para obligar al proveedor del servicio supervisar, mantener y actualizar la infraestructura relacionada al suministro de energía en espacios públicos.</p>

Temática	Características identificadas en la etapa de análisis	Recomendaciones para el marco legal, de planeación e instrumental
Agua potable	<p>Conexión al Sistema de Agua Potable. Conexión adecuada del sistema y reducción de fugas (cumplimiento de NOM-001-CONAGUA-2011).</p> <p>Suministro de agua potable de calidad (cumplimiento de PROY-NOM-127-SSA1-2017 y NOM-230-SSA1-2002).</p> <p>Acceso a métodos alternativos para el suministro de agua (principalmente captación de agua atmosférica o pluvial).</p> <p>Suministro de agua mínima para satisfacer necesidades básicas (sanitarios, bebederos y riego).</p> <p>Uso de tecnologías eficientes, ecotecnia y ecotecnologías. Por ejemplo, inodoros ecológicos o ahorradores de agua (NOM-009-Conagua-2001 y NOM-010-Conagua-2000).</p> <p>Reúso del agua tratada o uso de agua pluvial para abastecer el riego de las áreas verdes.</p> <p>Se recomienda usar plantas suculentas de cubresuelos y plantas endémicas para ahorrar agua.</p>	<p>Generar programas para impulsar la captación de agua pluvial en estos espacios e incorporar ecotecnologías.</p> <p>Actualizar las normas relacionadas a la calidad del servicio de agua potable.</p> <p>Promover planes de contingencia para el suministro de agua potable en caso de interrupción del servicio.</p> <p>Incluir al espacio público en los programas relacionados a la cobertura y la eficiencia del servicio.</p> <p>Considerar el uso y consumo humano en el suministro de agua para estos espacios.</p> <p>Regular para obligar al proveedor del servicio, supervisar, mantener y actualizar la infraestructura relacionada al suministro de agua en los espacios públicos.</p>
Aguas residuales	<p>Conexión al Sistema de Alcantarillado. Conexión adecuada del sistema y reducción de fugas (cumplimiento de NOM-001-CONAGUA-2011).</p> <p>Agua adecuadamente tratada.</p> <p>Cumplimiento de límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales (PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 y NOM-002-Semarnat-1996).</p> <p>Acceso a métodos alternativos para el saneamiento de agua. Procesos de tratamiento o fosas sépticas prefabricadas (NOM-006-Conagua-1997).</p> <p>Sistema eficiente para el abastecimiento de las descargas de aguas residuales generadas en el espacio. Por ejemplo, descargas por sanitarios.</p> <p>Reúso del agua tratada para riego o infiltración, cumpliendo con los límites máximos permisibles y requisitos establecidos (NOM-003-Semarnat-1997 y NOM-014-Conagua-2003).</p> <p>Como recomendación uso de humedales de tratamiento en áreas verdes para tratamiento de sus aguas residuales y posteriormente su reúso en riego o infiltración (revisar condiciones en el manual).</p>	<p>Generar programas para impulsar el tratamiento de aguas residuales en áreas verdes y reutilizar el agua tratada. Principalmente fomentar los humedales de tratamiento.</p> <p>Mantener actualizadas las normas relacionadas a los límites permisibles de contaminantes.</p> <p>Promover planes de contingencia para el saneamiento en caso de interrupción del servicio.</p> <p>Incluir al espacio público en los programas relacionados a la cobertura y la eficiencia del servicio.</p> <p>Como obligación del proveedor del servicio, supervisar, mantener y actualizar la infraestructura relacionada al saneamiento en los espacios públicos.</p>

Temática	Características identificadas en la etapa de análisis	Recomendaciones para el marco legal, de planeación e instrumental
Residuos	<p>Conexión al sistema de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.</p> <p>Almacenamiento apropiado de los residuos. Se recomienda recipientes de construcción metálica y de un tamaño adecuado a la demanda. Se puede contar con diferentes elementos de almacenamiento (botes de basura, contenedores y depósito de heces caninas).</p> <p>Separación de residuos obligatoria. Mínimo separación primaria, ideal clasificación secundaria.</p> <p>Uso de iconografía y colores acorde a lo establecido en la Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.</p> <p>Fomento del modelo de economía circular en la gestión integral de residuos.</p> <p>Como recomendación compostaje de residuos orgánicos para generar abonos orgánicos y utilizarlos en áreas verdes.</p>	<p>Generar programas para incorporar infraestructura para la separación y el tratamiento adecuado de residuos en estos espacios.</p> <p>Brindar oportunidades para implementar el modelo de economía circular en la gestión integral de residuos a nivel barrial o vecinal.</p> <p>Generar normas relacionadas a la gestión integral y el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el espacio público.</p> <p>Promover planes de contingencia para el manejo de desechos sólidos en caso de interrupción del servicio.</p> <p>Como obligación de los proveedores del servicio, supervisar, mantener y actualizar la infraestructura.</p>
Movilidad	<p>Conectividad entre el espacio público y el resto de la ciudad.</p> <p>Acceso a redes diversas de transporte para que las personas puedan elegir libremente.</p> <p>Conexión a redes de transporte alternativas, a través de infraestructura peatonal y ciclista.</p> <p>Conexión o acceso al sistema de transporte público. Adicionalmente se debe contar con paraderos o estaciones adecuadas.</p> <p>Promoción de la movilidad sustentable.</p> <p>Prever senderos, biciestacionamientos y paraderos de transporte público.</p> <p>Garantizar la accesibilidad universal.</p> <p>Incorporar elementos diseñados adecuadamente como banquetas, rampas, pavimentos podotáctiles y estacionamientos para personas con capacidades diferentes.</p> <p>Adopción de medidas para una nueva normalidad (ampliación de áreas peatonales y ciclovías emergentes)</p> <p>Diseñar las vialidades contiguas con estrategias de "tráfico calmado".</p> <p>Uso de señalamientos viales (NOM-034-SCT2-201)</p>	<p>Generar programas para incorporar infraestructura que fomente la movilidad sustentable en estos espacios, priorizando la movilidad no motorizada.</p> <p>Brindar oportunidades para implementar las medidas de la nueva normalidad.</p> <p>Brindar apoyo y generar normas relacionadas al acceso equitativo de las personas vulnerables en estos espacios (por ejemplo, personas mayores, discapacitados, adultos que viajan con niños).</p>

Temática	Características identificadas en la etapa de análisis	Recomendaciones para el marco legal, de planeación e instrumental
Telecomunicaciones	Acceso gratuito al servicio de internet. Acceso a casetas telefónicas o teléfonos públicos. Incorporar infraestructura e instalaciones para los servicios y sistemas de alerta común y poder alertar a los usuarios ante la ocurrencia de algún fenómeno. Comunicación con los servicios de emergencia. Existencia de sistemas de comunicaciones o alarmas, por ejemplo: instalación del botón de pánico. Sistemas remotos de vigilancia (cámaras de vigilancia) en sitios conflictivos.	Propiciar las condiciones para brindar internet gratuito en estos espacios. Generar programas para incorporar infraestructura para la comunicación con los servicios de emergencia y de alerta común en estos espacios.

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

En el tema de energía, los marcos revisados contribuyen positivamente en el acceso al servicio a través del servicio público, la eficiencia energética a través del uso de luminarias eficientes en el alumbrado público y la seguridad a través de los lineamientos técnicos para instalaciones seguras. No obstante, se presentan deficiencias en cuanto a fuentes alternativas y de respaldo, a pesar de que la normativa y la planeación fomenta el uso de fuentes renovables e infraestructura integradora, en ningún caso se menciona su uso e implementación específicamente en el espacio público. Es necesario contar con un suministro de energía alternativo, pensando en el uso emergente de estos espacios y su omisión podría resultar en fallas e interrupciones del servicio.

Para el suministro de agua potable, los marcos tienen su aporte positivo en el acceso al servicio a través de la red pública, la calidad del agua con los límites permisibles y tratamientos de potabilización, la reducción de pérdidas a través de especificaciones para la hermeticidad del sistema, la eficiencia del recurso a través del uso de tecnologías y vegetación adecuada para el ahorro de agua. Sin embargo, existen deficiencias, falta impulsar desde la normativa y planeación el aprovechamiento del agua pluvial y el almacenamiento de agua para el uso emergente de estos espacios, además de generar instrumentación para su implementación.

En cuanto al saneamiento de aguas residuales, se identificaron aportes positivos en el acceso del servicio a través de la red pública, las especificaciones para la hermeticidad del sistema, la recomendación de implantar humedales de tratamiento en estos espacios y el reuso de agua para riego, no obstante, se desconoce la factibilidad. Este tema presenta mayores deficiencias, las recomendaciones identificadas fueron escasas, se deduce que esto se debe a que no es un servicio común en los espacios públicos; sin embargo, resulta fundamental tener el servicio de saneamiento de aguas residuales, en caso de requerir sanitarios públicos, cuando el espacio público se utilice como albergue temporal en situaciones de emergencia.

En la temática de gestión de residuos, los aportes positivos se relacionan en el acceso al servicio a través del sistema municipal, la factibilidad de contar con recipientes adecuados para el almacenamiento de residuos, la obligatoriedad de separar los residuos y la disponibilidad de iconografía y código de colores para la separación. En cuanto a deficiencias, la planeación no brinda oportunidades para el fomento e implementación de modelos de economía circular y métodos alternos para la gestión de residuos (por ejemplo, reciclaje y compostaje) a nivel vecinal a través de los espacios públicos. Además, no se considera el uso emergente de estos espacios, y no se emiten recomendaciones o consideraciones para ges-

tionar el aumento de la generación de residuos sólidos, a causa de la concentración de usuarios.

Para la movilidad, los aportes positivos se relacionan con el fomento de las redes alternativas de transporte (peatonal, ciclista y transporte público colectivo), el establecimiento de elementos para accesibilidad universal y el fomento de medidas para una nueva normalidad post COVID-19. No obstante, las deficiencias radican en que parte de estas medidas y/o alternativas no son aterrizadas a nivel espacio público tipo abierto y no se considera el acceso a estos espacios en situaciones de emergencia.

Por último, en el tema de comunicaciones los aportes positivos se relacionan en el acceso al servicio a través del fomento del internet público en estos espacios, y la existencia de sistemas de alerta sísmicas. En cuanto a deficiencias, la planeación no contempla incorporar infraestructura para el alertamiento de los usuarios en el espacio público, ni brindar comunicaciones con los servicios de emergencia o personal de protección civil para la respuesta y atención de situaciones de emergencia.

En general, es evidente la necesidad de incluir en el diseño de espacios públicos el acceso a los servicios urbanos considerando el posible uso emergente de los mismos, teniendo en cuenta que el territorio mexicano está altamente expuesto a desastres de gran magnitud; a pesar de ello, en la actualidad no se considera en los marcos legales, de planeación e instrumentales este fin y no se establecen las condiciones mínimas de las instalaciones en espacios públicos para atender situaciones de emergencia.

## CONCLUSIONES

Se establece una propuesta que incluye características y recomendaciones para los servicios urbanos brindados en un espacio público resiliente de tipo abierto, estas son el producto de un análisis los marcos legales, de planeación e instrumental, tomando como sustento teórico el modelo de medición de la resiliencia urbana

en espacios públicos, que surge a partir del CRI. Además, se incluyen recomendaciones para el gobierno, esperando se genere política pública e instrumentos que propicien el desarrollo de estos espacios.

Se concluye que en estos espacios se debe generar un suministro de energía adecuado, seguro y confiable, que utilice fuentes limpias y equipos con alta eficiencia energética y, se incluya infraestructura integradora. Por su parte, el suministro de agua potable debe ser adecuado y brindar agua de calidad, utilizando tecnologías eficientes y métodos alternativos de suministro, para buscar la gestión y el uso sustentable del recurso.

Para el saneamiento de aguas residuales se debe contar con una conexión adecuada a la red, cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes y hacer uso de procesos de tratamiento adecuados. En el caso de los residuos sólidos, se plantea una gestión integral, con conexión al sistema de recolección, almacenamiento adecuado, separación obligatoria, compostaje e implementación del modelo de economía circular.

Para la movilidad se fomenta su sustentabilidad y se prioriza a la movilidad no motorizada y al transporte público, se busca garantizar la accesibilidad universal y la adopción de medidas para la nueva normalidad. Finalmente, en las telecomunicaciones se busca el acceso a este servicio, principalmente al servicio de internet y telefonía, además se fomentan los servicios y sistemas de alerta común y la comunicación con los servicios de emergencia.

Esta información ayuda a los gobiernos locales a incrementar la resiliencia de sus ciudades a través de sus espacios públicos, esto puede integrarse en futuros proyectos o intervenciones para mejora del espacio público. En general se contribuye al urbanismo mexicano con una propuesta que permite aumentar la calidad de los espacios públicos y sus usuarios y brindar los servicios urbanos necesarios para gestionar los riesgos de las ciudades.

Esta investigación representa el punto de partida para generar un modelo de espacio público

resiliente del tipo abierto, capaz gestionar adecuadamente los impactos o tensiones de origen natural o humano. En trabajos futuros deben analizarse otras temáticas que fueron excluidas de este artículo debido a la amplitud de los alcances de la resiliencia urbana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arup y Rockefeller Foundation (2018). City Resilience Index. Recuperado de <https://www.cityresilienceindex.org/#/>
- Cabrera Andrade, P. L., Correa Fuentes, D. A., y Chung Alonso, P. (2020). Modelo de medición de la resiliencia en espacios públicos, a partir del City Resilience Index. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 8, 9–38. <https://doi.org/10.32870/rvcs.voi8.135>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_050618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (1992). Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación, 1 de diciembre. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2003). Ley General para La Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2012a). Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_061120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_061120.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2012b). Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación, 6 de junio. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC\\_061120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC_061120.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2014a). Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Diario Oficial de la Federación, 14 de julio. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR\\_240120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2014b). Ley de Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación, 11 de agosto. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec\\_061120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_061120.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2015). Ley de Transición Energética. Diario Oficial de la Federación, 24 de diciembre. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2016). Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Diario Oficial de la Federación, 28 de noviembre. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU\\_011220.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_011220.pdf)
- CONAGUA (1997). Fosas sépticas prefabricadas-Especificaciones y métodos de prueba, NOM-006-CONAGUA-1997. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/94214/NOM-006-CONAGUA-1997.pdf>
- CONAGUA (2003). Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada, NOM-014-CONAGUA-2003. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-014-CONAGUA-2003.pdf>
- CONAGUA (2011a). Agenda del Agua 2030. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-10-12baja.pdf>
- CONAGUA (2011b). Sistemas de agua potable, toma domiciliar y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba, NOM-001-CONAGUA-2011. Recuperado de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4647/semarnat/semarnat.htm>
- CONAGUA (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA (2020a). PROAGUA. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/proagua>
- CONAGUA (2020b). Programa Nacional Hídrico 2020 2024. Recuperado de <https://www.gob.mx>

- mx/conagua/documentos/programa-nacional-hidrico-pnh-2020-2024
- IFT (2020). Protocolo de Alerta Común. Recuperado de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585190&fecha=30/01/2020](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585190&fecha=30/01/2020)
- INDESOL (2015). Manual para el manejo de residuos sólidos. Recuperado de <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Manejo%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos/Manual%20para%20el%20Manejo%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf>
- Montejano-Castillo, M. & Moreno-Villanueva, M. (2016). The adaptability of public space in Mexico City after an earthquake: a preliminary classification. *International Journal of Safety & Security Engineering*, 6(2), 104-113.
- Montejano-Castillo, M., y Moreno-Villanueva, M. (2020). La habitabilidad efímera. El espacio público como refugio ante desastres en la Ciudad de México. *ARQUITECTURAS DEL SUR*, 38(57), 90 - 107. <https://doi.org/10.22320/07196466.2020.38.057.05>
- Naciones Unidas (2017). Nueva Agenda Urbana. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol>
- Naciones Unidas (s. f.). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- ONU-Hábitat. (2015). El espacio público: componente clave de una ciudad sostenible. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-espacio-publico-componente-clave-de-una-ciudad-sostenible>
- ONU-Hábitat. (2018). Ciudades Resilientes. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>
- SCT (2011). Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas, NOM-034-SCT2-2011. Recuperado de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4555/sct/sct.htm>
- SCT (2019a). Conclusiones: Mecanismos de Conectividad en Espacios Públicos. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479544/conclusiones\\_\\_mecanismos\\_de\\_conectividad\\_en\\_espacios\\_publicos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479544/conclusiones__mecanismos_de_conectividad_en_espacios_publicos.pdf)
- SCT (2019b). Programa de Cobertura Social. Recuperado de <https://www.gob.mx/sct/acciones-y-programas/programa-de-cobertura-social>
- SCT (2019c). Programa de Conectividad Digital en Sitios Públicos. Recuperado de <https://www.gob.mx/sct/es/articulos/programa-de-conectividad-digital-en-sitios-publicos?idiom=es>
- SEDATU (2019). Manual de calles: diseño vial para ciudades mexicanas. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/manual-de-calles-diseno-vial-para-ciudades-mexicanas>
- SEDATU (2020a). Guía de Implementación Movilidad Emergente 4S Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566607/GUIA\\_1\\_M4S\\_29-07-2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566607/GUIA_1_M4S_29-07-2020.pdf)
- SEDATU (2020b). Plan de Movilidad para una Nueva Normalidad. Movilidad 4S para México: Saludable, Segura, Sustentable y Solidaria. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/movilidad-4s-para-mexico-saludable-segura-sustentable-y-solidaria-plan-de-movilidad-para-una-nueva-normalidad>
- SEDATU (2020c). Programa de Mejoramiento Urbano 2020. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/acciones-y-programas/programa-de-mejoramiento-urbano>
- SEDATU (2020d). Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2020-2024. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/acciones-y-programas/programa-sectorial-de-desarrollo-agrario-territorial-y-urbano-2020-2024>
- SEDESOL (2011). Guía de Diseño del Espacio Público Seguro, Incluyente y Sustentable. Recuperado de <https://laotracedra.wordpress.com/2017/11/23/guia-de-diseno-del-espacio-publico-sedesol/>
- SEDESOL (s.f.). Manual Técnico sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales. Recuperado de <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>
- SEGOB (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.PND. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019).
- SEGOB, SEDATU y ONU-Hábitat (2016). Guía de Resiliencia Urbana. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/guia-de-resiliencia-urbana>
- SEMARNAT (1996). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas re-

- siduales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, NOM-002-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>
- SEMARNAT (1997). Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, NOM-003-SEMARNAT-1997. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>
- SEMARNAT (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Recuperado de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013)
- SEMARNAT (2017). Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018)
- SEMARNAT (2018). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-residuos>
- SEMARNAT (2019). Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos VNGS-CR. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision\\_Nacional\\_Cero\\_Residuos\\_6\\_FEB\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf)
- SEMARNAT (s. f.). Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27294/Guia\\_residuos\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27294/Guia_residuos_2015.pdf)
- SENER (2017). Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/documentos/proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal-proyecto-nacional>
- SENER (2018). Instalaciones eléctricas (utilización), PROY-NOM-001-SEDE-2018). Recuperado de [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5533986&fecha=06/08/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5533986&fecha=06/08/2018)
- SENER (2020a). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020&print=true](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020&print=true)
- SENER (2020b). Programa Sectorial de Energía 2020-2024. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020)
- SSA (2002). Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. NOM-230-SSA1-2002. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005)<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/230ssa102.html>
- SSA (2019). Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, PROY-NOM-127-SSA1-2017. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019)
- WRI MÉXICO (2016a). Guía DOTS para Comunidades Urbanas. Recuperado de [https://wri-ciudades.org/sites/default/files/GUIACOMUNIDADES\\_VF\\_NOV8.pdf](https://wri-ciudades.org/sites/default/files/GUIACOMUNIDADES_VF_NOV8.pdf)
- WRI MÉXICO (2016b). Manual Espacio Público Vida Pública. Recuperado de <https://wri-ciudades.org/research/publication/manual-espacio-p%C3%BAblico-y-vida-p%C3%BAblica>

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CMCEP	Conclusiones: Mecanismos de Conectividad en Espacios Públicos
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CRI	City Resilience Index
EDN	Estrategia Digital Nacional
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático.
ETPUTCL	Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios
GDCU	Guía DOTS para Comunidades Urbanas
GDEPSIS	Guía de Diseño del Espacio Público Seguro, Incluyente y Sustentable.
GDIGMIRSU	Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos
GIME4S	Guía de Implementación Movilidad Emergente 4S
GMCAMC	Guía de Modelos Comerciales Aditivos Metálicos Cerámicos
GMCL	Guía de Modelos Comerciales LED
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
INDESOL	Instituto Nacional de Desarrollo Social
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LFTR	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
LGAHOTDU	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGPC	Ley General de Protección Civil
LGP GIR	Ley General para La Prevención y Gestión Integral de los Residuos
LIE	Ley de Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
MAPAS	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
MCDVCM	Manual de calles: diseño vial para ciudades mexicanas.
MEPVP	Manual Espacio Público Vida Pública
MMRS	Manual para el Manejo de Residuos Sólidos
MTGRTRSM	Manual Técnico sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales
NOM	Norma Oficial Mexicana
PAC	Protocolo de Alerta Común
PCDSP	Programa de Conectividad Digital en Sitios Públicos
PCS	Programa de Cobertura Social
PETE	Programa Especial de la Transición Energética
PMNN	Plan de Movilidad para una Nueva Normalidad. Movilidad 4S para México: Saludable, Segura, Sustentable y Solidaria.
PMU	Programa de Mejoramiento Urbano 2020
PNAS	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable
PND	Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.
PNEEAPM	Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal
PNH	Programa Nacional Hídrico 2020-2024

PNPGIR	Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
PROAGUA	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
PROY-NOM	Proyecto de Norma
PSDATU	Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2020-2024.
PSE	Programa Sectorial de Energía 2020-2024
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
VNGSCR	Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos



# Habitabilidad un estudio desde la vivienda social en México como espacio habitado

## *Habitability a study from the social housing in Mexico as an inhabited space*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.192>

**JESÚS ENRIQUE DE HOYOS MARTÍNEZ**

<https://orcid.org/0000-0002-4778-6130> / [jedehoyosm@uaemex.mx](mailto:jedehoyosm@uaemex.mx)  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

**VERÓNICA ALBARRÁN CARRILLO**

<https://orcid.org/0000-0001-7566-9727> / [veronica.arqtol@gmail.com](mailto:veronica.arqtol@gmail.com)  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

Recibido: 7 de julio de 2021 Aceptado: 17 de septiembre de 2021.

### RESUMEN

La relación entre el espacio habitado y el espacio edificado es una relación que se ha abordado tradicionalmente desde el paradigma de la habitabilidad. En la actualidad, para México se ha convertido en una condición sustantiva de investigación, como resultado de la producción de vivienda social basada en esquemas espaciales que no han favorecido la vida digna e inclusiva de amplios grupos de población en el país (CONEVAL, 2018). El diseño se ha sujetado a restricciones de índole normativo imperante en las disposiciones a nivel estatal y local, así como las propias del Plan Nacional de Vivienda (PNV) y las políticas públicas habitacionales de México por más de 60 años.

Es evidente la necesidad de estudiar a la persona y su cultura, así como su relación con el espacio que habita y el cómo lo habita, de modo que nos centraremos en el análisis del espacio habitado y el espacio edificado bajo las premisas del ser y del estar de la casa, tanto de la persona que habita, así como del habitáculo.

Por tanto, el propósito es estudiar el habitar del ser y el estar, con la finalidad de valorar como influyen en la experiencia de habitar y la gesta-

ción de la habitabilidad como proceso que acontece en la relación interior y exterior. El artículo se desarrolla desde la dimensión conceptual y normativa: la primera se propone desde la identificación de las características del habitar-habitabilidad, en tanto que la segunda se propone a partir de un recorrido longitudinal como línea de tiempo.

Palabras clave: habitabilidad y vivienda, habitar ser y estar, espacio habitado.

### ABSTRACT

The relationship between inhabited space and built space is a relationship that has traditionally been approached from the paradigm of habitability. Currently, for Mexico it has become a substantive research condition, as a result of social housing production based on spatial schemes that have not favored a dignified and inclusive life for large population groups in the country. Its design has been subject to normative restrictions prevailing in the provisions at a federal and local level, as well as those of the National Housing



Plan (PNV) and the public housing policies of Mexico for more than 60 years.

The need to study the person and his/her culture, as well as his/her relationship with the inhabited space and how it is inhabited is evident. Thus, we will focus on the analysis of the inhabited space and the built space under the premises of being and of staying in the house, both for the person who dwells, as well as for the dwelling.

Therefore, the purpose is to study the inhabiting of being and staying, to assess how they influence the experience of living and the development of habitability as a process that occurs in the relationship between interior and exterior. The article is developed from the conceptual and normative dimension: the first is proposed from the identification of the characteristics of inhabiting-habitability, while the second is proposed from a longitudinal perspective, as a timeline.

Keywords: Housing inhabit, habitability, inhabited space

## INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX, Heidegger (2016) abordaba la crisis del habitar, que corresponde a la incapacidad de hacer del espacio edificado un espacio habitado, derivado de una producción arquitectónica que no concuerda con la forma de habitar del ser humano. Su construcción se ha visto caracterizada por una deslegitimación de la persona, resultado de la omisión de sus necesidades, experiencias o formas de vida. La edificación de espacios impersonales, sin contenido, han limitado su apropiación por parte de quienes residen en ellos, restringiéndose a servir de resguardo. Así, éste se ha convertido para las personas en un lugar donde se está físicamente pero no se es. La casa, espacio habitado por excelencia, se ha transformado en residencia, domicilio o vivienda. Al carecer de cualquier tipo de consideración de sus hábitos y costumbres, sus ritos y mitos, que definen su forma de ser persona, demuestran que el hombre ha fallado en desarrollar conocimiento sustancial sobre lo

que supone un hábitat adecuado para su propia especie.

En este sentido se mira pertinente la reflexión sobre la forma en la que el habitar del individuo se ve afectado por los espacios contemporáneos producidos para su residencia. Si la crisis del habitar es reforzada por las dinámicas contemporáneas que inciden en la transformación del hábitat del hombre, perpetuando prácticas inadecuadas, ¿Cómo aportar, desde la academia, al estudio que permita un mejor entendimiento entre ser humano- espacio habitado? Es del interés del presente artículo abordarlo a partir de la reconsideración del ser y el estar en el habitar y la habitabilidad.

El artículo se estructuró en tres partes. La primera consistió en la reflexión filosófica del habitar a partir de las posturas de Heidegger (2016) y Morales (1984), y el reconocimiento de la relación entre espacio habitado-edificado, que permitió un primer acercamiento al concepto de habitabilidad. La segunda parte se centró en el estudio retrospectivo del desarrollo de los estudios de la habitabilidad como determinantes del espacio edificado, tanto en el habitáculo como en la conformación del asentamiento humano, lo que permitió analizar la congruencia entre los paradigmas identificados y las características de la relación habitar-habitabilidad. La tercera etapa permitió el análisis de la concepción de habitabilidad en los Planes Nacionales de Vivienda, basado en la reflexión y estudio del espacio habitado como argumento central del ser y estar. Con base en lo anterior, se desarrolla una idea tendiente a definir la habitabilidad como la aproximación al estudio desde la legitimación de la persona y su ambiente construido.

## UNA REFLEXIÓN FILOSÓFICA DEL HABITAR Y LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA HABITABILIDAD

Entre las reflexiones filosóficas del habitar que se produjeron en el Siglo XX, surgen las posturas de Heidegger y Morales, en la determinación sobre la esencia del habitar, principalmente en la

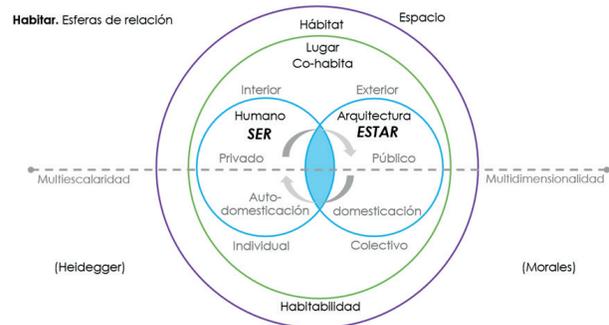
relación ser y espacio habitado. Para Heidegger, habitar equivale a ser, es decir, el hombre es en la medida que habita. Con ello refiere a que la forma de ser del hombre determina la forma de habitar, pues considera el habitar como algo que proviene de su interior, que exterioriza y refleja en su forma de vivir y con-vivir. Para ello, describe una serie de condiciones que le permiten a la persona habitar, entre las que destaca el permanecer y residir en paz. (Heidegger, 2016, pág. 152)

El hombre permanece entre los mortales y con la tierra, que le sustenta (físicamente) y le provee para su subsistencia; por consiguiente, modifica la tierra a partir de su forma de ser (determinada por sus hábitos, costumbres, ritos y mitos), y reside libre y preservado de daño y amenaza. Habita al abrigar y cuidar la esencia del Todo (que reconoce como Cuaternidad), manteniendo el equilibrio y aceptando su lugar entre aquello con que co-existe; al mismo tiempo que construye tanto cultura como edificios. (Heidegger, 2016, págs. 153-154)

Por su parte, Morales sostiene que el hombre originalmente se encuentra errante en la vastedad, puesto que la tierra es inicialmente inhóspita e inhabitable. Este medio hostil, le genera una sensación de desamparo, de aquí surge la necesidad de determinar su relación con todo aquello que le es ajeno. Así, el hombre llega a habitar a partir de un proceso en el que necesita orientarse en el espacio genérico y posteriormente situarse en él, tanto para reconocerse, así como para ordenar las cosas con las que reside, es así que se reconoce el estar en el lugar. (Morales, 1984, pág. 182)

Esta relación ser humano-espacio habitado, le permite convertir la vastedad (espacio genérico) en lugar (espacio producido). Ello lo logra por medio de un proceso de auto-domesticación, seguido de la domesticación del espacio a partir de la repetición de los actos cotidianos, creando hábitos y costumbres que le permiten mirarse en el espacio. A partir de esta fijación (estar) el hombre puede comenzar a ser. (Morales, 1984, págs. 210-211)

**FIGURA 1**  
Esferas de relación en el habitar.



Fuente: Elaboración propia.

Estas propuestas de Heidegger y Morales, que reconocemos en este trabajo como la diferencia del análisis del ser y el estar, presupone la base y argumento central de la disertación para la habitabilidad a partir del hábitat, el cual se presenta como sigue: Para Heidegger el habitar es ser, mientras que para Morales implica estar. Para Heidegger, el hombre originalmente habita, puesto que se trata de un elemento intrínseco e indisoluble de su ser. Para Morales, el hombre y el espacio originalmente se encuentran separados, y es en la unión de ambos que se llega al habitar. Por consiguiente, la relación del hombre como ser y estar, se encuentra en la ubicación de como éste (persona) se identifica en el espacio-tiempo.

Esta argumentación permite identificar que el ser es el interior en tanto que el estar es el exterior. Es posible argumentar esta afirmación del interior y el exterior como categorías por un lado opuestas y al tiempo complementarias que entendemos como dinergia<sup>1</sup> (Doczi, 2012, pág. 2). El hombre se habita al interior en un primer momento, es decir, a sí mismo; y posteriormente co-habita con el exterior, es decir, con lo que se ubica espacialmente fuera de él. Heidegger lo reconoce como ser. En tanto que Morales centra el ser en el autorreconocimiento de la persona en el espacio, lo que nos propone como la auto-domesticación. Al relacionar en sociedad, entre él y

1. Es un proceso general de formación según un modelo: la unión de opuestos complementarios, que juntos tienen un poder generativo.

otro, se desenvuelve un proceso que define como la domesticación de lo otro. Si ser implica aquello que proviene del interior del hombre, estar le permite relacionarse con el espacio que le contiene, es decir, con el exterior.

En la relación del ser interior y el estar exterior como la vinculación del espacio-tiempo que envuelve como ambiente, en el encuentro del interior y el exterior se presentan lo individual y lo colectivo como esferas relacionales en el proceso de habitar como acto poético; donde lo individual surge como proceso de construcción personal y lo colectivo como proceso de co-construcción.

Siguiendo con los argumentos de Heidegger y Morales. Heidegger se refiere con adjetivos tales como “permanecer”, “residir”, “abrigar” y “cuidar”, (Heidegger, 2016, pág. 2) como formas en las que la persona se hace presente en el espacio-tiempo; con ello, alude a que el ser está íntimamente relacionado con el estar. En tanto que en Morales observamos que plantea una disociación entre la persona y el espacio-tiempo al proponer que el lugar no existe de forma original, ya que este se configura en la relación del ser con el estar, afirmando que el hombre “hace lugar” para habitar. (Morales, 1984) En esta reflexión evoca a las categorías del interior y el exterior, al tiempo de contemplar tanto lo individual y lo colectivo; relación que se observa en los hábitos, mitos, ritos y rutinas. (De Hoyos Martínez, Alvarez V, & Jiménez J., *Habitar la Vivienda*, 2015, pág. 10)

Hombre y espacio-tiempo es una relación inherente a la naturaleza de la vida, relación que transforma y se transforma continuamente. A este fenómeno se le identifica con el proceso de configuración del concepto de “lugar”, como aquella fracción del espacio-tiempo donde acontece el ser y el estar, tanto en su multiescalaridad como su multidimensionalidad vista esta relación como una relación en la complejidad (De Hoyos Martínez, 2010). En síntesis, la relación del ser que identificamos como persona y el estar que reconocemos con el ambiente contiene elementos de relación del interior con el exterior.

La habitabilidad, por tanto, se realiza como resultado del proceso de habitar. Es decir, es el proceso de relación que la persona tiene con el otro y con lo otro en el espacio tanto natural como edificado y habitado. Por consiguiente, hablar de habitabilidad implica el reconocimiento del habitar en continuo, es decir es un gerundio. Pero ¿cómo se ha construido el concepto de habitabilidad y cómo se relacionan el ser y el estar en la aproximación al entendimiento de este fenómeno?

## RELACIÓN HABITAR - HABITABILIDAD

Este proceso será desarrollado en dos momentos, el primero de ellos contempla un breve recorrido por el tiempo donde las formas de habitar y con ello, la habitabilidad, han sido desarrolladas; para en un segundo momento delimitar las características, análisis y reflexión del habitar y la habitabilidad.

Primero, se identifica la relación habitar-habitabilidad en el tiempo, es el propio proceso de ser y estar en el lugar, es decir, vivir el lugar y transformarlo de forma cotidiana a través de actos iterativos. Este será un breve análisis de aquellos momentos que han influido en el proceso de habitar que se muestran en la configuración del asentamiento humano y con ello, de la habitación. El recorrido nos permitirá hacer algunas reflexiones en torno a las transformaciones en el proceso de habitar, así como de las preocupaciones y ocupaciones de la comunidad.

Este recorrido lo realizamos con especial interés en la ciudad:

- a. En un primer momento se observa la dificultad para contar con una casa que cumpliera con los mínimos de higiene y seguridad; por ello, el centro del debate se ubica en resolver las necesidades de espacio, higiene y seguridad de las comunidades residentes de la ciudad industrial.<sup>2</sup> (Moreno Olmos, 2008, pág. 48)

2. Para ello, se definieron estándares mínimos exigibles tanto para el habitáculo como en el exterior de este, con la intención de asegurar el bienestar físico de las personas que habitan el lugar.

- b. Posteriormente, en lo que han denominado la ciudad posliberal, existe una relación estrecha entre la necesidad de dar espacio de habitación a la población y el sector inmobiliario. De ahí se reconoce al espacio básico que resuelva de forma mínima las necesidades de la población, principalmente urbanas, con el mínimo de inversión y el máximo de beneficio para las inmobiliarias. Esto también habla de los mínimos en el espacio que ocupa el barrio, lo que supone una gran participación del poder público en la toma de decisiones para la ciudad. Se reconoce los beneficios al espacio urbano, por ello, se puede hablar de la habitabilidad urbana como prioridad y como beneficios colaterales a los barrios habitacionales.
- c. En el SXX habitar el espacio, tanto en ser como estar, en lo interno y lo externo, nos lleva a un sin número de reflexiones en dicho fenómeno. El espacio sigue siendo mínimo y lo mínimo incrementa en función de las constantes y variables económicas; en tal sentido, la habitación y el habitáculo se estrechan en detrimento de quien lo habita. Predomina el costo sobre el confort. En este periodo se redacta la Carta de Atenas que es un marco regulatorio y conceptual para el diseño, al tiempo que aparecen arquitectos como Le-Corbusier y Mies van der Rohe, entre otros (De Hoyos Martínez, 2010, pág. 94). Sin embargo, en América Latina y en países pobres se gestan los asentamientos o bien el poblamiento de forma espontánea, surgen las conocidas favelas, ciudades perdidas, chabolas, entre otras (De Hoyos Martínez, 2010, pág. 138). En este momento la vivienda precaria en materiales y asentamientos en riesgo da cuenta de la solución al problema habitacional de amplios sectores de población con bajos estándares de ingreso, en el que el gobierno no participa y si lo hace es no haciendo nada para la confección y la gestión de la ciudad.
- d. A finales del SXX, con el incremento de la población residente de habitaciones inapro-

piadas para la adecuada relación de la persona con el ambiente, se observó la necesidad de mirar el fenómeno de habitar en favor de la habitabilidad. Para ello, fue indispensable mirar la interdisciplina y la transdisciplina y sus aportaciones al fenómeno de vivir bien. Lo cual implica incluir la visión de las múltiples disciplinas. Esto llevó a la incorporación de los estudios interdisciplinarios, lo cual posibilitó la inclusión de las ciencias sociales y las humanidades en el estudio del espacio habitado.

Mercado (1995), citado por Sulbarán Sandoval y Rangel Rojas (2018), confirma que el fenómeno de habitar transita al proceso de habitabilidad, mismo que identifica con el grado en que una edificación se ajusta a las necesidades y expectativas de los moradores, y se define por una diversidad de factores físicos y psicológicos que forman parte de la cotidianidad de la persona. (Sulbarán Sandoval & Rangel Rojas, 2018, pág. 31)

Con el breve recorrido es posible identificar que la aproximación a la habitabilidad en el tiempo ha sido paulatina y los grandes pasos no han estado presentes. Asimismo, es posible identificar que la dimensión técnica y tecnológica han privado en el proceso. Por tanto, habitar se entiende como la relación del ser y el estar que es la convivencia del interior y exterior. Este es un fenómeno que se formula a partir de una vertiente técnica, mismo que como fenómeno está presente en el ciclo de vida y construcción (bioconstrucción). Es por tanto la técnica que no debe de contaminar. (Álvarez Vallejo, De Hoyos Martínez, Jiménez Jiménez, Valdés Garcés, & Romero Guzmán, 2020, pág. 21) Cuando se desarrolla la técnica en conciencia, es posible identificar los procesos tecnológicos, donde lo tecnológico es el proceso sistematizado y pensado de la técnica tradicional, misma que arraiga a la persona como humano al establecer relación con el otro y ese gran otro que es la naturaleza (plantas, animales entre otros).

En un segundo momento, se analiza el habitar y la relación con la habitabilidad y se acepta a esta como constructo multidimensional, basado

en la relación entre el habitante ser y el lugar edificio estar (como elemento cuyas características se adecúan al primero). Por su parte, se cuenta con miradas como la de Castro (1999), referido en Moreno Olmos (2008): la habitabilidad es “la cualidad que tiene un lugar como satisfactor de las necesidades y aspiraciones del habitante”. (Moreno Olmos, 2008, pág. 53) Por tanto, se contempla que la habitabilidad se dimensiona como un elemento valorativo del ser y el estar conformado por:

- a. Necesidades, lo cual involucra elementos tanto objetivos como subjetivos, sobrepasando la dimensión técnica y tecnológica del espacio y reconociendo la existencia de otras dimensiones de carácter personal relacionadas a elementos no materiales del mismo, y
- b. Aspiraciones, que dependen del imaginario de las personas, y se encuentran en constante proceso de transformación (Lindón, 2005).

Si de necesidades y aspiraciones se trata, es pertinente revisar detenidamente el principio del habitar desde el ser en el que el hombre desarrolla como poiesis (Maturana, (1997) (2006)) un papel creativo en la construcción del espacio “lugar”. La habitabilidad se convierte entonces en un acto poiético, que entendemos como creación, en un proceso tanto objetivo como subjetivo, lo cual abre la posibilidad de observar respuestas en el plano tanto físico como sensorial del espacio construido urbano-arquitectónico.

Se vuelven relevantes las categorías asociadas al interior y a la individualidad, centrándose en la experiencia única y personal que cada ser humano tiene en el espacio, misma que depende de las múltiples dimensiones de su forma de ser-estar-habitar. “Entonces es posible pensar (...) el reconocimiento de los distintos modos de construir no sólo espacios físicos delimitados, sino lugares donde se recrea la condición humana.” (De Hoyos Martínez, Álvarez Vallejo, & Jiménez J., 2015) También se contempla la propuesta y análisis de la evolución de los modos de habitar (Valladares Anguiano, Chávez González, & López de Asiain, 2015, pág. 20). Se considera que la valoración de

la habitabilidad no puede ser universal, puesto que depende de la experiencia de cada persona, y varía de acuerdo con su cultura, el lugar que habita, costumbres, entre otros. (Mena Romaña, 2011, pág. 299).

Exige entonces “indagar cómo viven los sujetos, sus condiciones de existencia y sus expectativas para transformar estas condiciones” (Gazmuri Núñez, 2013, pág. 41). La propuesta de Sulbarán y Rangel en relación con la habitabilidad se sustenta en la ...“diversificación, adaptabilidad, que proporcione respuestas adecuadas a la variedad de modos de vida y estructuras de convivencia presentes en la actualidad y su evolución en el tiempo.” (Sulbarán Sandoval & Rangel Rojas, 2018, pág. 31)

Desde esta perspectiva, la construcción individual y colectiva del espacio habitado es donde se reconoce la habitabilidad que se ubica en torno al ser y al estar, bajo las siguientes consideraciones:

- a. Las formas de vida de las personas, lo cual hace referencia al ser que ha personalizado el espacio a partir de los actos reiterativos de su cotidianidad, es decir, de la domesticación del espacio; y pone especial énfasis en la experiencia de vida individual, que sucede a lo largo de un espacio-tiempo.
- b. La cultura como elemento fundamental que da sentido al espacio habitado, y está construida a partir de la identidad colectiva, domestica a su vez al ser.

De modo que cuando se habla de una vivienda diversificada y adaptable, se reconoce la individualidad del ser y la necesidad de que ésta se adecúe a su forma de vida, pero también a la colectividad, puesto que las estructuras de convivencia están presentes en el ambiente (estar), en el encuentro con el otro y con lo otro.

A partir de lo anterior, es posible visualizar que el enfoque original de la habitabilidad se centró en el estar, tanto en el espacio interior como en el exterior, ocupándose de mediar el encuentro entre el ser y todo aquello fuera de él. Posteriormente, evolucionó a enfocarse en un aspecto más personal, centrado en el estar indi-

vidual, y en las respuestas sensoriales del ser a las condiciones del espacio edificado conocido como habitáculo.

La exploración de la habitabilidad en relación con el ser. En este sentido se interesa por la persona y por su percepción del espacio habitado. Reconoce las dimensiones que sobrepasan el plano físico-espacial, y analiza la habitabilidad como un acto poético. El último enfoque analizado media entre el interior y el exterior, centrándose tanto en el reconocimiento del ser en el espacio a partir de sus hábitos, como de la construcción colectiva de la identidad, que se refleja en la cultura, y que a su vez se exterioriza en el espacio, haciendo de él lugar.

## EL HABITAR Y LA HABITABILIDAD DESDE LOS PROGRAMAS NACIONALES DE VIVIENDA

Es importante considerar que el ser y el estar como se han planteado en el proceso de habitar y la habitabilidad, necesariamente nos llevan a conocer el cómo se aborda desde los asuntos oficiales y qué peso se le ha otorgado desde la élite gubernamental a través de políticas públicas; para ello, se analizan los últimos tres Programas Nacionales de Vivienda (PNV), documentos oficiales en los que se presentan el cúmulo de políticas públicas en materia de vivienda por parte del gobierno federal. (Ver tabla 1)

**TABLA 1**

Resumen de los elementos asociados a la habitabilidad en el PNV.

PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA	
Programa Nacional de Vivienda 2008-2012 (PNV 08-12)	
Enfoque:	<u>Asequibilidad</u> , Rezago habitacional (cuantitativo), esquemas financieros. <u>Sustentabilidad</u> , Productividad y crecimiento ordenado de los asentamientos.
Elementos en los objetivos asociados a la habitabilidad:	Impulsar el desarrollo habitacional sustentable. Mejorar la gestión y coordinación pública, integralidad sectorial.

Programa Nacional de Vivienda 2014-2018 (PNV 14-18)	
Enfoque:	<u>Desarrollo ordenado y sustentable</u> , Rezago habitacional (cualitativo) e impactos ambientales. <u>Esquemas de vivienda</u> , Nuevos modelos de familia y mecanismos de financiamiento. <u>Acceso a la información</u> , Planeación informada, eficiente y anticipada.
Elementos en los objetivos asociados a la habitabilidad:	Controlar la expansión de la mancha urbana. Mejorar la calidad de la vivienda y diversificar la oferta. Generar información para la toma de decisiones.
(Incluye: Vivienda y la habitabilidad, conforme a usos, costumbres y climas. Sistemas constructivos, financieros, metodologías y diagnósticos de necesidades habitacionales.)	
Programa Nacional de Vivienda 2019-2024 (PNV 19-24)	
Enfoque:	<u>Vivienda Adecuada</u> , 7 dimensiones del Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) de las Naciones Unidas. <u>Derecho a la ciudad y a la vivienda</u> , Multidimensionalidad del espacio edificado, sistema complejo.
Elementos en los objetivos asociados a la habitabilidad:	Definir soluciones financieras, técnicas y sociales adecuadas a necesidades específicas.
(Incluye: Lineamientos técnicos para vivienda, con criterios de materiales y esquemas constructivos que reconozcan la condición cultural y espacial. Estudios de vivienda que se adecue a los usos y costumbres de determinados grupos sociales. Mejoramiento de vivienda respetando que los materiales y modelos constructivos se adapten a las necesidades de las personas. Desarrollo de programas que fomenten la habitabilidad por medio del combate al rezago.)	
Establecer un modelo de gestión de suelo y ordenamiento territorial.	

Fuente: Elaboración propia a partir de documentos oficiales.

El análisis efectuado al PNV en tres periodos será desarrollado en dos niveles que nos permitan identificar en primer lugar, los enfoques de la política pública que le otorgaron sentido a su diseño y aplicación y, en segundo lugar, si se sustenta en la inclusión o no de la habitabilidad:

1. Las políticas públicas de la vivienda en México con base en el PNV
  - a. El primero, PNV 08-12, se caracteriza por su enfoque hacia la asequibilidad y sustentabilidad, lo que significó centrarse en el rezago habitacional en términos cualitativos, poniendo énfasis en las condiciones financieras, por otro lado, se hace referencia al proceso de producción y con ello el ciclo de vida. Se canalizan los esfuerzos por su provisión a nivel cuantitativo y por su ubicación en relación con el contexto para alcanzar el equilibrio entre el hombre y la naturaleza, dándole mayor peso al estar colectivo. (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 2021)
  - b. El segundo, PNV 14-18, contempla el desarrollo ordenado y sustentable, lo cual pasa por la cantidad y calidad de vivien-

das que se mira como rezago y el impacto al ambiente como prioritarios. También hace referencia a los esquemas de vivienda, en el que se reconocen las múltiples formas de la familia y sus sistemas de financiamiento y finalmente el acceso a la información que implica toma de decisiones con información eficiente y anticipada. Se reconoce un análisis fundamentalmente territorial, cuantitativo y financiero en función de las posibles necesidades tanto del individuo como del entorno. Es evidente que muestra avances en el interés por la diversidad cultural de la población, fundamentalmente en las áreas urbana y metropolitanas, por encima de las organizaciones tradicionales de las comunidades. (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 2021)

- c. El tercero, PNV 18-24, hace énfasis en la vivienda adecuada que reconoce las 7 dimensiones del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) de las Naciones Unidas, el cual se sustenta en Derechos Humanos. Con ello, se le busca dar una dimensión de derecho a la vivienda, es decir, atender la necesidad básica de la población. Asimismo, hace referencia al Derecho a la ciudad, propuesta igualmente sustentada en los derechos humanos; e incluye la categoría de vivienda “digna”. Se observa, desde las bases de elaboración del PNV vigente, que todavía predomina la mirada al exterior, así como las condiciones necesarias para habitar en las características del habitáculo. Es posible distinguir el interés por la multiescalaridad y multidimensionalidad del comportamiento del espacio habitado. (SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO. Gobierno de México, 2019)
2. El análisis de la habitabilidad en los tres PNV y el grado de importancia asignada a esta. Para ello se consideran los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo se relaciona el enfoque

de habitabilidad abordado en los últimos PNV con respecto al habitar como una condición del ser y el estar de la persona?, ¿De qué manera son reconocidas en cada planteamiento las dimensiones del interior, del exterior y de la relación entre ambos, cómo categorías del habitar?, ¿Alguno de los enfoques considerados es pertinente para el estudio de la habitabilidad como relación entre el espacio habitado y el espacio edificado?.

Los PNV parecen haber sufrido una transición en cuanto al enfoque con el que se reconoce la habitabilidad.

- a. En el primero, PNV 08-12, (2021) las condiciones de habitabilidad se encuentran sujetas al emplazamiento del habitáculo, al *locus*, en relación con el acceso a infraestructura y servicios básicos. Enfatiza las soluciones que permiten el ordenamiento territorial que asegure la distribución de bienes y servicios para coadyuvar a la subsistencia de las personas. Así, se centra en la relación habitáculo-espacio, más que en la relación ser humano-espacio habitado; sin embargo, las condiciones del emplazamiento y la relación entre el habitáculo y éste inciden en el estar del hombre.

Se vuelve relevante el encuentro entre el ser humano y el otro, puesto que se privilegia el habitar exterior, tanto en la distribución equitativa de los recursos como en el reconocimiento de la naturaleza (la otredad). Predomina el sentido de colectividad en la habitabilidad, planteado a partir de la idea de una gestión más eficiente del territorio y sus recursos, así como la multiescalaridad del espacio exterior, en la búsqueda de un equilibrio basado en la asequibilidad y la sustentabilidad. Pone a esta última categoría como condición sustantiva.

- b. Por su lado, el PNV 14-18 (2021) se centra en lo que denomina vivienda digna y decorosa, asociando la habitabilidad tanto a los elementos físicos que la componen como en relación con un desarrollo ordenado y sustentable. En

esta condición aparecen elementos importantes tanto en la individualidad como en la colectividad.

Se busca la dotación de servicios orientados a mantener la higiene en el habitáculo, así como el desarrollo de tecnología que permita tener un menor impacto sobre el ambiente, pues reconoce la situación actual de desequilibrio entre el hombre y el Todo. De allí que el enfoque tanto al exterior como al interior del habitáculo es en relación con el habitar exterior de la persona, reconociendo la multi-escalaridad del espacio.

Aborda el habitar exterior colectivo centrándose en la relación entre la vivienda y su contexto, es decir, de su posición con respecto a los demás que habitan y en referencia con el hábitat que los contiene. Se ocupa del habitar exterior en la experiencia individual, teniendo como unidad al habitáculo y a los atributos físicos que permitan tanto la subsistencia como un equilibrio con su entorno y toma como referencia el rezago habitacional a nivel cualitativo, haciendo alusión al déficit de materiales y servicios. Explora también el estar colectivo al interior de la vivienda, a la con-vivencia en el espacio íntimo, puesto que identifica la necesidad de estudiar nuevas formas de distribución del espacio arquitectónico adecuadas a los modelos emergentes de familia.

A nivel propositivo aparece el ser, puesto que en las líneas de acción específicas se encuentran dos vertientes: las de carácter objetivo y las de carácter subjetivo. En las de orden objetivo se encuentra la exploración de elementos tecnológicos que incidan en el interior de la vivienda; y en las de orden subjetivo se aborda la necesidad de reconocer la forma de ser y hacer de la persona a partir de sus “usos y costumbres”. Así, se acerca por primera vez al habitar interior, que es exteriorizado en el espacio individual y que forma parte también de la construcción de la identidad colectiva. Se reconoce la necesidad de generar conocimiento en torno a la habitabilidad, con la

finalidad de atender las “necesidades habitacionales” de los mexicanos. Subraya que la habitabilidad se relaciona a la capacidad de la vivienda de adecuarse tanto al individuo como al entorno, evocando la dimensión técnica, psicológica y antropológica del espacio, pero inclinándose hacia el estar.

- c. El PNV 19-24 (2019) explora la habitabilidad en relación con el habitar como condición inherente a la persona. Acepta la existencia de múltiples escalas y dimensiones del espacio, reconociendo su complejidad. A pesar de sobrepasar desde su enfoque la dimensión física, explora superficialmente cuestiones del habitar en el espacio como del ser que se habita. La disfunción entre la forma en la que el hombre es, reflejada en su cultura, y los habitáculos edificados para residir, plantea el eje central desde la crisis del habitar, constituida por la incapacidad de transformar el espacio en “lugar”; de modo que reconoce la existencia de una dimensión no-física del espacio habitado.

Las dimensiones propuestas por el PIDESC pueden ser identificadas en relación con el estar, y categorizadas como tendientes al interior o al exterior. Las primeras son: a. seguridad de la tenencia; b. disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura; c. asequibilidad; d. habitabilidad; y e. accesibilidad y ubicación. Si bien predominan aquellas que se asocian al plano material, se relacionan también con la condición física de la persona, lo que demuestra un acercamiento más profundo al estar. La identificación del papel de la cultura permite el reconocimiento de la identidad individual-colectiva de los grupos sociales, y que constituye un elemento que no se ha considerado en la producción del espacio edificado. Si bien a nivel conceptual se define la vivienda habitable como aquella que provee seguridad física, espacio suficiente y protección contra elementos del clima que pueden suponer un riesgo a la salud del individuo y a la integridad del habitáculo, enfocándose en

el estar; envuelve el ser predominantemente en la adecuación cultural, en la importancia de la forma de construir y habitar la vivienda, y realizando una crítica hacia la producción del espacio edificado que, al ser masivo e impersonal es incapaz de responder a las necesidades, usos y costumbres específicos de los diversos grupos sociales. De esta manera, incluye la discusión sobre el espacio habitado y no únicamente sobre el espacio edificado.

Es evidente en el análisis del PNV que existe un interés desde las políticas públicas de establecer condiciones en relación con el estar-habitar. Sin embargo, a pesar de que los discursos representan el interés de la población, también son reflejo de una forma de gobierno que no necesariamente conecta con las necesidades y requerimientos de esta. La preocupación por asegurar la subsistencia (estar), pudiera ser causal de que otras dimensiones de carácter no material sean relegadas.

Un plan sabemos debe ser incluyente al tiempo de reconocer la multidimensionalidad del fenómeno habitar. Este supone un trabajo sumamente complejo tanto en su elaboración discursiva como en la aplicación en el territorio, por las restricciones que toda política pública trasmite al diseño. Si bien se identifican los elementos que influyen en el estar principalmente en el plano material, tanto al interior del espacio edificado como al exterior de este, cuando esta relación se busca extender a las emociones, este proceso se dificulta y por ello, este esfuerzo se observa menor y sólo es posible mirarlo cuando la persona transforma el espacio edificado en espacio habitado.

## CONCLUSIONES

El estudio abordó la habitabilidad que se entiende en el habitar, por medio de la confrontación entre el ser y el estar. Derivado de su forma de ser, el hombre transforma el espacio para estar de determinada manera, creando el espacio habitado, que reconoce como lugar. De esta unión surgen

las dinergias interior-exterior, individual-colectivo, público-privado que caracterizan la experiencia del habitar permitiéndole al hombre vivir y con-vivir. Por consiguiente, se determinó que el habitar es la forma de ser del hombre en primera instancia, pero también de estar, pues la relación hombre-espacio es indisociable.

A partir de ello se reconoce un primer enfoque de la habitabilidad hacia el exterior y lo público como medida de ordenamiento y subsistencia colectiva, que evoluciona hasta el cuestionamiento del ser y del espacio habitado, como aquel donde el hombre se ha exteriorizado a partir del reconocimiento de su forma de vida. Se concluye que la habitabilidad como proceso implica el reconocimiento de elementos tanto valorativos como relacionales en el acto de habitar. Tanto la reflexión del habitar como la identificación de las características de la habitabilidad permiten considerar como elemento fundamental el reconocimiento de la complementariedad entre ser-estar, puesto que identifica la relación entre cultura, técnicas de construcción y diseño del espacio.

En el análisis de los PNV se identifica esta misma transición, tras lo cual se concluye que el problema se ubica en la aplicación de las políticas públicas a partir del diseño. En el proceso de habitar a partir del diseño como medio para reconocer el ser y el estar es indispensable desarrollar variables e indicadores de orden cualitativo que caminen en favor del ser en el estar material del hábitat. Esta tarea nos sugiere la necesidad de replantearnos el concepto de habitabilidad:

La habitabilidad es tanto la valoración de la persona como ser en el acto de habitar en el espacio construido y edificado con base en su forma de vida (sus hábitos y costumbres), tanto como las aspiraciones de la persona y del grupo en un espacio-tiempo que tiene como referente a la cultura.

Así, se determina que los siguientes componentes pueden ser considerados en la habitabilidad con base en el estudio del espacio habitado:

- Es un constructo multifactorial y multidimensional.

- Ésta se basa en la relación de necesidades individuales y colectivas en relación con el espacio,
- Los hábitos y costumbres de las personas están presentes en el proceso de habitar como identidad.
- Identificar los procesos de transformación de la persona en el espacio-tiempo, e
- Implica la subordinación del espacio edificado al habitante.

Lo anterior posiciona a las formas de habitar al centro del estudio y sugiere la necesidad de identificación de variables asociadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Vallejo, A., De Hoyos Martínez, J. E., Jiménez Jiménez, J. J., Valdés Gárces, J. E., & Romero Guzman, L. (2020). PENSAMIENTOS Y TECNOLOGÍAS: BIOCONSTRUCCIÓN EN LA VIVIENDA. En J. E. De Hoyos Martínez, J. J. Jiménez Jiménez, L. Romero Guzman, A. Álvarez Vallejo, & J. E. Valdés Gárces, *Bioconstrucción para la Vivienda, Pensamiento y Técnicas*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura y Diseño.
- CONEVAL. (2018). *Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018*. Ciudad de México: CONEVAL.
- De Hoyos Martínez, J. E. (2010). *La casa: origen de la conformación territorial, aportaciones epistemológicas al estudio del territorio*. Toluca, México: Gobierno del Estado de México, Biblioteca mexiquense del bicentenario.
- De Hoyos Martínez, J. E., Macías Ángeles, Y., & Jiménez Jiménez, J. J. (2015). Habitabilidad: desafío en diseño arquitectónico. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 63-67.
- De Hoyos Martínez, J. E., Álvarez V, A., & Jiménez J., J. d. (2015). *Habitar la Vivienda*. México, CDMX: Plaza y Valdes y Universidad Autónoma del Estado de México.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. (07 de 02 de 2021). *Programa Nacional de Vivienda 2008-2012: Hacia un Desarrollo Habitacional Sustentable*. Obtenido de DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5076398&fecha=30/12/2008](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5076398&fecha=30/12/2008)
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. (07 de 02 de 2021). *Programa Nacional de Vivienda 2014-2018*. Obtenido de DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342865&fecha=30/04/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342865&fecha=30/04/2014)
- Doczi, G. (2012). *El poder de los límites. Proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura*. Barcelona: Troquel.
- Gazmuri Núñez, P. M. (2013). Familia y habitabilidad en la vivienda. Aproximaciones metodológicas para su estudio desde una perspectiva sociológica. *Arquitectura y Urbanismo vol. XXXIV, no 1*, 32-47.
- Heidegger, M. (2016). *Constriuir, Habitar, Pensar. Teoría (5-6)*, 150-162.
- Lindón, A. (2005). El mito de la casa propia y las formas de habitar. *Scripta Nova Vol. IX, núm. 194*, 741-798.
- Maturana, H. ((1997) (2006)). *De mnaquina y seres vivos, autopoiesis: la organización de los vivo*. Santiago de Chile: Universitaria.
- Mena Romaña, E. M. (2011). Habitabilidad de la vivienda de interés social prioritaria en el marco de la cultura. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo. Vol 4, Num. 8*, 296-314.
- Morales, J. R. (1984). *Arquitectónica*. Chile: Editorial Universitaria.
- Moreno Olmos, S. H. (2008). La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida. *Palapa, vol. III, núm. II*, 47-54.
- SEDATU. (2019). *Programa Nacional de Vivienda 2019-2024*. México: SEDATU.
- Sulbarán Sandoval, J. A., & Rangel Rojas, R. H. (2018). *Arquitectura y Urbanismo vol. XXXIV, no 1. Procesos Urbanos No. 5*, 26-33.
- Valladares Anguiano, R., Chávez González, M. E., & López de Asiain Alberich, M. (2015). Indicadores urbanos de habitabilidad: ¿qué medir y por qué? . En R. V. Anguiano, *Diversas visiones de habitabilidad* (págs. 15-38). Puebla: RNIU.



# Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez

## *Statistical analysis of geometric and mechanical characteristics of hollow concrete block of Tuxtla Gutiérrez*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.193>

**JANIO ALEJANDRO RUIZ SIBAJA**

<https://orcid.org/0000-0002-7698-0522> / [asibaja@unach.mx](mailto:asibaja@unach.mx)  
Universidad Autónoma de Chiapas, México

**EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ**

<https://orcid.org/0000-0003-2925-4592> / [eber.godinez@unach.mx](mailto:eber.godinez@unach.mx)  
Universidad Autónoma de Chiapas, México

Recibido; 17 de agosto de 2021. Aceptado; 14 de octubre de 2021.

### RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis estadístico para la caracterización geométrica y mecánica de bloques huecos de concreto, utilizados en construcciones de estructuras de mampostería en Tuxtla Gutiérrez, principalmente destinadas a vivienda. Se consideró una base de datos de ensayos realizados a 130 piezas, de 13 proveedores diferentes de la región. El análisis incluye las medidas de tendencia central de la geometría, la absorción de agua, la resistencia a cortante y la correlación entre el esfuerzo cortante resistente y las características físicas y geométricas de las piezas. Se registraron variaciones relevantes de la altura y longitud de los bloques respecto de lo establecido en las normas de construcción usualmente empleadas como referencia, aunque el espesor de estos cumple con los requisitos mínimos. Se proponen valores mínimos de la resistencia a cortante de las unidades ensayadas. El estudio de correlación entre el esfuerzo cortante máximo y el porcentaje de absorción indica que, a mayor porosidad de los bloques, disminuye su resistencia a cortante. La correlación entre el es-

fuerzo cortante máximo y el área neta muestra que la resistencia al esfuerzo cortante depende en menor medida de esta área que de la porosidad de la pieza. Finalmente, el análisis de correlación contra los espesores de las piezas señala que estos influyen menos en la resistencia de las piezas que el área neta y la porosidad.

Palabras clave: bloque hueco de concreto, mampostería, análisis estadístico, correlaciones, resistencia a cortante.

### ABSTRACT

The results of a statistical analysis for the geometric and mechanical characterization of hollow concrete blocks used in the construction of masonry structures in Tuxtla Gutiérrez, mainly for housing, are presented. A database of tests performed on 130 units from 13 different suppliers in the region was considered. Measures of central tendency of geometry, water absorption, shear strength and the correlation between the shear stress strength and the physical and geometrical characteristics of the pieces is included in the



analysis. Significant variations in the height and length of the blocks with respect to what is established in the construction standards usually used as a guideline is observed; however, the thickness of the blocks complies with the minimum requirements. Minimum values are proposed for the shear strength of the tested units. As a result of the correlation study among the maximum shear stress and the percentage of absorption, it is observed that the higher the porosity of the blocks, the lower their shear strength. The correlation between the maximum shear stress and the net area shows that the shear strength depends less on this area than on the porosity of the units. Finally, the correlation analysis against unit thicknesses indicates that they have less influence on units strength than net area and porosity.

Keywords: concrete hollow block, masonry, statistical analysis, correlations, shear strength.

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de la naturaleza con que trata la ingeniería involucran algún grado de incertidumbre. Esto implica que las obras que concibe y realiza el ingeniero se diseñan para funcionar bajo condiciones y eventos que son inciertos dado que ocurrirán en el futuro.

La falta de certeza sobre la validez de las hipótesis iniciales formuladas juega un factor fundamental: dos obras construidas en condiciones idénticas no tienen la misma resistencia ni están sometidas a la misma variación de las cargas tanto temporal como espacial. Este hecho (variación de resistencia) se ha observado también en ambientes controlados en pruebas experimentales de elementos estructurales.

Así, el desconocimiento del medio donde estará la obra, así como de otros factores intrínsecos a la misma -las características de material con el cual se construirá-, induce una incertidumbre en el diseño inicial y en la toma de decisiones durante la construcción.

Estas variaciones azarosas de carga y resistencia son la causa de que ninguna obra tenga un fac-

tor de seguridad definido en forma determinista, sino que este dependa de una cierta distribución de probabilidades. A su vez, esta se relaciona con la probabilidad de falla de la edificación. Por ende, los factores de carga y resistencia se definen normalmente con base en estudios de confiabilidad estructural.

Así, deben de tenerse en cuenta las distintas posibilidades y las posibles consecuencias de cada una de estas variaciones en el diseño ingenieril, partiendo de los datos disponibles provenientes de la información reunida y de los condicionantes impuestos por las necesidades del proyecto.

En muchos casos, los datos reunidos presentan diferencias notables entre sí que no deben ignorarse en el momento de tomar decisiones. Por ejemplo, en México existe una variación significativa de las características geométricas y mecánicas de las piezas de mampostería comúnmente empleadas en las diferentes regiones, y a su vez, en cada región existen variaciones significativas en las propiedades mecánicas promedio obtenidas al considerar muestras representativas (Fernández Baqueiro *et al.* 2009, Morales Padilla 2008, Venosa Gutiérrez y Sánchez Alejandro 2016, Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Por esto, en los diferentes códigos de diseño (por ejemplo, en las NTCEM-20 2020), se especifica que para determinar valores de diseño es necesario considerar resultados estadísticos provenientes de muestras representativas, tomando coeficientes de variación mínimos.

La *Estadística* es la rama de las matemáticas que establece las reglas para reunir, presentar y procesar los datos obtenidos al repetir varias veces un experimento. También fija las reglas para el diseño de los experimentos y para tomar decisiones cuando aparecen en el problema situaciones de incertidumbre.

De esta manera, es posible emitir resultados basados en el estudio de muestras representativas. La Estadística se divide en dos ramas:

1. Estadística descriptiva
2. Estadística inferencial

La primera se ocupa de la recolección, organización, tabulación, presentación y reducción de la información. La segunda es el conjunto de métodos y técnicas que permiten inducir, a partir de la información empírica proporcionada por una muestra, cual es el comportamiento de una determinada población (Walpole *et al.*, 2012).

En ingeniería es común requerir del uso de técnicas estadísticas para llegar a conclusiones válidas acerca de datos reunidos en ensayos de unidades y componentes con base en diferentes materiales.

Así, es posible identificar de mejor manera las variables y factores en estudio, extraer conclusiones válidas de forma general a partir de los datos de la muestra, detectar tendencias y patrones y, predecir escenarios futuros. La eficacia y versatilidad de la Estadística en ingeniería se manifiesta en su aplicación para el estudio de datos en situaciones que requieran del control y la mejora de la calidad de procesos.

Esta rama de las matemáticas ha resultado de gran utilidad, en la caracterización geométrica y mecánica de la mampostería, y se ha aplicado para tal fin en distintas partes del mundo.

Baratta and Voiello (1994) investigaron los parámetros estadísticos de las propiedades mecánicas de los elementos de mampostería mediante modelos teóricos de las leyes constitutivas de la mampostería. Simularon pruebas estándar sobre piezas individuales. Estudiaron la correlación entre las propiedades del mortero y el ladrillo, para una serie de propiedades del material y del mortero; y evaluaron la influencia de la inexactitud en la predicción de la magnitud relativa de las propiedades mecánicas de los componentes.

Acercas del comportamiento de los materiales, Alcocer (1997) señala que “una evaluación estadística de la resistencia a la compresión de piezas de mampostería fabricadas en América Latina ha indicado que la resistencia de tabiques macizos de arcilla fabricados a mano depende de la materia prima y no del proceso de fabricación en sí.

De manera similar, se ha encontrado que la calidad de la materia prima es la variable que más significativamente afecta a la resistencia a

compresión de piezas de arcilla fabricadas industrialmente. Por otro lado, la resistencia de piezas de concreto depende principalmente del proceso de aseguramiento de la calidad y del nivel de industrialización de la planta.

La variabilidad de la resistencia es, en términos generales, elevada, aun para piezas producidas industrialmente en las cuales en el control de calidad se cuida la apariencia y estabilidad dimensional, más que la resistencia. Los coeficientes de variación oscilan entre 15 y 25%, para producción industrial y artesanal, respectivamente.”

Afqahi Aryana (2006), realizó un estudio estadístico de la resistencia a compresión de pilas de mampostería de ladrillo de barro; en el trabajo se identificaron varios factores que potencialmente podrían afectar la resistencia a la compresión de las pilas (variables predictoras) y sus efectos se analizaron estadísticamente. Estos factores consistieron en la relación entre la altura del prisma y el espesor, la resistencia a la compresión de la unidad de ladrillo, el tipo de mortero, las unidades de ladrillo hueco versus ladrillo sólido, el espesor de la junta de mortero y el uso o ausencia de lechada en las pilas.

Disponer de una amplia base de datos, de ensayos de mampostería, resulta útil para apoyar a los investigadores y profesionales en el estudio estadístico, y el modelado mecánico de mampostería y sus componentes (unidades y mortero). Augenti *et al.* (2012) presentaron MADA (Masonry DAtabase), una base de datos en línea que proporciona valiosos datos experimentales.

En su etapa inicial, MADA se basó en datos experimentales, de alrededor de 400 archivos electrónicos asociados con más de 100 artículos e informes de investigación. Se desarrolló para mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de mampostería existente y promover el análisis estadístico de datos experimentales para revisiones de códigos sísmicos.

En Colombia, Afanador García *et al.* (2012) estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos de mampostería; procesaron los datos de 512 ensayos a flexión de

unidades de acuerdo con la metodología NTC 4017 (Colombia).

A través de un análisis estadístico de los datos experimentales, mostraron que la distribución de probabilidad que mejor se ajustó fue la de Birnbaum – Saunders, con un factor de forma de 0.6973 y un factor de escala de 0.782. En esta distribución la ordenada es el esfuerzo a la compresión y la abscisa es la probabilidad de falla. No se encontró una relación que permitiera estimar una expresión entre la tasa inicial de absorción (TIA) y la resistencia a la compresión del ladrillo macizo de arcilla cocida, como tampoco ocurrió entre la absorción final (AF) y la resistencia a la compresión del ladrillo, pues sus coeficientes de correlación (R) fueron de 0.032 y 0.037, respectivamente.

Navas Carro y Salazar Méndez (2014) estudiaron las propiedades geométricas del bloque de concreto: dimensiones de la pieza, espesores de pared, área, momento de inercia y módulo de sección.

El trabajo se dividió en dos: a) fase experimental, en la cual muestrearon 270 piezas y, b) fase analítica, en la que se obtuvieron las propiedades geométricas de la población con base en un análisis estadístico de los datos, empleando principalmente los percentiles de la muestra. Con base en esto, compararon sus resultados contra lo especificado en las normas INTE 06-03-01 (Costa Rica) y ASTM C90 (Estados Unidos de América).

Además, obtuvieron dimensiones promedio de las piezas estudiadas, encontrando que la mayoría de los bloques cumple con el espesor de pared mínimo establecido por la norma INTE 06-03-01. Finalmente, indicaron que la relación promedio entre el área neta y el área bruta de las unidades permite clasificarlas como mampostería hueca, según la ASTM C90 y, que el momento de inercia y el módulo de sección son mayores a lo esperado de acuerdo con las normas INTE 06-03-01.

La Sociedad de Ingenieros Estructuralistas Dominicanos (SINEDOM) presentó en 2014 un diagnóstico de la mampostería dominicana. Para tal fin, elaboraron 221 pilas de mampostería de bloque de concreto y se ensayaron hasta la rotu-

ra. Las piezas se reunieron de edificaciones de las zonas Norte y Este de la República Dominicana.

El estudio estadístico de los resultados de ensayos de laboratorio permitió obtener parámetros estadísticos para la resistencia neta de los prismas: media, mediana, desviación estándar, varianza y rango. También obtuvieron el peso volumétrico promedio de la mampostería y el histograma de distribución de frecuencias de los datos de rotura de las pilas. A partir de este último, propusieron un valor confiable de la resistencia a compresión del material ensayado.

También se ha utilizado la Estadística para definir la forma de la curva esfuerzo-deformación de la mampostería de ladrillo de concreto (conocido en México como tabicón). Yang *et al.* (2019) realizaron ensayos de compresión de pilas de este material con diferentes resistencias de mortero y con resistencia constante del ladrillo.

En el desarrollo del modelo constitutivo, el módulo de elasticidad, la deformación en la tensión máxima y la deformación en el 50% de la tensión máxima en la rama descendente, se formularon a partir del análisis de regresión utilizando datos de los ensayos. Enseguida, se realizaron análisis numéricos y estadísticos para determinar las pendientes en las ramas ascendentes y descendentes de la relación esfuerzo-deformación. Obtuvieron así un modelo de comportamiento más preciso y fácil de manejar que otros modelos conocidos.

La relevancia del uso de la mampostería en México y América Latina, se debe a que la mayoría de las viviendas unifamiliares se construyen, precisamente, a base de muros de mampostería (en sus diferentes modalidades). También se emplean sistemas a base de muros de mampostería en el diseño y construcción de edificios de vivienda de baja altura (Ruiz Sibaja *et al.* 2019, Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Entre los materiales utilizados para edificar los muros (tanto en el ámbito urbano como rural) destaca el bloque hueco de concreto (BHC), el cual se fabrica en moldes de dimensiones específicas donde se deposita el concreto. El BHC es un elemento compacto, de forma rectangular, tri-

dimensional, de color natural grisáceo y de superficie rugosa y puede utilizarse como elemento estructural o no estructural.

Una de las principales razones por las que se utiliza tanto en la construcción de muros de mampostería es que su uso aligera el presupuesto, esencialmente en cuestión de ahorro de energía, ya que puede fabricarse cerca de las construcciones y con materiales de la región (esto usualmente tiene repercusiones negativas en la resistencia de las piezas), lo cual reduce el uso de combustible en el transporte y exige menor demanda de mano de obra. El rendimiento en el pegue de las piezas también es mayor al emplear BHC, comparado, por ejemplo, al emplear ladrillos de barro rojo recocidos.

Además de esto su geometría disminuye la cantidad de mortero de pega para unir las piezas, permite prescindir del revoque grueso, admite la aplicación de diferentes terminaciones (revoque fino o texturizado plástico). La estructura hueca del BHC permite el paso de instalaciones de todos los servicios con mayor facilidad. También facilita la colocación del acero de refuerzo estructural, así como el alojamiento de materiales de aislamiento térmico.

En la última década el BHC ha sido uno de los materiales más utilizados para la construcción de viviendas de interés social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Argüello Méndez *et al.*, 2012). Esto ha originado un incremento en la demanda de la producción de dicho material. Lamentablemente, el incremento de la demanda no ha estado acompañado de una mejora en la calidad, pues se ha detectado una problemática en su elaboración, principalmente asociada a la ausencia de una normativa específica en Chiapas, en donde se indique el protocolo correcto para su fabricación y los requisitos mínimos de resistencia.

Respecto a esto, es importante hacer notar que, en el reglamento vigente de construcción para Tuxtla Gutiérrez, no se incluye un apartado en el que se aborde con detalle el diseño de edificaciones de mampostería o se recomiende la calidad de los elementos de mampuesto usados. En general, la práctica común, al igual que se hace en muchas partes del país, es hacer referen-

cia a las Normas Técnicas Complementarias que emite el Gobierno de la Ciudad de México como complemento a su Reglamento de construcción.

Como consecuencia de esta carencia; por lo general, los fabricantes producen las piezas sin el debido control de calidad, dando lugar a que el BHC tenga un mal diseño geométrico y mecánico, y provocando que este sea un material de calidad inapropiada para su uso en las edificaciones. Las graves consecuencias del empleo de materiales de pobre calidad para uso estructural se han evidenciado a lo largo de la historia de la ciudad y del estado durante eventos sísmicos intensos, como se observó durante el aún reciente sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Así, es preciso realizar campañas de caracterización geométrica y mecánica de este material y procesar estadísticamente los resultados obtenidos para hacer un diagnóstico del BHC que se fabrica en la región de Tuxtla Gutiérrez.

Con esta información es posible tomar decisiones para el mejoramiento de la calidad de este material (pieza) y sentar las bases para proponer una normativa regional de construcción para el diseño de sistemas estructurales a base de muros de mampostería.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis estadístico de los ensayos realizados a 130 piezas de BHC de 13 proveedores diferentes de la región, para estimar la calidad de este material y disponer de datos que permitan mejorar sus características. El estudio incluye medidas de tendencia central (promedio y desviación estándar) de:

- a. la geometría
- b. los espesores de pared
- c. la resistencia a cortante
- d. absorción de agua
- e. correlación entre el esfuerzo cortante y las características físicas y geométricas de las piezas

En las secciones posteriores se muestran los detalles del estudio realizado y se discuten los resultados obtenidos.

## ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos se realizaron en la Unidad Tecnológica Ing. Carlos Serrato Alvarado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), de julio a diciembre de 2017 y de enero a julio de 2018.

El material se preparó conforme a las recomendaciones y especificaciones de las normativas NTCM-04 (NTCM-04 2004) y ONNCCE (NMX-C-036-ONNCCE-2013, NMX-C-038-ONNCCE-2013, NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Por cada uno de los 13 lotes de ensayo (con BHC provenientes de cada uno de los proveedores) se utilizaron en cada prueba el número de piezas siguiente:

- a. Caracterización geométrica: 10 piezas
- b. Absorción de agua: 10 piezas
- c. Resistencia a compresión de piezas individuales: 10 piezas.

Por tanto, se requieren 10 piezas por cada proveedor, pero previendo algún tipo de alteración del material por transporte, manejo u otros imprevistos, se adquirieron 12 piezas por cada lote.

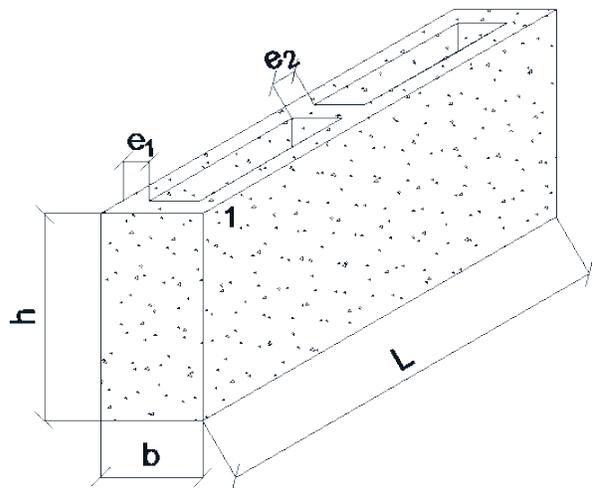
En la Figura 1 se muestra uno de los BHC ensayados. Los detalles del programa experimental se describen en Pérez Fonseca y Rodríguez Estrada (2020).

**FIGURA 1**

Pieza y variables para la definición de la geometría de BHC antes de su ensayo.



a) Pieza típica



b) Características geométricas relevantes

## MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE LA GEOMETRÍA

Para la caracterización geométrica de los bloques se tomaron las 10 piezas de cada proveedor, y de acuerdo a lo que se indica en la NMX-C-038-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012), se midieron sus dimensiones geométricas con un calibrador “pie de rey” y un flexómetro.

Se registraron: largo ( $L$ ), alto ( $h$ ), ancho ( $b$ ) e interior de los alvéolos (Fig. 1b). No se midieron ni el estriado ni el relieve, ya que las piezas no contaban con estas características. Además, se midieron los espesores de pared de las piezas de cada lote, en donde  $e_1$  es el espesor de las paredes en el sentido longitudinal y,  $e_2$  al espesor de las paredes en el sentido transversal (Fig. 1b).

Para cada lote se calcularon el promedio y la desviación estándar de las dimensiones registradas, así como para toda la población (ver Tablas 1, 2 y 3).

**TABLA 1**

Valores medios y desviaciones estándar de las dimensiones geométricas de los bloques huecos de concreto

Proveedor	Largo (cm)	$\sigma_{\text{largo}}$	Ancho (cm)	$\sigma_{\text{ancho}}$	Alto (cm)	$\sigma_{\text{alto}}$
		(cm)		(cm)		(cm)
A	40.05	0.04	11.97	0.03	20.12	0.09
B	40.18	0.10	12.07	0.11	19.35	0.17
C	40.09	0.09	12.14	0.06	20.03	0.09
D	39.97	0.06	12.00	0.04	19.89	0.15
E	40.04	0.09	12.08	0.06	19.42	0.17
F	40.06	0.06	12.11	0.14	20.02	0.16
G	40.03	0.07	12.03	0.06	20.01	0.09
H	40.08	0.07	12.04	0.03	20.05	0.12
I	40.00	0.00	11.97	0.03	19.96	0.16
J	40.17	0.14	12.01	0.08	20.16	0.27
K	40.40	0.07	11.79	0.10	19.31	0.13
L	40.04	0.24	12.13	0.19	19.91	0.18
M	39.83	0.36	12.14	0.10	19.29	0.32
Todos	40.07	0.45	12.04	0.12	19.81	0.36

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 3**

Valores medios y desviaciones estándar de los espesores de pared de cada lote.

Proveedor	$e_1$	$\sigma_{e_1}$	$e_2$	$\sigma_{e_2}$
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
A	2.70	0.049	2.68	0.030
B	2.90	0.079	4.14	0.172
C	2.74	0.048	2.83	0.039
D	3.11	0.043	3.03	0.121
E	2.65	0.055	2.73	0.044
F	2.85	0.077	2.67	0.047
G	2.63	0.034	2.67	0.052
H	3.07	0.042	3.10	0.047
I	2.78	0.041	2.57	0.025
J	3.02	0.187	3.20	0.240
K	2.92	0.046	3.08	0.048
L	3.11	0.143	3.04	0.140
M	3.06	0.052	2.89	0.110
Todos	2.89	0.180	2.97	0.403

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 2**

Valores medios y desviaciones estándar de las dimensiones de los alvéolos de cada lote

Proveedor	Alvéolo 1				Alvéolo 2			
	Ancho (cm)	$\sigma_{\text{ancho}}$	Largo (cm)	$\sigma_{\text{largo}}$	Ancho (cm)	$\sigma_{\text{ancho}}$	Largo (cm)	$\sigma_{\text{largo}}$
		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)
A	6.54	0.07	16.04	0.05	6.60	0.09	15.96	0.05
B	6.29	0.13	13.83	0.34	6.27	0.13	13.93	0.25
C	6.63	0.08	15.81	0.08	6.67	0.05	15.80	0.07
D	5.84	0.07	15.35	0.08	5.71	0.16	15.54	0.28
E	6.77	0.09	15.94	0.07	6.78	0.07	15.91	0.03
F	6.41	0.07	16.04	0.08	6.42	0.11	16.01	0.06
G	6.78	0.10	16.00	0.09	6.77	0.11	16.02	0.09
H	5.88	0.08	15.35	0.10	5.91	0.10	15.43	0.09
I	6.41	0.06	16.13	0.05	6.40	0.12	16.16	0.05
J	5.96	0.36	15.34	0.46	6.00	0.41	15.24	0.36
K	5.98	0.06	15.54	0.12	5.92	0.06	15.61	0.10
L	5.91	0.20	15.47	0.26	5.92	0.17	15.44	0.24
M	5.99	0.13	15.58	0.30	6.03	0.11	15.58	0.17
Todos	6.26	0.35	15.57	1.66	6.26	0.37	15.59	1.63

Fuente: Elaboración propia.

## MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE ABSORCIÓN DE AGUA

Las pruebas de absorción de agua se realizaron conforme a la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012).

Cada una de las piezas se identificó por su procedencia y se numeró, enseguida se secó cuidadosamente y se pesó. A este peso se le denomina  $M_s$  (masa seca del espécimen). Posteriormente, conforme a la normativa de referencia, los especímenes se sumergieron en agua durante 24 horas a una temperatura de entre 17° y 23°. Posterior a las 24 horas, se sacaron del recipiente en que se depositaron, y se eliminó el agua en todas las superficies del bloque (caras, huecos y paredes).

A continuación, se volvieron a pesar, y a este peso se le denomina  $M_{SS}$  (masa saturada y superficialmente seca).

A partir de estos datos se calculó la absorción volumétrica ( $A$ ) en porcentaje en 24 horas con la Ec. (1):

$$A = \frac{M_{SS} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

En la Figura 2 se muestra parte del proceso de realización de este ensayo, y en la Tabla 4 se concentran el promedio y la desviación estándar de los resultados registrados en la prueba de absorción de agua.

**FIGURA 2**

Realización de la prueba de absorción de agua.



## MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y A CORTANTE

Se ensayaron piezas a compresión, colocándolas en posición vertical, no horizontal, aunque se siguió el protocolo que indican las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012) y NMX-C-036-ONNCCE-2013 (ONNCCE 2013), para realizar los ensayos.

Las piezas se ensayaron en esta posición para evaluar la resistencia a compresión axial y estimar a través de esta la resistencia a cortante de la pieza. Es importante recalcar que, dada la escasa información existente al respecto, interesa conocer el comportamiento a cortante del BHC y, posiblemente, emplearlo como un parámetro asociado a la calidad de la misma.

En la Figura 3 se muestran los especímenes preparados para la realización de los ensayos a compresión axial. De forma complementaria, en la Figura 4 se muestran los resultados (estados de la pieza) de una de las pruebas realizadas en la máquina universal.

**FIGURA 3**

Especímenes preparados para los ensayos a compresión axial.



**TABLA 4**

Valor medio y desviación estándar de la absorción de agua por cada lote.

Proveedor	Peso seco promedio (kg)	$\sigma_{seco}$	Peso saturado promedio (kg)	$\sigma_{saturado}$	% de absorción A	$\sigma_{absorción}$
		(kg)		(kg)		(%)
A	0.29	0.09	0.32	0.10	10.90	1.03
B	0.37	0.10	0.42	0.11	11.94	2.03
C	0.41	0.14	0.44	0.14	5.69	1.38
D	0.44	0.10	0.50	0.12	14.83	7.43
E	0.30	0.13	0.35	0.15	19.35	1.35
F	0.33	0.14	0.37	0.16	11.69	10.22
G	0.34	0.12	0.37	0.13	10.10	1.62
H	12.83	0.25	13.85	0.23	7.97	1.55
I	12.72	0.41	13.43	0.42	5.59	0.70
J	13.02	0.32	13.88	0.29	6.62	1.29
K	12.31	0.48	13.43	0.48	9.07	1.05
L	13.08	0.56	14.05	0.67	7.42	2.13
M	11.75	0.22	13.19	0.11	12.24	1.85
Todos	6.01	0.24	6.51	0.24	10.26	2.59

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 4**

Ensayo de BHC a compresión axial.



El esfuerzo de compresión  $\sigma_x$ , resulta de dividir la carga de ruptura entre el área neta, a continuación, mediante la Ec. (2) (Gere y Goodno, 2009) se obtiene  $\tau_{m\acute{a}x}$ , el esfuerzo máximo de cortante en la pieza.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x}{2} \quad (2)$$

En la Tabla 5 se muestran los esfuerzos de compresión (columna 4) calculados a partir de los ensayos para cada lote (estos esfuerzos resultan de dividir la carga de ruptura entre el área bruta de la sección transversal,  $b \times h$ ), en la columna 6 aparecen los esfuerzos cortantes calculados con la Ec. (2). En las columnas 3, 5 y 7 aparecen las desviaciones estándar de la carga de ruptura, del esfuerzo de compresión y del esfuerzo cortante, respectivamente.

Conforme a lo que se indica en las NTCM-04 y en las NTCM-17, las resistencias de diseño, por ejemplo, en compresión ( $f_m^*$ ) o en compresión diagonal ( $v_m^*$ ) de la mampostería, o para el caso de morteros, deben calcularse tomando en cuenta medidas estadísticas. Esto es, deben considerarse los valores promedio de una muestra representativa y un coeficiente de variación de la resistencia, que es función del sistema de control de calidad empleado en la producción de las piezas (mayor coeficiente de variación conforme menor sea el control de calidad). Por ejemplo, en las NTCM-17, para el cálculo de  $v_m^*$ , se emplea la Ec. (3).

**TABLA 5**

Valor medio y desviación estándar de la carga de ruptura, esfuerzo de compresión y esfuerzo cortante de piezas individuales por cada proveedor.

Proveedor	Carga de ruptura (kg)	$\sigma_{\text{carga}}$ (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{esfuerzo}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{cortante}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	7218.30	1515.19	29.98	6.29	14.99	3.14
B	5545.40	2631.56	23.72	11.13	11.86	5.56
C	12155.00	2858.24	50.00	11.83	25.01	5.91
D	5222.20	2241.51	21.89	9.46	10.95	4.73
E	3304.20	808.27	14.08	3.47	7.04	1.73
F	3563.80	881.74	14.70	3.66	7.35	1.83
G	8347.20	2475.31	34.65	10.24	17.33	5.12
H	4015.80	1399.13	16.65	5.88	8.33	2.94
I	11287.30	4849.56	47.13	20.19	23.57	10.09
J	5797.20	1664.37	23.93	6.69	11.97	3.34
K	2823.50	462.74	12.59	2.17	6.30	1.09
L	6606.30	1682.23	27.33	6.73	13.67	3.37
M	2021.00	447.17	8.62	1.83	4.31	0.91
Todos	5992.86	1839.77	25.02	7.66	12.51	3.83

Fuente: Elaboración propia.

$$v_m^* = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5C_v} \quad (3)$$

Donde  $\overline{v_m}$  es la media de la resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga y  $C_v$  es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, con un valor mínimo de 0.20 (para compresión el valor mínimo es de 0.15).

Es importante hacer notar que, como se indica en las NTCM, la resistencia de diseño en compresión o en compresión diagonal de la mampostería, es función de la interacción existente entre las piezas y el correspondiente mortero empleado, cuyas características definen, además de la resistencia, su modo de falla (por ejemplo, Tena *et al.* 2009 y 2017, Fernández *et al.* 2009, Sánchez *et al.* 2017 y, Ruiz *et al.* 2019).

Debido a la escasa información respecto a la resistencia a cortante de unidades de mampostería, se adoptó el criterio general de las NTCM, en donde se considera un valor promedio y un coeficiente de variación mínimo (Ec. 3), para estimar la resistencia de diseño a cortante del BHC,

como unidad. Es importante hacer notar que esta resistencia no corresponde con la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, la cual debe obtenerse experimentalmente empleando muretes y considerando su interacción con el mortero.

En este caso,  $\tau_{m\text{máx}}$  se toma de la columna 6 de la Tabla 5. En la Tabla 6 se muestran los coeficientes de variación de la resistencia a cortante de las piezas. Se observa que, excepto para el proveedor K, todos los coeficientes de variación son mayores de 0.20, para este proveedor se omitió  $C_v = 0.17$  y se utilizó  $C_v = 0.20$  en el cálculo de  $\tau_m^*$  según la expresión (4).

**TABLA 6**

Coeficientes de variación por cada proveedor de la resistencia a cortante del BHC.

Proveedor	Coeficiente de variación de la resistencia a cortante
A	0.21
B	0.47
C	0.24
D	0.43
E	0.25

Proveedor	Coefficiente de variación de la resistencia a cortante
F	0.25
G	0.30
H	0.35
I	0.43
J	0.28
K	0.17
L	0.25
M	0.21

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 aparecen los valores de las resistencias  $\tau_m^*$  calculadas mediante la relación (4) y sus desviaciones típicas.

$$\tau_m^* = \frac{\tau_{m\max}}{1 + 2.5C_v} \quad (4)$$

**TABLA 7**

Valor medio y desviación estándar por cada proveedor de la resistencia a cortante de piezas individuales.

Proveedor	$\tau_m^*$	$\sigma_{\tau_m^*}$
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
A	9.83	2.06
B	5.45	2.56
C	15.63	3.69
D	5.28	2.28
E	4.33	1.06
F	4.52	1.13
G	9.90	2.93
H	4.44	1.57
I	11.36	4.86
J	7.04	1.96
K	4.20	0.73
L	8.41	2.07
M	2.83	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Hulse y Ambrose (1982) presentaron una relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a cortante de piezas individuales de ladrillo de barro perforado, la cual se muestra a continuación:

$$\tau = \frac{\sigma}{31} + 1.45 \quad (5)$$

La expresión (5) se obtuvo mediante un análisis de regresión de datos, de ensayos a compresión y cortante, y en ella  $\tau$  es la resistencia al cortante (N/mm<sup>2</sup>), basada en la sección bruta, y  $\sigma$  es la resistencia a la compresión (N/mm<sup>2</sup>).

Puesto que las piezas de bloque que se consideran en este trabajo, son huecas (similar al efecto de las perforaciones), con fines de comparación, se utilizó la relación (5) para estimar la resistencia a cortante de las unidades ensayadas.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la aplicación de la expresión (5). En la columna 2 de esta tabla aparecen los valores del esfuerzo de compresión medio (en kg/cm<sup>2</sup>) para cada uno de los lotes que se ensayaron, las unidades de estos datos se convierten a N/mm<sup>2</sup> (columna 3) y se incorporan en la relación (5). Se obtienen así los resultados que se muestran en la columna 4 (N/mm<sup>2</sup>), en la columna 5 aparecen estos esfuerzos cortantes en kg/cm<sup>2</sup>.

**TABLA 8**

Esfuerzo cortante calculado de acuerdo con la expresión de Hulse y Ambrose.

Proveedor	$\sigma$	$\sigma$	$\tau$	$\tau$
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
A	29.98	2.94	1.54	15.70
B	23.72	2.33	1.53	15.60
C	50.00	4.90	1.61	16.42
D	21.89	2.15	1.52	15.50
E	14.08	1.38	1.49	15.19
F	14.70	1.44	1.50	15.30
G	34.65	3.40	1.56	15.91
H	16.65	1.63	1.50	15.30
I	47.13	4.62	1.60	16.32
J	23.93	2.35	1.53	15.60
K	12.59	1.23	1.49	15.19
L	27.33	2.68	1.54	15.70
M	8.62	0.85	1.48	15.09

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se comparan los resultados de aplicar las ecuaciones (2) y (5) a los esfuerzos de rotura en compresión registrados en la columna 2 de la Tabla 8. En la columna 3 aparece el esfuerzo cortante calculado con la expresión (2),  $\tau^1$ , y en

la columna 4 el esfuerzo cortante calculado con la relación (5),  $\tau^2$ .

**TABLA 9**

Comparación entre esfuerzos cortantes calculados con las expresiones para cortante máximo y de Hulse y Ambrose.

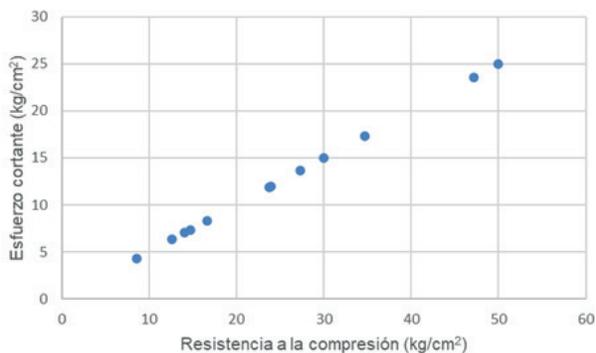
Proveedor	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau^1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	29.98	14.99	15.70
B	23.72	11.86	15.60
C	50.00	25.00	16.42
E	14.08	7.04	15.19
F	14.70	7.35	15.30
G	34.65	17.33	15.91
H	16.65	8.33	15.30
I	47.13	23.57	16.32
J	23.93	11.97	15.60
K	12.59	6.30	15.19
L	27.33	13.67	15.70
M	8.62	4.31	15.09
Valor medio	24.06	12.04	15.57
Desviación Estándar	12.81	6.40	0.42
Coefficiente de Variación	0.53	0.53	0.03

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 5 y 6 se muestran, respectivamente, los resultados derivados de utilizar la Ec. (2) y la expresión de Hulse y Ambrose.

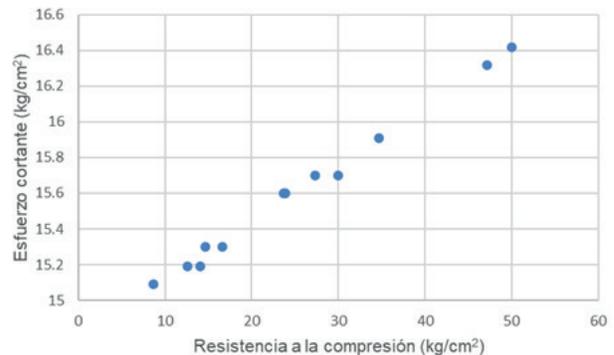
**FIGURA 5**

Estimación de esfuerzo cortante de acuerdo con la Ec. (2).



**FIGURA 6**

Estimación de esfuerzo cortante según la fórmula de Hulse y Ambrose.



### ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A CORTANTE Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL BHC

Con el propósito de estudiar la correlación entre la resistencia a cortante y las características geométricas del BHC, se realizaron cuatro estudios, uno para la absorción de agua, uno para el área neta y dos más para los espesores  $e_1$  y  $e_2$ . Esto encuentra su motivación en el hecho de que se observó que los porcentajes de absorción entre los diversos lotes, e incluso dentro del mismo lote, son bastante variables, también se detectó que cada proveedor utiliza un molde propio para producir sus bloques y las piezas no suelen tener las dimensiones geométricas que indica la normativa de referencia, por lo tanto, es de gran interés estudiar estas correlaciones.

En la Tabla 10 se presentan para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante  $\bar{\tau}_m$  registrado, para cada una de las piezas, en los ensayos del BHC y la absorción de agua correspondiente; en la Figura 7 aparece la correlación entre ambos datos. En la Tabla 11 se reúnen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

**TABLA 10**

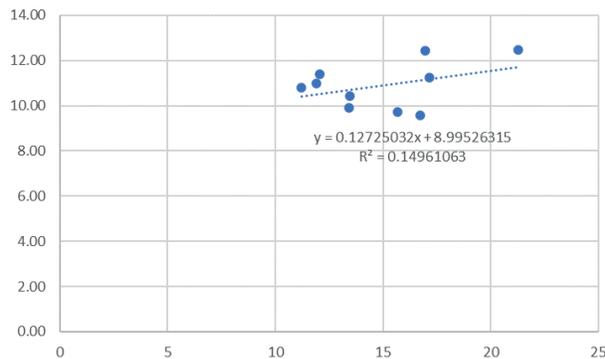
Datos para realizar la correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el porcentaje de absorción para las piezas del proveedor A.

Esfuerzo cortante máximo X	% de absorción Y
16.96	12.45
17.17	11.25
21.29	12.47
13.43	9.91
11.92	11.00
16.74	9.57
15.68	9.72
13.47	10.43
12.05	11.41
11.21	10.82

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 7**

Correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el porcentaje de absorción para las piezas del proveedor A.



**TABLA 11**

Coefficientes de correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el porcentaje de absorción para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.38679533
B	-0.155804498
C	0.30766673
D	-0.400347427
E	-0.12679817
F	0.202472269
G	0.464668963
H	0.388130545
I	-0.544049234
J	-0.858234229

Proveedor	Coefficiente de correlación
K	-0.554510666
L	0.615669087
M	-0.296248809

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12 se concentran, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante  $\bar{\tau}_m$  obtenido, para cada una de las unidades de mampostería, en los ensayos del BHC y el área neta correspondiente; en la Figura 8 se muestra la correlación entre ambos datos. En la Tabla 13 aparecen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

**TABLA 12**

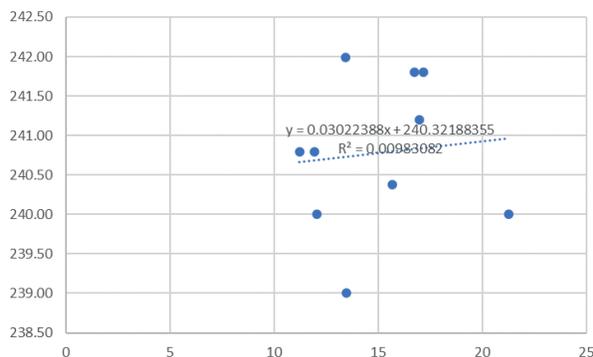
Datos para realizar la correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el área neta para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm²) X	Área neta (cm²) Y
16.96	241.20
17.17	241.80
21.29	240.00
13.43	241.99
11.92	240.79
16.74	241.80
15.68	240.38
13.47	239.00
12.05	240.00
11.21	240.79

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 8**

Correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el área neta para las piezas del proveedor A.



**TABLA 13**

Coefficientes de correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el área neta para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.099150487
B	0.377108185
C	-0.125706455
D	-0.303076141
E	-0.107848677
F	-0.014432252
G	0.391960977
H	-0.689791904
I	0.345867247
J	-0.002172812
K	-0.675385802
L	0.491571516
M	-0.041754367

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se muestran, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante  $\bar{\tau}_m$  alcanzado, para cada una de las piezas, en los ensayos del BHC y el espesor  $e_1$ ; en la Figura 9 aparece la correlación entre ambos datos. En la Tabla 15 se indican los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

**TABLA 14**

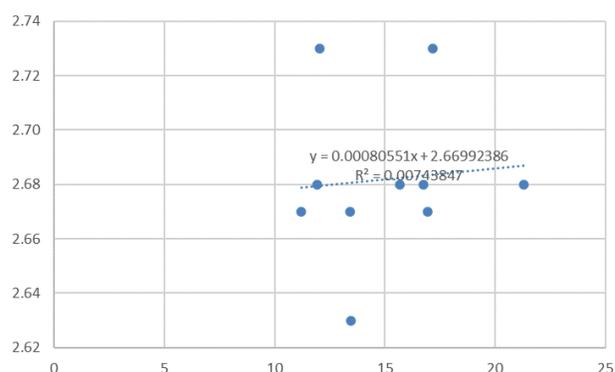
Datos para realizar la correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_1$  para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor $e_1$ (cm)
X	Y
16.96	2.67
17.17	2.73
21.29	2.68
13.43	2.67
11.92	2.68
16.74	2.68
15.68	2.68
13.47	2.63
12.05	2.73
11.21	2.67

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 9**

Correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_1$  para las piezas del proveedor A.



**TABLA 15**

Coefficientes de correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_1$  para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.086246567
B	-0.357871213
C	0.615692945
D	-0.508313376
E	-0.137768018
F	0.163996561
G	0.14797263
H	0.297618386
I	0.018028604

Proveedor	Coefficiente de correlación
J	0.415064743
K	0.035552291
L	-0.158287954
M	-0.381341211

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se reúnen, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante  $\bar{\tau}_m$  observado, para cada una de las unidades de mampostería, en los ensayos del BHC y el espesor  $e_2$ ; en la Figura 10 se presenta la correlación entre ambos datos. En la Tabla 17 se aparecen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

Tabla 16. Datos para realizar la correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_2$  para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm <sup>2</sup> ) X	Espesor $e_2$ (cm) Y
16.96	2.70
17.17	2.73
21.29	2.78
13.43	2.63
11.92	2.70
16.74	2.75
15.68	2.63
13.47	2.70
12.05	2.73
11.21	2.68

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 10

Correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_2$  para las piezas del proveedor A.

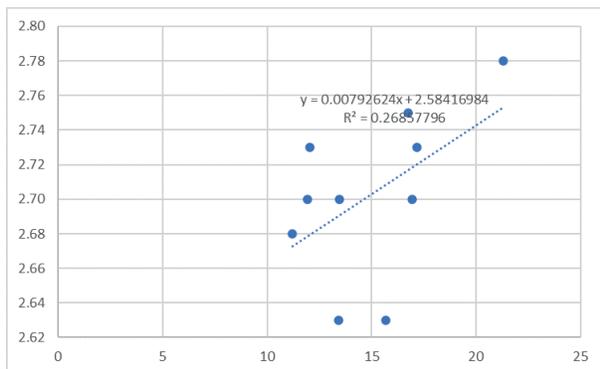


TABLA 17

Coefficientes de correlación entre  $\bar{\tau}_m$  y el espesor  $e_2$  para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.518245079
B	0.49201691
C	-0.040526082
D	0.032275222
E	-0.1042612
F	0.657351853
G	0.245466186
H	0.245072915
I	0.317874808
J	-0.30514371
K	-0.110085175
L	0.36953749
M	0.131436052

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA

Las dimensiones promedio (Tabla 1) de las piezas ensayadas de cada uno de los lotes no presentaron desviaciones significativas en la anchura respecto de las dimensiones de  $12 \times 19 \times 39$  cm<sup>3</sup> que indica la NMX-C-404-ONNCCE-2012. Sin embargo, hay que destacar que la altura (columna 6) y la longitud (columna 2) de los BHC sí presentaron desviaciones relevantes (columnas 3, 5 y 7) respecto de esta norma. Las dimensiones señaladas varían de un proveedor a otro, y en algunos casos su valor supera hasta en más de 1.0 cm tanto la longitud como la altura estándar de fabricación que se requiere.

Asimismo, la NMX-C-404-ONNCCE-2012 señala que para piezas con estas dimensiones el espesor mínimo de las paredes del BHC debe ser de 20 mm, característica que cumplen todas las piezas evaluadas.

Se observa que la dispersión respecto de la media es pequeña en cada lote (columnas 3 y 5 de la Tabla 3). Debe tenerse presente que la NMX-C-038-ONNCCE-2012 indica que, en el caso de paredes de bloques expuestas a la intemperie sin recubrimiento, el espesor mínimo debe ser de

30 mm en un 90 % del área de dicha cara, por lo tanto, en el caso de que los bloques ensayados se utilizaran para construir paredes sin aplanado, solo los proveedores D, H, J y L cumplirían con dicha norma (columnas 2 y 4).

Los resultados alcanzados indican que los bloques ensayados presentan variaciones notables en cuanto a la geometría -longitud y altura- que señala la normativa vigente, y que no existe uniformidad entre las dimensiones de las piezas de los distintos fabricantes ya que en el proceso de fabricación se usan moldes cuyas dimensiones no coinciden con las que establece la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

#### ABSORCIÓN DE AGUA

De acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2012 la absorción máxima para bloques de concreto debe ser de 12 %. Los resultados de esta prueba muestran que la mayoría de los proveedores -10 de los 13 lotes- cumplen con lo que indica la norma (columna 6 de la Tabla 4), aunque sus dispersiones respecto de la media indican que los datos se extienden sobre un intervalo de valores más amplio (columna 7).

En el caso de los lotes D, E y M los bloques absorben cantidades de agua que son, respectivamente, 2.83 %, 7.35 % y 0.24% mayores que el 12% que se recomienda; esto indica que las piezas tienen una porosidad mayor a la señalada, con  $\sigma_{\text{absorción}}$  de 7.43, 1.35 y 1.85, respectivamente.

En el caso del lote F para los cuales el valor medio de absorción es ligeramente menor que el 12 %, su  $\sigma_{\text{absorción}}$  de 10.22, sugiere que algunas de las piezas tienen una porosidad un poco superior a lo recomendado.

#### RESISTENCIA A CORTANTE DE PIEZAS INDIVIDUALES

Los bloques se ensayaron a compresión axial, una posición diferente a aquella en la que se realizan normalmente los ensayos de mampostería, aunque en este caso no hay una normativa que indique cómo realizarlos, se acudió a las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-036-ONNCCE-2013 para ajustar el protocolo de ensayo a

las condiciones de carga de las piezas. Mediante este ensayo se obtuvo la resistencia a compresión axial y a través de esta la resistencia a cortante (ver la Tabla 5).

En la literatura especializada sobre ensayos para evaluar la resistencia a cortante de piezas de mampostería sólo se encontró la referencia de Hulse y Ambrose (1982), en la cual se relacionan la resistencia a compresión y la resistencia a cortante de unidades de ladrillo de barro perforado. Dada la limitada información disponible, la expresión desarrollada por ellos, se aplicó a los datos reportados en la columna 4 de la Tabla 5, y se concentran en la Tabla 9.

En esta tabla, al comparar los resultados dados por las ecuaciones (2) (columna 3) y (5) (columna 4) se observa que los resultados más desfavorables, para la resistencia a cortante, son los que se obtienen a partir de la expresión para cortante máximo (Ec. 2).

El valor medio de los datos de la columna 3 (12.04 kg/cm<sup>2</sup>) es menor que el que resulta de la columna 4 (15.57 kg/cm<sup>2</sup>); además, la desviación estándar y el coeficiente de variación para los datos de la columna 3 (6.40 y 0.53), son mayores que los correspondientes a la columna 4 (0.42 y 0.03).

Se observa que mediante la ecuación (2) se obtiene una estimación conservadora de la resistencia a cortante de las piezas ensayadas, y en principio puede utilizarse esta expresión para proponer valores mínimos de la resistencia a cortante del BHC estudiado.

#### CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A CORTANTE Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL BHC

El coeficiente de correlación es una medida numérica que permite medir el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas; este coeficiente puede adoptar valores desde “-1” a “1”, pasando por el “0”. Un coeficiente de correlación muy cercano a uno en valor absoluto indica que la relación entre las variables es muy fuerte, mientras que, si es muy cercano a cero, indica que la relación es muy débil. Cabe destacar que únicamente se tomó en cuenta la relación lineal,

puesto que no se observó que se presentara otro tipo de relación entre las variables consideradas.

La magnitud de este coeficiente se puede interpretar de acuerdo con la clasificación de la Tabla 18:

**TABLA 18**

Interpretación del coeficiente de correlación.

Rango de valores de $ r_{XY} $	Interpretación
$0.00 \leq  r_{XY}  \leq 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq  r_{XY}  \leq 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq  r_{XY}  \leq 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq  r_{XY}  \leq 1.00$	Correlación fuerte

Fuente: Hernández Lalinde (2018).

Al considerar la clasificación de la Tabla 18, se pueden interpretar las correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el porcentaje de absorción de agua del BHC tal como aparecen en la Tabla 19.

**TABLA 19**

Correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el porcentaje de absorción de agua del BHC.

Proveedores	Interpretación
	Correlación nula
B, E, F, M	Correlación débil
A, C, D, G, H	Correlación moderada
I, J, K, L	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con clasificación que aparece en la Tabla 18 se establecen, en la Tabla 20, las correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el área neta del BHC.

**TABLA 20**

Correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el área neta del BHC.

Proveedores	Interpretación
A, F, J, M	Correlación nula
C, E	Correlación débil
B, D, G, I, L	Correlación moderada
H, K	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Al consultar la clasificación de la Tabla 18 se puede organizar la correlación entre  $\bar{v}_m$  y el espesor  $e_1$  tal como se muestra en la Tabla 21.

**TABLA 21**

Correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el espesor  $e_1$  del BHC.

Proveedores	Interpretación
A, I, K	Correlación nula
E, F, G, H, L	Correlación débil
B, J, M	Correlación moderada
C, D	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Con arreglo a la clasificación de la Tabla 18, en la Tabla 22 se presenta la interpretación de la correlación entre  $\bar{v}_m$  y el espesor  $e_2$ .

**TABLA 22**

Correlaciones entre  $\bar{v}_m$  y el espesor  $e_2$  del BHC.

Proveedores	Interpretación
C, D	Correlación nula
E, G, H, K, M	Correlación débil
B, I, J, L	Correlación moderada
A, F	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados anteriores se observa que existen correlaciones en los intervalos de débil a fuerte entre el esfuerzo cortante  $\bar{v}_m$  y el porcentaje de absorción de agua del BHC, 4 proveedores tienen una correlación débil (30.77 %), 5 tienen una correlación moderada (38.46 %) y 4 tienen una correlación fuerte (30.77 %).

Dado que no se registró una correlación nula, se observa en primer término, que la porosidad del BHC ensayado influye moderadamente en la resistencia a cortante de la pieza. Se deduce que las unidades estudiadas en su mayoría son muy porosas y que esta deficiencia en la compacidad predomina en su resistencia a cortante.

La correlación entre el esfuerzo cortante  $\bar{v}_m$  y el área neta se presenta en los intervalos de nula a fuerte, 4 lotes mostraron una correlación nula (30.77 %), 2 lotes indicaron una correlación

débil (15.38 %), 5 lotes presentaron una correlación moderada (38.46 %) y 2 lotes registraron una correlación fuerte (15.38 %).

Aunque tiene el mismo porcentaje de correlación moderada que la absorción de agua, la proporción de correlación nula es mayor que en el caso anterior, por lo tanto, se puede aceptar que la resistencia al esfuerzo cortante depende en menor medida del área resistente que de la porosidad de la pieza.

Por lo que se refiere a los espesores  $e_1$  y  $e_2$ , la correlación entre estas características geométricas y el esfuerzo cortante  $\bar{v}_m$  registraron, en el primer caso, correlaciones en los intervalos de nula a fuerte, 3 proveedores presentaron una correlación nula (23.08 %), 5 proveedores presentaron una correlación débil (38.46 %), 3 proveedores presentaron una correlación moderada (23.08 %) y 2 proveedores presentaron una correlación fuerte (15.38 %).

En el segundo caso también se presentaron correlaciones en los intervalos de nula a fuer-

te, dos lotes tienen una relación nula (15.38 %), cinco lotes tienen una correlación débil (38.46 %), cuatro lotes tienen una correlación moderada (30.77 %) y dos lotes tienen una correlación fuerte (15.38 %).

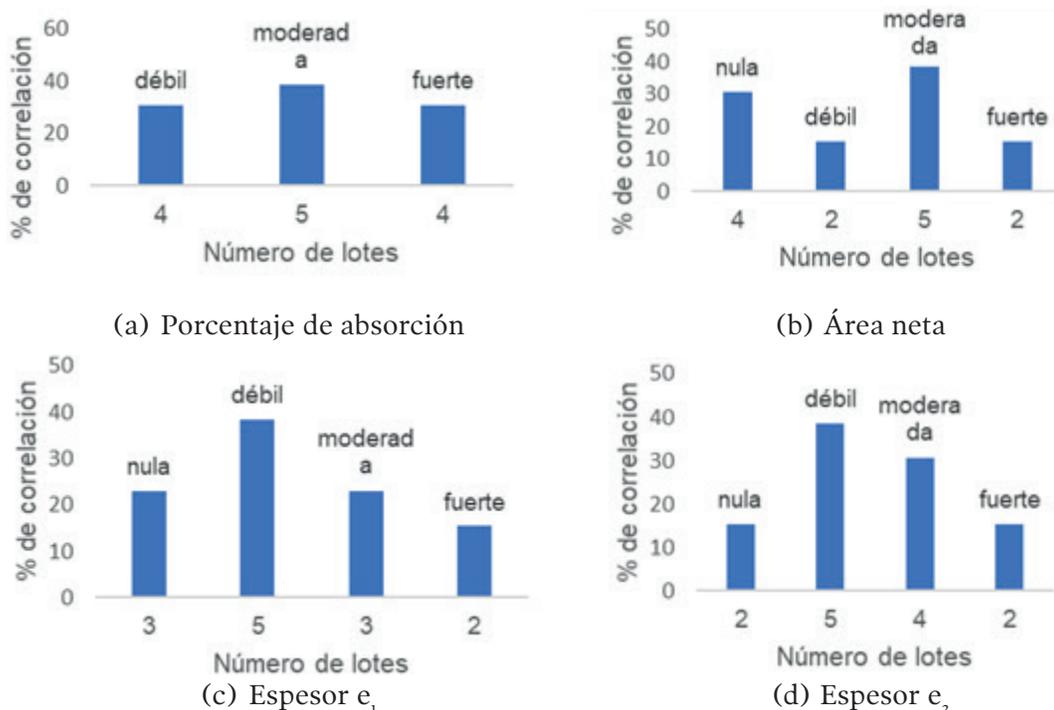
Estos resultados apuntan a que el espesor de los bloques tiende a ser una variable menos relevante que el área resistente y la porosidad, al tener en su mayoría correlaciones en los intervalos de nula a débil (61.54 % en el caso de  $e_1$  y 53.84 % en el caso de  $e_2$ ).

En la Figura 11 se concentran los resultados discutidos, para la correlación entre la resistencia a cortante, y las características físicas y geométricas del BHC.

Es importante hacer notar que lo reportado en este estudio representa un primer esfuerzo para correlacionar la resistencia a cortante de las piezas, calculada de forma indirecta, con algunos parámetros físicos y geométricos relevantes en la etapa de diseño estructural.

FIGURA 11

Correlación entre la resistencia a cortante y las características físicas y geométricas del BHC.



## CONCLUSIONES

El uso de métodos estadísticos aplicados a la caracterización geométrica y mecánica del BHC, permite correlacionar los distintos parámetros estudiados de forma que se alcance una percepción más amplia de la calidad del material ensayado. En este trabajo se ha utilizado la estadística descriptiva, para estudiar las características físicas, geométricas y mecánicas del BHC.

A tal efecto, se ha realizado el análisis estadístico de 130 piezas de BHC fabricados en la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El estudio incluye la caracterización geométrica, la estimación del porcentaje de absorción de agua, la evaluación indirecta de la resistencia a cortante y la correlación entre este parámetro y las características físicas y geométricas de las piezas ensayadas.

Los resultados muestran una gran variabilidad de los parámetros evaluados entre los lotes procedentes de distintos fabricantes e incluso entre las piezas de un mismo lote. En otros trabajos (Rivera Sánchez y González Moreno, 2006; Navas Carro y Salazar Méndez, 2014; Robalino et al, 2015) también se ha encontrado que el BHC presenta variaciones notables en los parámetros registrados en los ensayos y que no satisface los requisitos de la normativa de referencia.

Las piezas estudiadas no mostraron una uniformidad geométrica aceptable en la altura y la longitud del bloque, que superaron hasta en más de 1.0 cm las dimensiones de fabricación que señala la NMX-C-404-ONNCCE-2012; se registraron dispersiones variables (columnas 3, 5 y 7 de la Tabla 1), aunque pequeñas, entre los lotes estudiados.

En general, cada fabricante suministró piezas con ligeras variaciones en sus dimensiones geométricas lo cual indica cierta heterogeneidad en los moldes de fabricación utilizados. No obstante, debe señalarse que el espesor de las paredes de los bloques si superó en todos los lotes, el mínimo especificado en la normativa y que su dispersión respecto de la media fue ligeramente mayor que en el caso de las dimensiones geométricas de las unidades (columnas 3 y 5 de la Tabla 3).

La absorción volumétrica de agua también mostró variabilidad entre los lotes ensayados, aunque en 10 de los 13 lotes se registraron valores por debajo del 12% exigible, los 3 lotes restantes mostraron cantidades de absorción de agua entre 0.24 % y 7.35 % mayores que la absorción máxima que indica la NMX-C-404-ONNCCE-2012. No obstante, las desviaciones respecto del promedio (columna 7 de la Tabla 4) sugieren una porosidad que debe mejorarse dado que esta característica influye en la resistencia, absorción y permeabilidad de la mampostería.

Se propone el uso de la fórmula para el cálculo del esfuerzo cortante (Ec. 2), respecto de la fórmula propuesta por Hulse y Ambrose, para estimar de forma conservadora valores mínimos de la resistencia a cortante de las piezas ensayadas.

A partir de la relación (2) se obtuvo una resistencia media de 12.04 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 6.40 kg/cm<sup>2</sup> y un coeficiente de variación de 0.53, se observa que estos dos últimos valores son altos lo cual indica de nuevo la gran dispersión entre los resultados registrados en los ensayos.

El estudio de correlación entre la resistencia al esfuerzo cortante y las características físicas y geométricas del BHC, mostró que la característica que más influye en la resistencia al esfuerzo cortante es el porcentaje de absorción de agua, seguida del área neta.

En el primer caso las correlaciones estuvieron dentro de los intervalos de débil a fuerte con una proporción mayor en el intervalo de correlación moderada (Tabla 17).

En el segundo caso las correlaciones se presentaron en los intervalos de nula a fuerte con mayor proporción en el intervalo de correlación moderada, pero con una participación importante en el intervalo de correlación nula (Tabla 18).

Por lo tanto, se concluye que la porosidad influye de forma significativa en la resistencia al esfuerzo cortante del material evaluado.

La aplicación de un parámetro estadístico simple, como el coeficiente de correlación, permite establecer una ponderación en la influencia de

la geometría y la porosidad de la pieza, sobre su resistencia a esfuerzo cortante.

Esto constituye una ayuda para determinar qué características deben de atenderse, para alcanzar una mejor calidad del BHC, con un grado de incertidumbre menor que aquella que se basa en el cálculo de la dispersión de la media estimada.

Los resultados mostrados señalan el problema de calidad del material estudiado, y la necesidad de establecer un marco normativo de obligado cumplimiento, para unificar criterios respecto al control de calidad del BHC, fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez.

Al mismo tiempo, es necesario continuar realizando este tipo de trabajos, dado que una parte importante de la vivienda urbana (y cada vez con más frecuencia en la zona rural) en el entorno local se realiza mediante la autoconstrucción con piezas de mampostería, en las cuales la técnica de fabricación es de carácter artesanal.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los alumnos involucrados en el desarrollo de las pruebas experimentales: Sandra Leonor Pérez Fonseca y Jorge Luis Rodríguez Estrada. Asimismo, a los técnicos académicos del laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería de la UNACH, por su colaboración en cada una de las pruebas realizadas. A los directivos de la facultad de ingeniería de la UNACH, por las facilidades para el desarrollo de las pruebas. Finalmente, se agradecen ampliamente los comentarios de los revisores anónimos, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad de este artículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afanador García, N., Guerrero Gómez, G. & Monroy Sepúlveda, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*. 22 (1), 43-58. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/248/58>

Afqahi Aryana, S. (2006). Statistical analysis of compressive strength of clay brick masonry prisms (Master of science in civil engineering). The University of Texas at Arlington. <https://rc.library.uta.edu/uta-ir/bitstream/handle/10106/496/umi-uta-1264.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alcocer, S. M. (1997). Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión. *Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 164-191. Veracruz, Ver., México. [https://reconstruir.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/4\\_comportamiento\\_sismico\\_de\\_estructuras\\_de\\_mamposteria\\_una\\_revision.pdf](https://reconstruir.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/4_comportamiento_sismico_de_estructuras_de_mamposteria_una_revision.pdf)

Argüello Méndez, T., Argüelles León, B. & Badillo González, R. M. (2012). Características físicas de la vivienda popular en la periferia urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Quehacer Científico en Chiapas*. (4), 4-13. [https://dgp.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-jul-dic/caracteristicas\\_fisicas\\_vivienda\\_popular.pdf](https://dgp.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-jul-dic/caracteristicas_fisicas_vivienda_popular.pdf)

American Society for Testing Materials (2016). ASTM C 90-16a. Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Augenti, N. & Parisi, F. (24-28 September 2012). MADA: online experimental database for mechanical modelling of existing masonry assemblages. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012, 1-6. Lisbon, Portugal. [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2897.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2897.pdf)

Baratta A., Voiello G. & Zuccaro G. (1994). Statistical Analysis of the Mechanical Properties of Masonry Walls by Computational Models. In: Breyse D. (eds) *Probabilities and Materials*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), 269. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-1142-3\\_42](https://doi.org/10.1007/978-94-011-1142-3_42).

Fernández Baqueiro, L., Marín Gómez, F., Varela Rivera, J. & Vargas Marín, G. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. *Ingeniería*. 13- 2, 41-50. [https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion\\_resistencia\\_compresion.pdf](https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf)

- Gere, J. M & Goodno, B. J (2009). *Mecánica de Materiales* (séptima edición). CENGAGE Learning.
- Godínez Domínguez E.A., A. Tena Colunga, A., Pérez Rocha, L.E., Archundia Aranda, H.I., Gómez Bernal, A., Ruíz Torres, R.P., & Escamilla Cruz, J. (2021). The September 7, 2017 Tehuantepec, Mexico, earthquake: Damage assessment in masonry structures for housing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 56, 102-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102123>.
- Hernández Lalinde, J. D. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Revista AVFT*. 37 (5), 587-595. [https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft\\_5\\_2018/25sobre\\_uso\\_adecuado\\_coeficiente.pdf](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf)
- Hulse R. & Ambrose J. R. (16-19 May 1982). The Shear Strength of Bricks and Brickwork (Sesión de conferencia). 6th International Brick and Block Masonry Conference, 16-32. Rome, Italy. <http://www.hms.civil.uminho.pt/ibmac/1982/16.pdf>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (2007). INTE 06-03-01. INTECO. Costa Rica.
- Morales Padilla, M. A. (2008). Evaluación de la resistencia a la compresión de blocks fabricados en la región de Perote, Ver. de acuerdo a la norma NMX-C-ONNCCE 2004 (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil). Universidad Veracruzana.
- Navas Carro, A. & Salazar Méndez, J. C. (2014). Propiedades Geométricas de los bloques y la mampostería de concreto. *Ingeniería*. 24 (2), 129-144. [https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929/pdf\\_27](https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929/pdf_27)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2004). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2017). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-2017.pdf>
- <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2020). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-19-octubre-2020.pdf>
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-036-ONNCCE-2013. ONNCCE. (2013). México.
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-038-ONNCCE-2012. ONNCCE. (2012). México.
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-404-ONNCCE-2012. ONNCCE. (2012). México.
- Pérez Fonseca, S., Rodríguez Estrada, J. (2020). Análisis estadístico de las propiedades geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto utilizado en la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería). Universidad Autónoma de Chiapas.
- Rivera Sánchez, J. L. & González Moreno, J. J. (2006). Caracterización de la mampostería estructural elaborada con bloques de concreto en la ciudad de Santa Marta (Memoria de Grado). Universidad del Magdalena. <https://core.ac.uk/reader/198274810>
- Robalino, C., Peñaherrera, L., Tito, D. & López, M. (2015). Estudio de las propiedades mecánicas de mampostería de bloques de hormigón en edificaciones del Valle de los Chillos que iniciaron su construcción durante el año 2014. *Revista CIENCIA*. 17(1) 147-157. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/517/425>
- Ruiz-Sibaja, J., Vidal, F. & Zebadúa, A. (2019). Propiedades geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto fabricado en el área de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, Mex.). *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. VIII (21), 8-31. <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/191>

- Sociedad de Ingenieros Estructuralistas Dominicanos (SINEDOM) (2014). Diagnóstico de la mampostería dominicana. SINEDOM. Santiago, República Dominicana. [https://www.academia.edu/11090676/Diagn%C3%B3stico\\_de\\_la\\_Mamposter%C3%ADa\\_Dominicana\\_v\\_elect\\_Venosa](https://www.academia.edu/11090676/Diagn%C3%B3stico_de_la_Mamposter%C3%ADa_Dominicana_v_elect_Venosa)
- Gutiérrez, J. A. & Sánchez Alejandro, A. (2016). Preparación para el ensayo de un muro de mampostería construido a escala natural con materiales y aspectos constructivos típicos de colima. Tlamati Sabiduría. 7 (Número Especial 2), 333-341. <http://tlamati.uagro.mx/t7e2/599.pdf>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. & Ye, K. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Pearson.
- Yang, K. H., Lee, Y. & Hwang, Y. H. (2019). A Stress-Strain Model for Brick Prism under Uniaxial Compression. *Advances in Civil Engineering*. 2019, 1-10. <https://downloads.hindawi.com/journals/ace/2019/7682575.pdf>

# 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.v0i11.187>

**LAURA MERCADO MALDONADO**

<https://orcid.org/0000-0001-7687-4554> / [laura.mercado@unison.mx](mailto: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, generado cambios en la climatología urbana, haciéndose 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 incómodos 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 colectiva<sup>1</sup> 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, & Gonzalez-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 km<sup>2</sup> 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 antropogénico, 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 reemplazado (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 Unidos<sup>2</sup> (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 (UCL<sup>3</sup>) refiriéndose a la capa de aire donde se vive desde el suelo hasta el tope de los edificios y la Capa Límite Superficial (UBL<sup>4</sup>) que se presenta a partir de la UCL y su altura varía en el día y la noche.

Por su arte, 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*<sup>5</sup> 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, & Chunchu, 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 diario 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 enfrían 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 sustancias tóxicas que provoca sensación de disconfort 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 sociales<sup>6</sup> 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 térmico<sup>7</sup> 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, llego 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. Ciombart (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 responsabil-

6. De acuerdo con la Real Academia Española Fuente especificada no válida., las patologías sociales 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/m<sup>2</sup>, 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

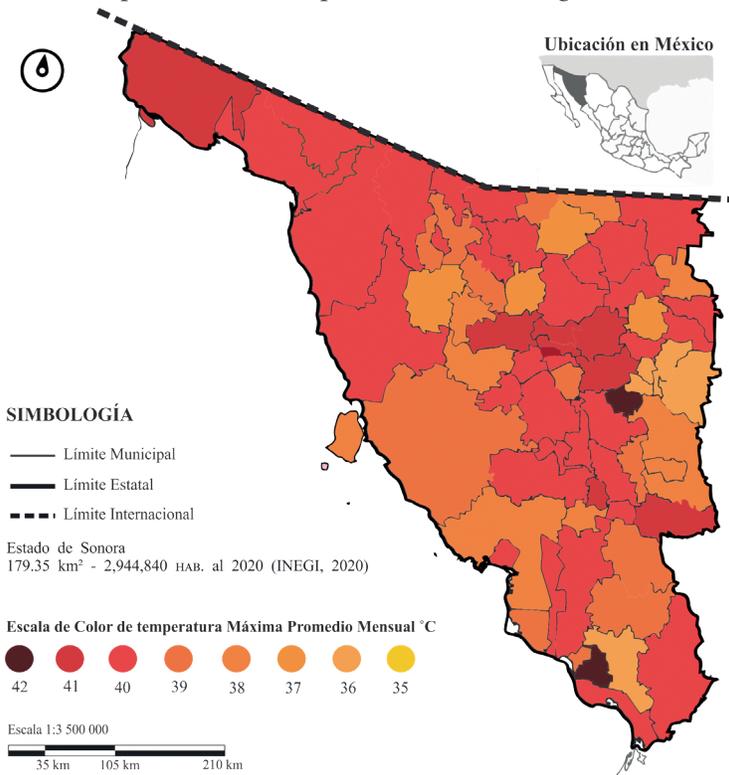
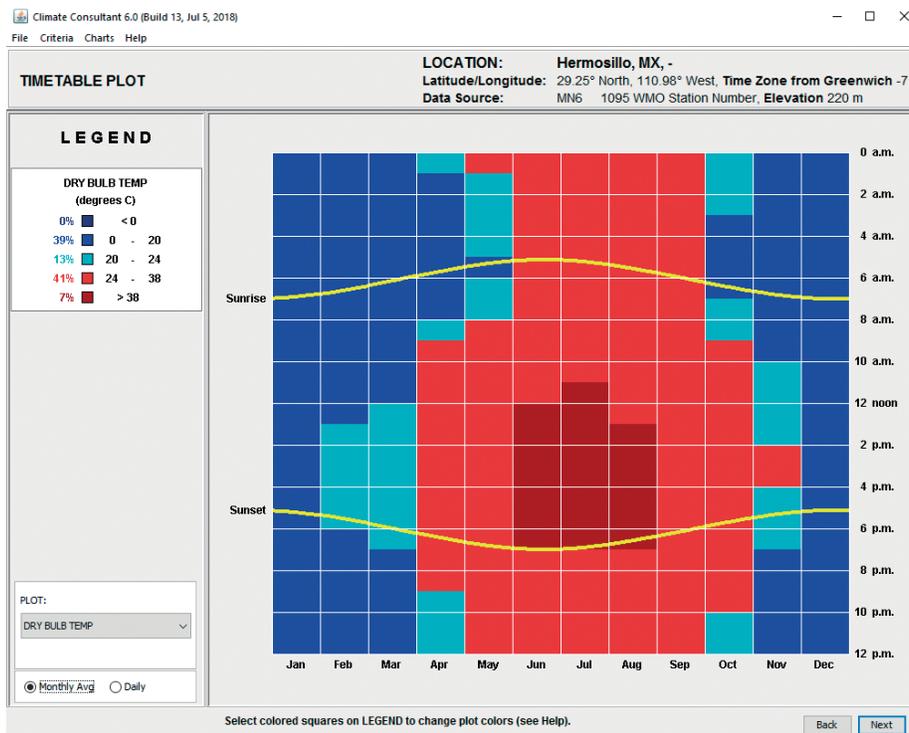


FIGURA 2

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 normativas dispuestas por el IMPLAN, y a intervenciones de megaproyectos con el plan Sonora Proyecta<sup>8</sup> que no contemplaban el impacto ambiental como la pérdida 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, pérdida 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 comfortable; 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

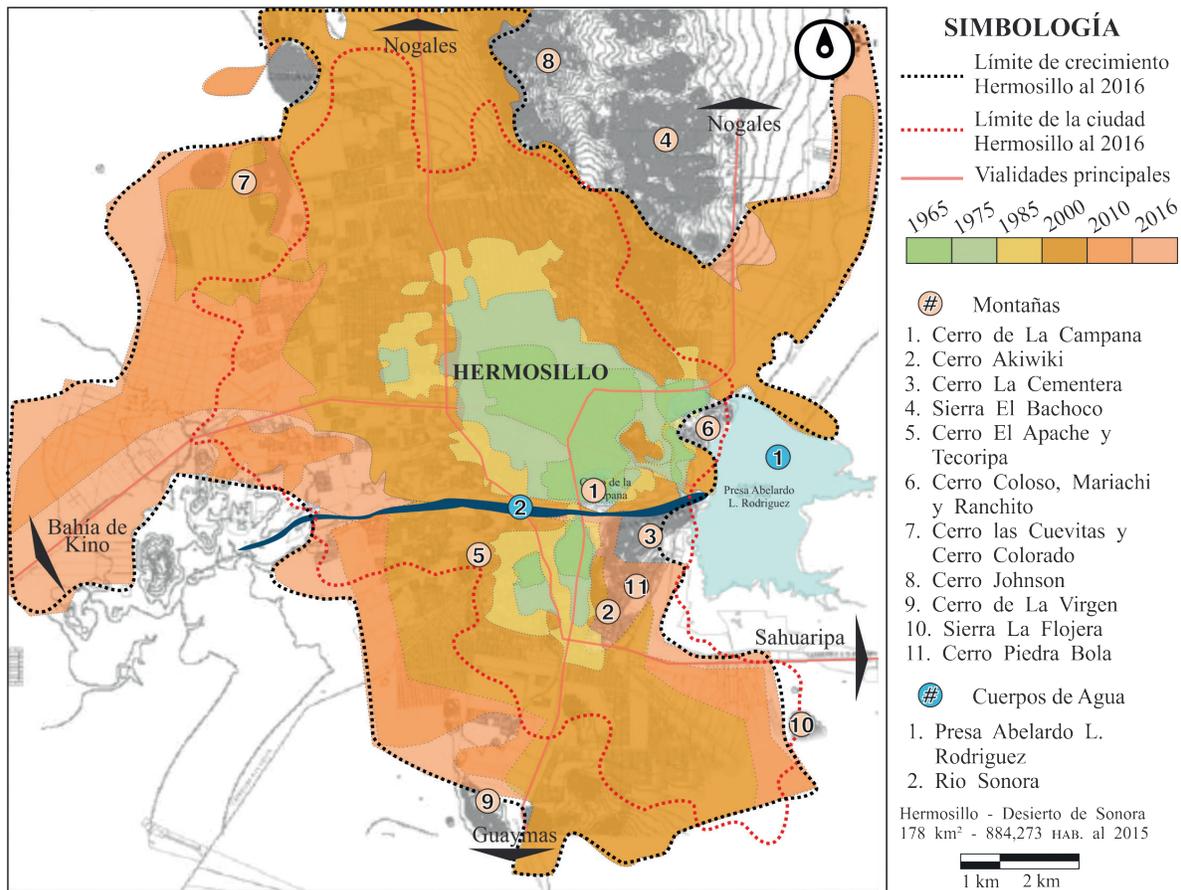
La capital de Sonora fragmentada, segmentada y desigual, al 2015 contaba con 3,675,556 m<sup>2</sup> de áreas verdes, lo cual representa el 2.08% de la superficie total urbana, traducidas en 5.14 m<sup>2</sup> de área verde por habitante (IMPLAN I. M., Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2013-2015, 2014), presentando un déficit, ya que la OMS establece un mínimo de 9 m<sup>2</sup> 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 Climáticos<sup>9</sup> 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 practica 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 ambiental<sup>10</sup> (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 cuadrícula 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 Survery, 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. píxeles. 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 re 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.

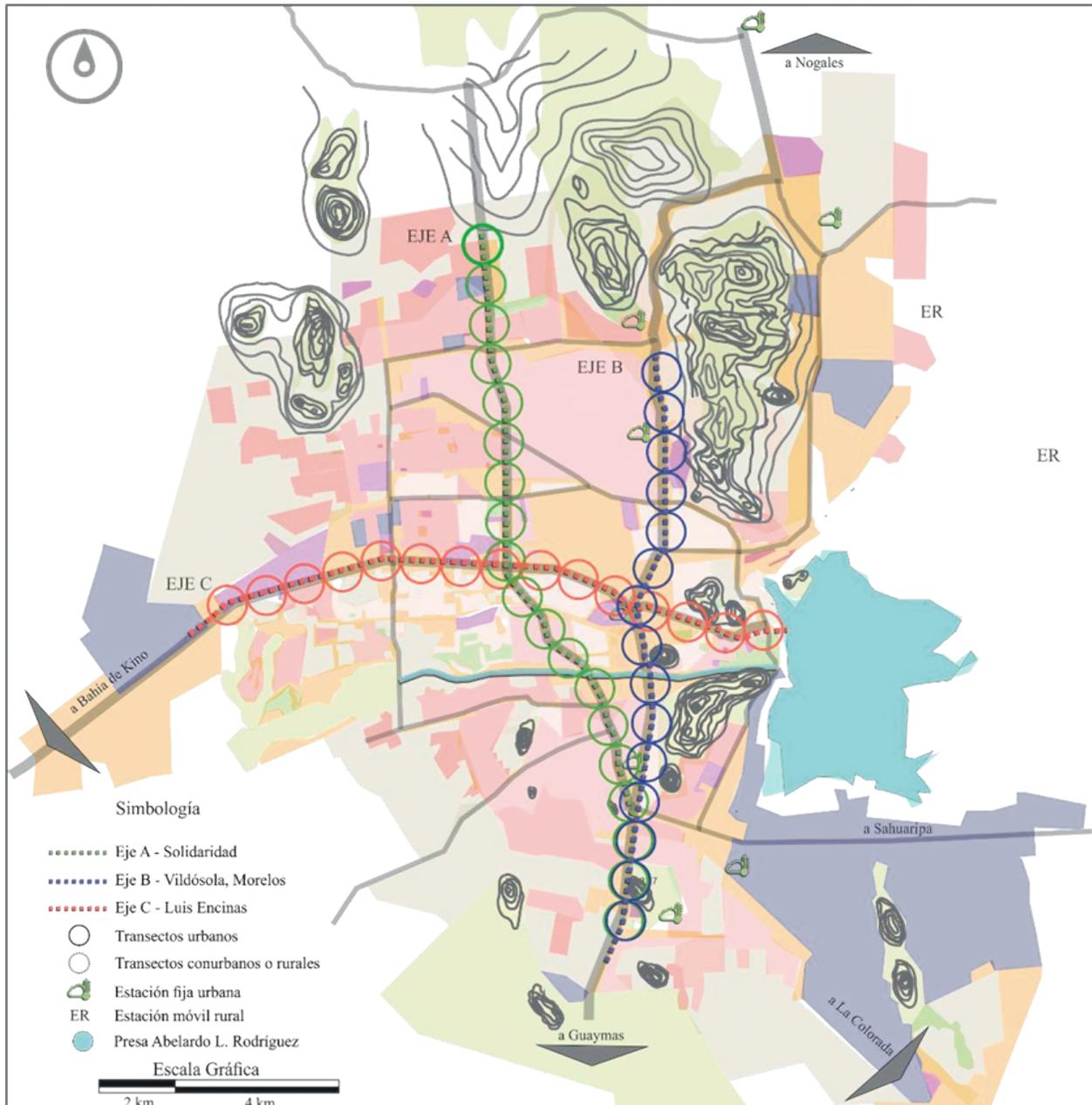
**TABLA 1**  
Temperatura del aire en transecto Solidaridad, periodo cálido

<b>9 h</b>	<b>30.1</b>	<b>30.6</b>	<b>33.3</b>	<b>34</b>	<b>34.8</b>	<b>33.8</b>	<b>34.3</b>	<b>34.8</b>	<b>34.4</b>	<b>34.3</b>	<b>34.9</b>	<b>33.7</b>	<b>36</b>	<b>35.2</b>	<b>34</b>	<b>35.5</b>	<b>35.5</b>	<b>36.6</b>	<b>37.1</b>
<b>15 h</b>	37.6	40.7	38.3	38.8	40.1	40.2	41.2	42.7	42.6	42.7	41.5	41.4	41.2	40.2	41.5	40.4	39.7	39.6	39.8
<b>21 h</b>	31.8	32.2	32.2	31.8	32.3	32.4	32.2	33	33.5	33.5	33.2	33.4	34	33.7	33.5	33.5	32.9	33.2	32.5
<b>punto</b>	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

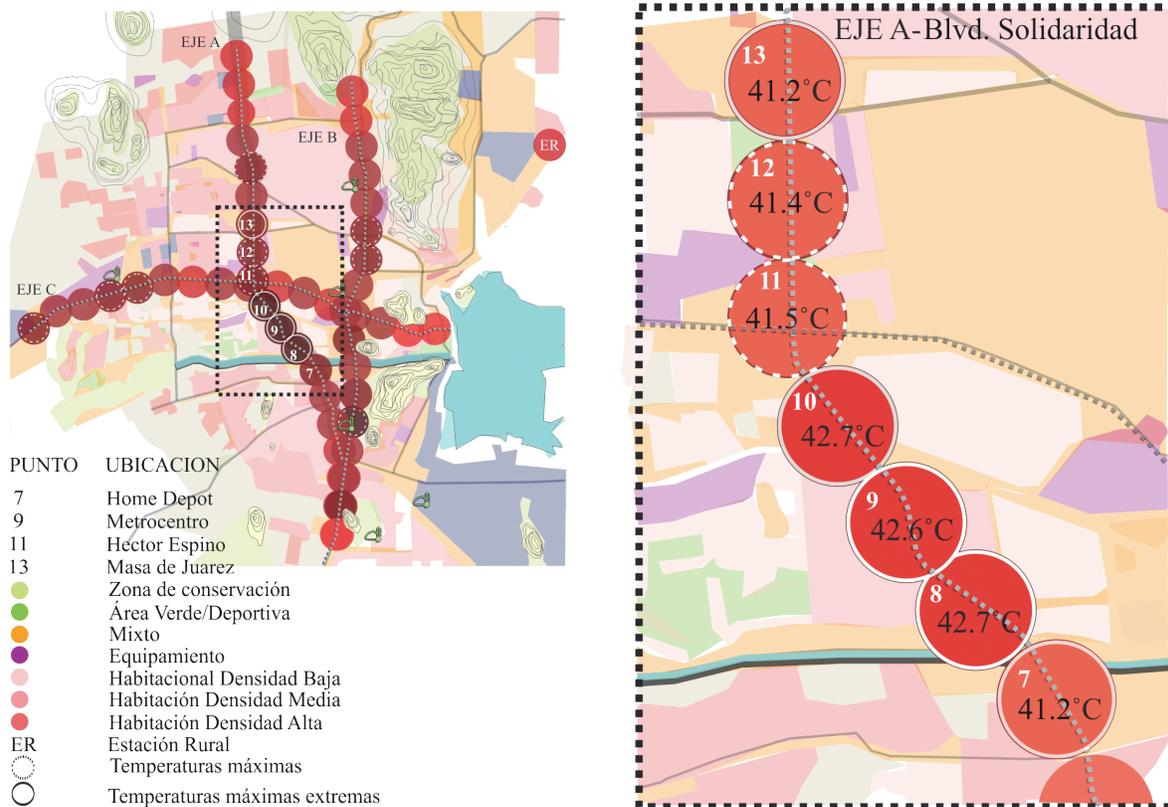
Hora	°C
9 h	30
15 h	38.9
21 h	31.4

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 muestreadas 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.

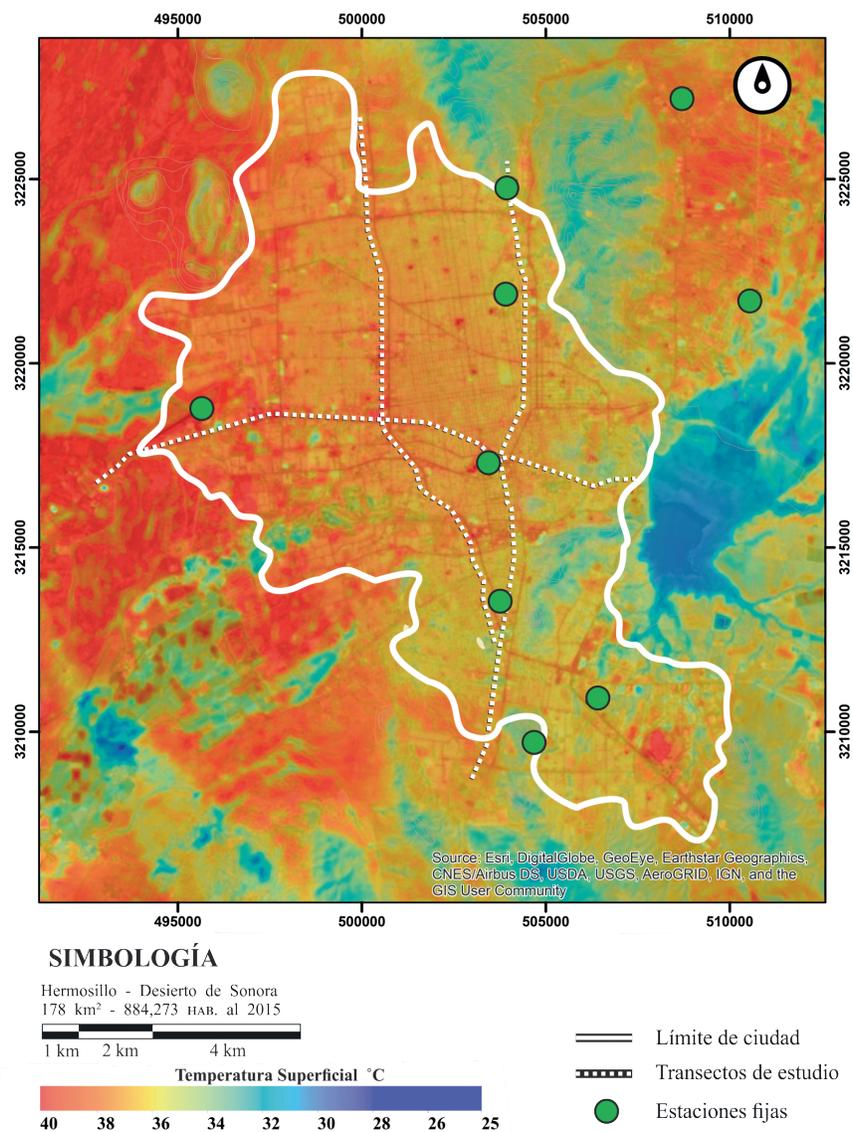
A partir de este contraste de información se generó el Isoterma de la temperatura superficial de los datos colectados en campo de transectos de la temperatura del aire y la imagen Landsat de la temperatura superficial, y con esto se plantea la presencia de varias Islas de Calor Urbana di-

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 ( $43^\circ\text{C}$ ) con respecto a la zona periurbana ( $38^\circ\text{C}$ ) 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



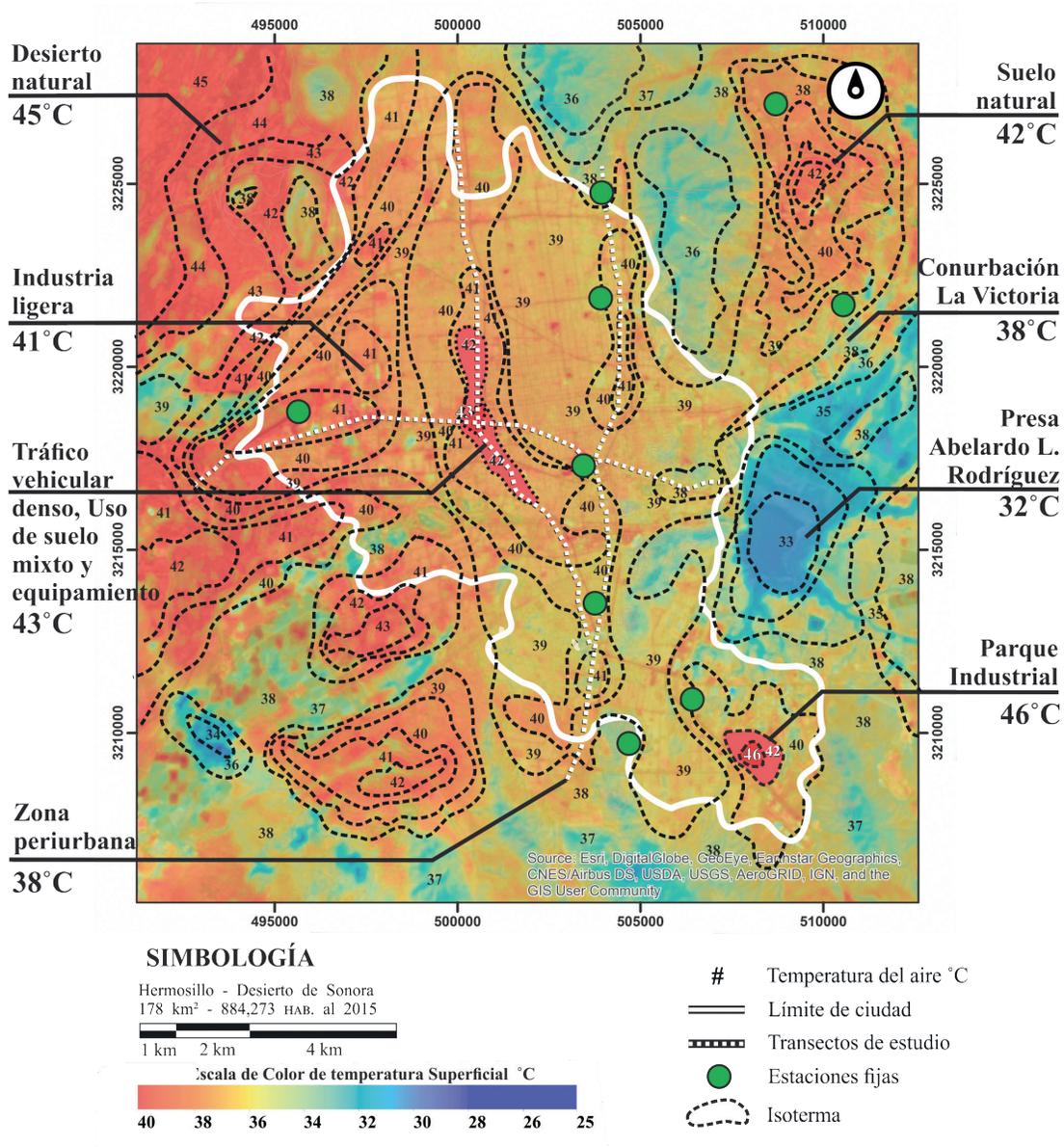
Fuente: Elaboración propia, 2019

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 CO<sub>2</sub> 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

<b>Periodo cálido</b>
$\Delta T_{u-r}$
$\Delta T = 42.6 - 45.7$
$\Delta T = -3.1$

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

**TABLA 4**

Cálculo de intensidad de ICU diurna en la zona

<b>Periodo cálido</b>
$\Delta T_{u-p}$
$\Delta T = 42.6 - 38.9$
$\Delta T = 3.7$

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-

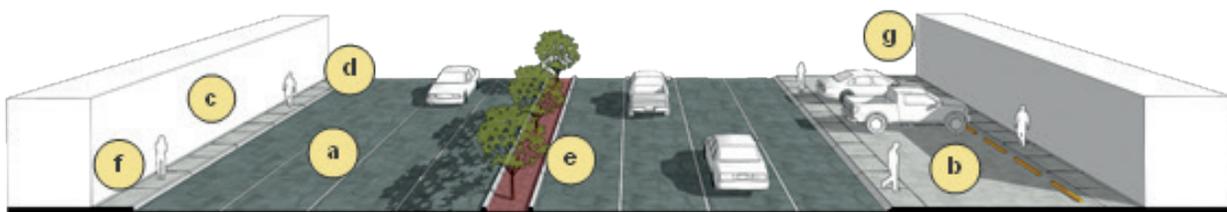
baciones y rurales para identificar características y distinciones en las principales causas que provocan la ICU dentro de la urbe y con ello ofrecer estrategias de mitigación y adaptación aplicables a tipologías climáticas regionales representativos de las ciudades áridas, considerando que habrá que 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,  $1m^2$  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  $42.7^\circ C$  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:

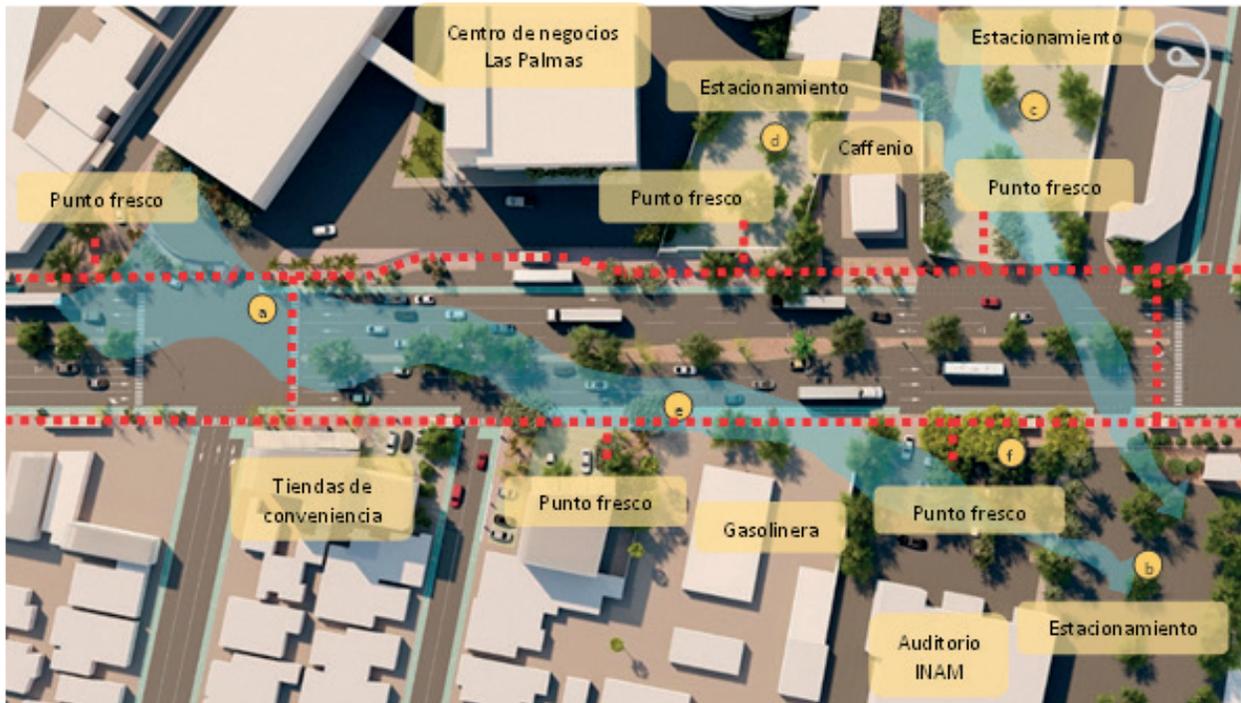
- a. Incorporar trayectorias de conectividad urbana (red peatonal) con protección solar naturales (árboles perennes) o artificiales (pergolados y lonarías), de fácil acceso entre áreas verdes, puntos frescos y edificios a menos de 20 minutos entre ellos.
- b. Incorporar en los estacionamientos de concreto 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 artificial como pergolados o lonarías 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 sombreamiento en el perímetro de los edificios con vegetación o parasoles, 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,
  - 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/m<sup>2</sup> 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 cementadas 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 microcuencas 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, hospitales.
- 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 sonoreense 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
- 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, esencia 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:[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: 11-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., & Chunchu, 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 Tecnologia do Ambiente Construido*, 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.soler.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

# Captación de agua de lluvia como alternativa para uso en agricultura urbana

## *Rainwater harvesting as an alternative for use in urban agriculture*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.197>

**RODRIGO ROBLERO HIDALGO**

<https://orcid.org/0000-0001-6361-8084> / [rodrigo-roblero@hotmail.com](mailto:rodrigo-roblero@hotmail.com)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

**JORGE FLORES VELÁZQUEZ**

<https://orcid.org/0000-0003-0895-4645> / [jorgelv@colpos.mx](mailto:jorgelv@colpos.mx)

Colegio de Postgraduados, México

Recepción: 11 de septiembre de 2021. Aceptación: 08 de noviembre de 2021.

### RESUMEN

El incremento de urbes pobladas y los actuales sistemas de drenaje potencializan la captación de agua de lluvia y su uso en agricultura urbana. El objetivo de este trabajo fue generar una metodología para estimar el volumen de captación de agua de lluvia para uso en agricultura urbana. Se estimó la superficie de dos techos urbanos con características contrastantes mediante imágenes obtenidas de la cámara transportada en un VANT. Se genera un modelo digital de superficie (MDS) y se identificaron los coeficientes de escurrimiento por subárea de captación. Con las normales climatológicas se calculó la precipitación media mensual. Se calculó el volumen de captación de agua de lluvia y se analizó su uso en el cultivo de lechuga. Los valores obtenidos de la estimación del volumen de lluvia a partir de las áreas de captación obtenidas del MDS y datos meteorológicos, permitió el análisis agronómico del cultivo.

Palabras clave: Coeficiente de escurrimiento, volumen de agua de lluvia, VANT, lechuga

### ABSTRACT

The increase in populated cities and the current drainage systems enhance the capture of rainwater and its use in urban agriculture. The objective of this work was to generate a methodology to estimate the volume of rainwater catchment for use in urban agriculture. The surface of two urban roofs with contrasting characteristics was estimated using images obtained from the camera transported in a UAV. A digital surface model (MDS) is generated and the runoff coefficients by catchment subarea were identified. With the climatological normals, the average monthly precipitation is calculated. The volume of rainwater catchment is calculated and its use in lettuce cultivation is analyzed. The values obtained from the estimation of the rainfall volume from the catchment areas obtained from the MDS and meteorological data, allowed the agronomic analysis of the crop.

Keywords: Runoff coefficient, volume of rainwater, UAV, lettuce



## INTRODUCCIÓN

Los humanos aprovechan el agua superficial como fuente primaria para satisfacer sus necesidades diversas, que van desde su consumo directo hasta su aprovechamiento como vía de transporte, por ello las primeras civilizaciones se establecieron a orillas de los ríos; con el descubrimiento de la agricultura, el hombre aprendió a valorar la lluvia; pero no dependía únicamente de ella para su supervivencia, debido a la presencia permanente del agua superficial. El crecimiento demográfico de las civilizaciones promovió el establecimiento de pueblos en zonas áridas o semiáridas, en las cuales la captación de agua de lluvia fue indispensable para el riego de cultivos y el consumo doméstico.

Existen variantes de captación del agua de lluvia (Mekdaschi-Studer y Liniger, 2013) y ejemplos ancestrales de su uso para consumo humano y riego, que incluyen obras realizadas en el desierto del Negev, en Israel y Jordania (2000 a.C.), Yemen (1000 a.C.), Roma (siglos III y IV a.C.), Yucatán, México (siglo X a.C.), Cerros, Belice (año 200 d.C.) y Campeche, México en la época precolombina (Martínez-Saldaña et al., 2011). Las experiencias internacionales actuales también demuestran que los sistemas de captación de agua de lluvia son una solución a la creciente escasez de agua en zonas rurales y urbanas, por lo que su estudio cada vez es más relevante a nivel mundial y en las dos últimas décadas los países que lideran la investigación al respecto son India, China, USA, Sudafrica y Holanda (Velasco-Muñoz et al., 2019).

Entre los estudios que se han llevado a cabo en cuencas hidrográficas están los reportados por Linsley, Kohler, y Paulus (1977), Chereque-Morán (1989), Aparicio-Mirajes (1992), Martínez-Menes et al. (2010) y Fattorelli y Fernández (2011). En relación a estudios sobre captación de lluvia con fines específicos se pueden mencionar: procesamiento en un beneficio de café (Méndez-Cubillo, 2016); almacenamiento y conservación en depresiones de terrenos para producción agrícola (Critchley y Siegert 1991; FAO, 2014; Mek-

daschi-Studer y Liniger, 2013); conservación para irrigación de cultivos mediante pequeñas obras (Critchley, Siegert, y Chapman 1991); abastecimiento para el hogar (Basán-Nickisch et al., 2018; Morales-Pinzón, 2012; Zunun-Bartolome, 2009); purificación y embotellamiento para consumo humano (Pérez-Hernández et al. 2018). Estudios específicos sobre el costo beneficio del uso de agua de lluvia para cultivos extensivos (Ghimire y Johnston, 2019).

Hay escasas de iniciativas para el uso del agua de lluvia en la agricultura urbana (Amos, Rahman, y Gathenya, 2018), posiblemente debido a la falta de estudios básicos para conocer la cantidad real de agua de lluvia que puede ser captada en lugar de dejarla correr al drenaje, especialmente en países en vías de desarrollo. La importancia de la agricultura urbana y la captación de agua de lluvia para tal fin ha sido documentada en países desarrollados como EEUU (Parece, Lumpkin, y Campbell, 2016), Australia (Amos, Rahman, Karim, et al., 2018) e Italia (Lupia et al., 2017).

El estado del arte en el tema en México incluye el estudio en zonas rurales y urbanas de los factores que afectan el diseño y adopción de los sistemas de captación: ambiental, social, económico, adopción (Salinas-Hernández, 2015) y técnico (UNATSABAR, 2001). Asimismo, en la literatura se encuentran manuales de captación que incluyen la construcción de tanques (Caballero-Aquino, 2006) y cisternas con ferrocemento. En comunidades marginadas de zonas áridas, la captación de lluvia podría ser parte de un modelo de desarrollo integral rural para producción agrícola y uso doméstico (Pedroza-Sandoval et al. 2014). En el estudio de costo beneficio de la captación de agua de lluvia en la ciudad de Morelia, se estimó un ahorro del 1 al 3% por la disminución del bombeo para el suministro del agua (Arroyo-Zambrano, 2013). Otro análisis realizado para casas de interés social, que consideró el índice energético, hídrico, social, económico y urbanístico, reveló que la cosecha de lluvia aportaría el 20% del requerimiento hídrico (Ortiz-Moreno, Arroyo-Zambrano, y Fuentes-Gutiérrez, 2015).

El agua de lluvia en la agricultura urbana presenta las siguientes ventajas principales (OPS et al., 2004): alta calidad físico química (Isla urbana, 2017); su captación se puede lograr en estructuras dispersas y alejadas entre sí; su uso genera empleo de mano de obra; su captación no requiere energía; bajo costo de mantenimiento durante su almacenamiento. Entre sus desventajas, (OPS et al., 2004) indica: alto costo inicial del acondicionamiento del área de captación y almacenamiento; el volumen cosechado depende de la precipitación pluvial y del área de captación; el espacio de captación por habitante es reducido en las zonas urbanas.

Morales-Pinzón (2012) integra información de varias ciudades del mundo relevante para la captación y el uso en el hogar del agua de lluvia, que aporta elementos valiosos que pueden ser adaptados para usar dicha agua en agricultura urbana, ya que genera un modelo matemático de la demanda de acuerdo a los usos de agua en el hogar, calcula el potencial de lluvia en una subcuenca y el volumen almacenado, y considera la dureza del agua para los análisis ambientales y económicos respectivos.

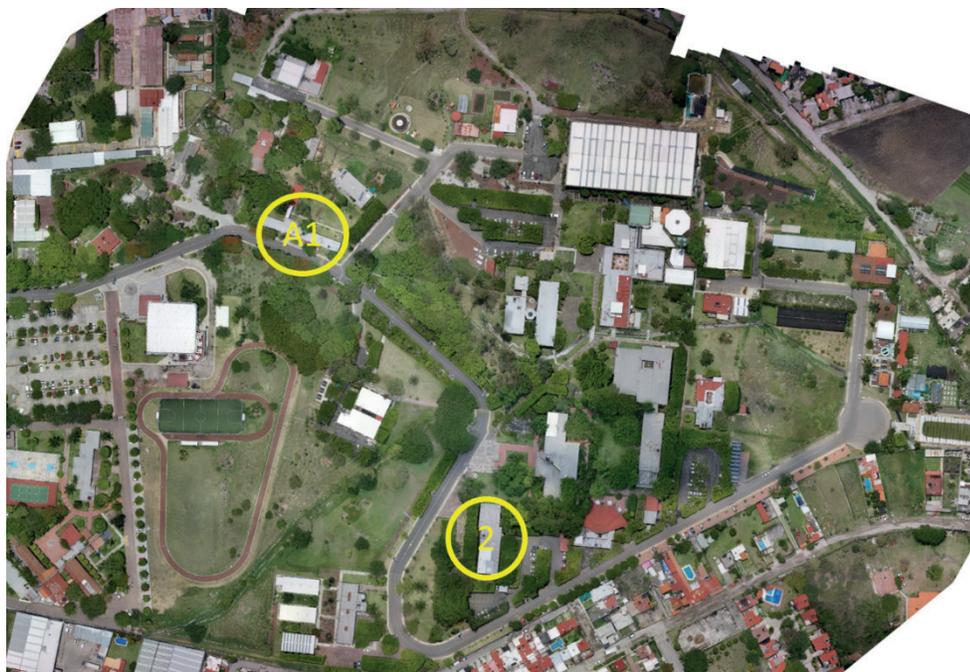
En el aprovechamiento del agua de lluvia para agricultura urbana, es indispensable estimar el potencial de cosecha de lluvia en función de los espacios disponibles para su captación. Los métodos actuales dimensionan y tipifican las áreas de captación de forma manual. En este contexto el desarrollo de modelos y metodologías para la implementación de la cosecha de agua cada día es más relevante (Rahman, 2017). Por ello el objetivo del presente estudio es generar un ortomosaico y un modelo digital de superficie con el apoyo de un dron, que caracterice la superficie de techos urbanos, de utilidad en la estimación del volumen de lluvia cosechada con fines de uso en agricultura urbana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Jiutepec, Morelos, usando como áreas de captación los techos de dos edificios, figura 1, pertenecientes al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Los equipos y materiales usados fueron: VANT DJI Phantom 4 pro, cámara digital, figura 2, compu-

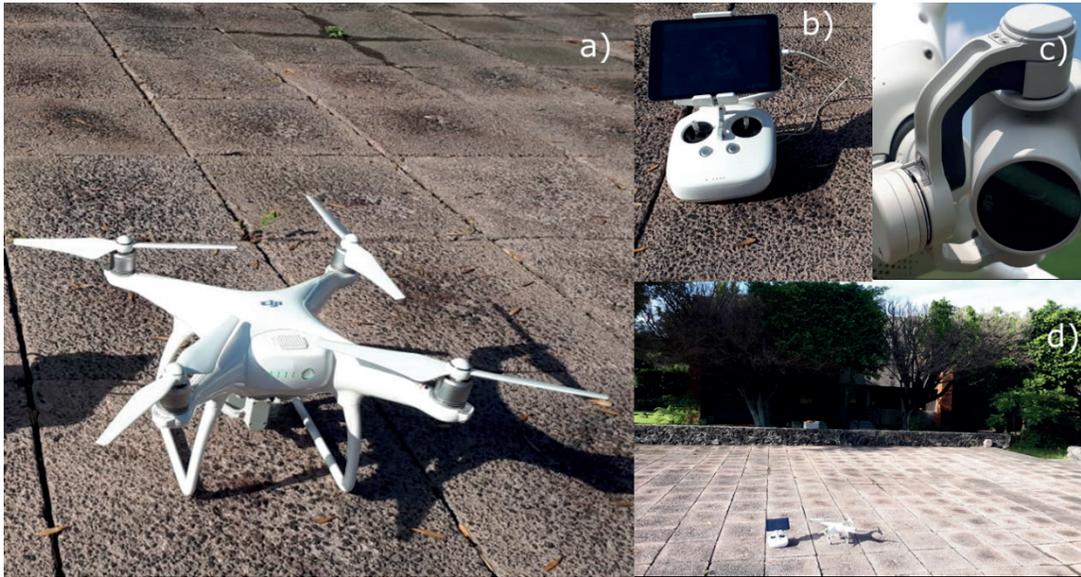
**FIGURA 1**

Ubicación de los edificios A1 y 2 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



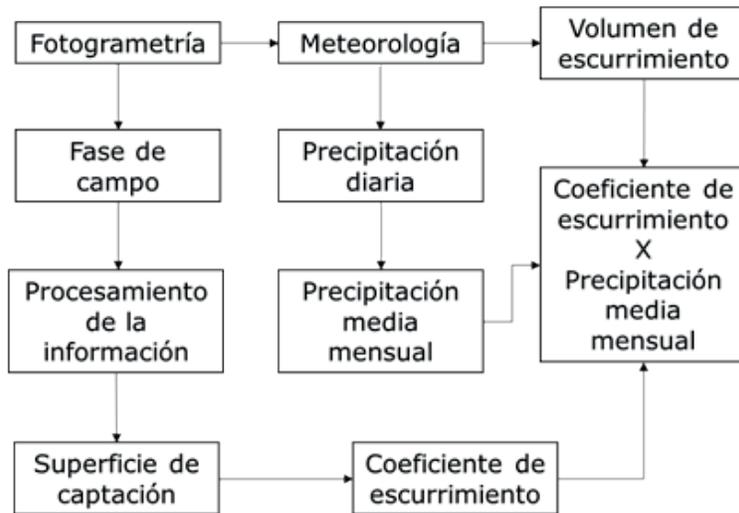
**FIGURA 2**

Dron (a), control (b), carga útil (c) y zona de despegue (d).



**FIGURA 3**

Metodología para determinar el volumen de escurrimiento para captación de agua de lluvia en agricultura urbana.



tadora y software, flexómetro y cinta de 100 m. El diagrama metodológico para cumplir el objetivo planteado se presenta en la figura 3.

## FOTOGRAMETRÍA

La fase de campo consistió en la obtención de imágenes digitales y longitudes, éstas con mediciones manuales (control), de las aristas de las

azoteas de los edificios, figura 4. Con la cámara acoplada al VANT volando a 30 m de altura se obtuvieron 39 (187 Mb) y 52 (278 Mb) imágenes con resolución de 0.82 cm por pixel de los techos A1 y 2, respectivamente. Las fotografías fueron obtenidas con 80% de traslape. Para el primer techo, el equipo sobrevoló el área equivalente a 42 m x 80 m, con un recorrido total de 314 m, distribuido en 4 líneas de vuelo, en un tiempo de vuelo de 3'40". En el otro techo, el dron cubrió el

área equivalente a 57 m x 97 m con una trayectoria de 784 m, distribuida en 5 líneas, en un tiempo de vuelo de 4'33".

Se usó el software Agisoft Metashape Pro versión 1.5 de prueba (Agisoft LLC 2019) para el procesamiento de imágenes, obtención del ortomosaico y generación del modelo digital de superficie (MDS) georreferenciado en UTM 14N, con el cual se estimaron las longitudes de las aristas de las azoteas. Con estos datos se calculó el área de captación de cada azotea.

### METEOROLOGÍA

Los datos de precipitación diaria usados en el presente estudio corresponden a la estación meteorológica con clave 17071 denominada Progreso IMTA, que se encuentra en las instalaciones del IMTA, con coordenadas (X= 99° 9'31"O, Y= 18°53'04"N, Z= 1,372.2 msnm). Se generó la base de datos con la lluvia del periodo de 05/01/1982 al 22/05/2019 obtenida de SMN (2017) y del registro de la estación meteorológica (2017-2019).

Las ecuaciones (1 a 5) usadas en el análisis de la precipitación (Chávez 2010), para conocer la precipitación media mensual y anual, se presentan a continuación:

Precipitación mensual del año k:

$$Pr_{jk} = \sum_{i=1}^{NDM_j} Pr_{ijk} \quad 1$$

Precipitación anual del año k:

$$Pr_k = \sum_{j=1}^{12} Pr_{ijk} \quad 2$$

Precipitación media mensual, mes j:

$$\overline{Pr_j} = \frac{\sum_{k=1}^{NAR} Pr_{jk}}{NAR} \quad 3$$

Precipitación promedio mensual:

$$\overline{Pr} = \frac{\sum_{j=1}^{12} \overline{Pr_j}}{12} \quad 4$$

Precipitación media anual:

$$\overline{Pr_{anual}} = \frac{\sum_{k=1}^{NAR} Pr_k}{NAR} \quad 5$$

Donde:

$Pr_{ijk}$  = Precipitación del día i del mes j, año k, en mm.

$i$  = Número del día del mes j ( $i = 1, 2, 3, \dots, NDM_j$ ).

$j$  = Número de mes ( $j = 1, 2, 3, \dots, 12$ ).

$k$  = Número de año ( $k = 1, 2, 3, \dots, NAR$ ).

$NDM_j$  = Número de días del mes j (28, 29, 30 ó 31).

$NAR$  = Número de años de registro.

La disponibilidad de precipitación, media mensual y anual, se calculó con base en FAO (2014) y Pizarro et al. (2015).

FIGURA 4

Medición manual *in situ* (a) y ortomosaico asistido con dron (b).



## COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El volumen de escorrentía puede ser menor al volumen de lluvia en función de las características de la superficie y de la precipitación. El valor que resulta al comparar dichos valores se llama coeficiente de escurrimiento, el cual se determina con la ecuación 6 (Monsalve-Sáenz, 1995; Breña-Puyol y Jacobo-Villa, 2006; Martínez de Azagra-Paredes, 2006; FAO, 2013).

$$Ce = \frac{E}{P} \quad 6$$

Donde:

Ce= Coeficiente de escurrimiento, adimensional o a 1.

E= Escurrimiento expresado en lámina, mm.

P= Precipitación, mm.

Los valores del Ce varía de 0 y 1 indicando que toda la precipitación es retenida en el área de captación y que toda la precipitación es escorrentía, respectivamente (Martínez de Azagra-Paredes, 2006).

Los valores del coeficiente de escurrimiento son producto de diversos factores como: tipo (lluvia, nieve o granizo), cantidad, intensidad y distribución de precipitación en el tiempo; humedad inicial de la superficie; tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, material, grado de compactación, pendiente, relieve, rugosidad); intercepción producida por la cubierta vegetal; lapso de tiempo (minutos, horas, días, meses, año). En este caso la cantidad de lluvia y tipo de terreno (material del techo) son importantes con el objetivo de captar agua de lluvia en las azoteas. En el cuadro 1 se presentan los Ce para captación de agua de lluvia para diferentes superficies de azoteas con base en diferentes fuentes.

En el presente estudio, se usó el coeficiente de escurrimiento promedio ponderado (Fattorelli y Fernández, 2011) y (Breña-Puyol y Jacobo-Villa, 2006), con base en los Ce que más se utilizan en la estimación de la captación de agua de lluvia, cuadro 1.

A partir de cada subárea y su coeficiente de escurrimiento, asignado con base en el cuadro 1, se determinó el coeficiente de escurrimiento ponderado (Campos-Aranda, 2010; SCT, 2000; Chow, Maidment, y Mays, 1994; Breña-Puyol y Jacobo-Villa, 2006) con la ecuación 10.

$$Ce = \frac{\sum_{i=1}^n Ce_i * a_i}{A} \quad 10$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento ponderado, adimensional o a 1.

Ce<sub>i</sub> = Coeficiente de escurrimiento del área individual, adimensional o a 1.

a<sub>i</sub> = Área individual, m<sup>2</sup>.

A = Área total de la superficie de captación, m<sup>2</sup>.

n = Número de áreas individuales consideradas, entero positivo consecutivo 1, 2, ...

## VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

Para calcular el volumen potencial de escurrimiento (captación de agua de lluvia), se usó la ecuación 11.

$$V_{jk} = Ce_{ponderado} * A_{Total} * Pm \quad 11$$

Donde:

V<sub>jk</sub> = Volumen medio mensual potencial a captar, m<sup>3</sup>.

Ce<sub>ponderado</sub> = Coeficiente de escurrimiento ponderado, adimensional.

A<sub>Total</sub> = Área total de captación, m<sup>2</sup>.

Pm = Precipitación media mensual, m.

## RESULTADOS

### ÁREAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Con el MDS se determinaron las longitudes de las aristas de los techos y se compararon con las determinadas mediante el procedimiento manual. Se observó que las diferencia entre valores generados por ambos métodos es muy cercana a cero, cuadro 2.

**CUADRO 1**

Coeficientes de escurrimiento para captación de agua de lluvia

Superficie	Coeficiente*	Fuente
Concreto	0.6-0.9	(CONAGUA, 2016)
Pavimento	0.5-0.6	(Pizarro et al., 2015)
Geomembrana (PVC)	0.85-0.95	(CONAGUA, 2016)
Azulejos, teja	0.8-0.9	(CONAGUA, 2016), (OPS et al., 2003), (Solano et al., 2017)
Lámina acanalada	0.7-0.9	(CONAGUA, 2016), (OPS et al., 2003), (Solano et al., 2017)
Calles asfaltadas	0.85	(SE, 2013)
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75	(SE, 2013)
Terrazas	0.6	(SE, 2013)
Adoquín sin juntear	0.6	(SE, 2013)
Terracerías	0.4	(SE, 2013)
Tejado duro inclinado	0.8	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Tejado plano sin gravilla	0.8	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Tejado plano con gravilla	0.6	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Tejado verde intensivo	0.3	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Tejado verde extensivo	0.5	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Superficie empedrada/superficie con empedrado compuesto	0.5	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Revestimiento asfáltico	0.8	(ESPA, 2002), (Lluís-Huguet et al., 2016)
Madera	0.8-0.9	(OPS et al., 2003), (Solano et al., 2017)
Paja	0.6-0.7	(OPS et al., 2003), (Solano et al., 2017)

\*(ESPA, 2002) usa el nombre de coeficiente de rendimiento de la superficie de captación.

**CUADRO 2**

Longitudes de las aristas de las azoteas de dos edificios obtenidas con dos métodos.

N <sup>o</sup>	A1 (Anexo 1)				2 (Riego y drenaje)			
	Manual	MDS	Ubicación	Dif*	Manual	MDS	Ubicación	Dif*
	m			m	m			m
1	51.17	51.00	oeste	0.17	12.80	12.90	este	-0.10
2	6.30	6.40	sur	-0.10	15.50	15.60	norte	-0.10
3	29.30	29.40	este	-0.10	1.78	1.79	oeste	-0.01
4	3.20	3.10	sur	0.10	28.68	28.80	norte	-0.12
5	7.30	7.14	este	0.16	12.80	12.80	oeste	0.00
6	8.00	7.96	sur	0.04	30.26	30.40	sur	-0.14
7	2.10	2.21	oeste	-0.11	1.95	1.87	este	0.08
8	14.40	14.20	sur	0.20	14.00	14.00	sur	0.00
9	6.50	6.55	este	-0.05	4.64	4.58	Cuarto de máquinas, sur	0.06
10	14.00	14.10	norte	-0.10	7.40	7.46	Cuarto de máquinas, este	-0.06
11	1.70	1.68	oeste	0.02	4.32	4.35	Distancia entre puntos 6 y 10	-0.03
12	11.50	11.50	norte	0.00	2.74	2.75	Cuarto de tanque de agua, este	-0.01
13	13.30	13.30	oeste	0.00	4.16	4.20	Cuarto de tanque de agua, sur	-0.04
14	5.10	5.05	norte	0.05				

\*Dif, Diferencia = valor Manual – valor MDS

La comparación estadística entre las longitudes obtenidas manualmente y con el modelo digital de superficie indicó que, éste último generó estadísticamente las mismas longitudes que el procedimiento manual, Figura 5. Con base en este resultado, el modelo digital de superficie se usó para estimar superficies en cada uno de los techos, cuya heterogeneidad de la superficie se debió al tipo de material con que fueron construidas o recubiertas. Los valores obtenidos se presentan en el cuadro 3.

### DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La distribución de la precipitación en el área de estudio, se determinó para un periodo de retorno

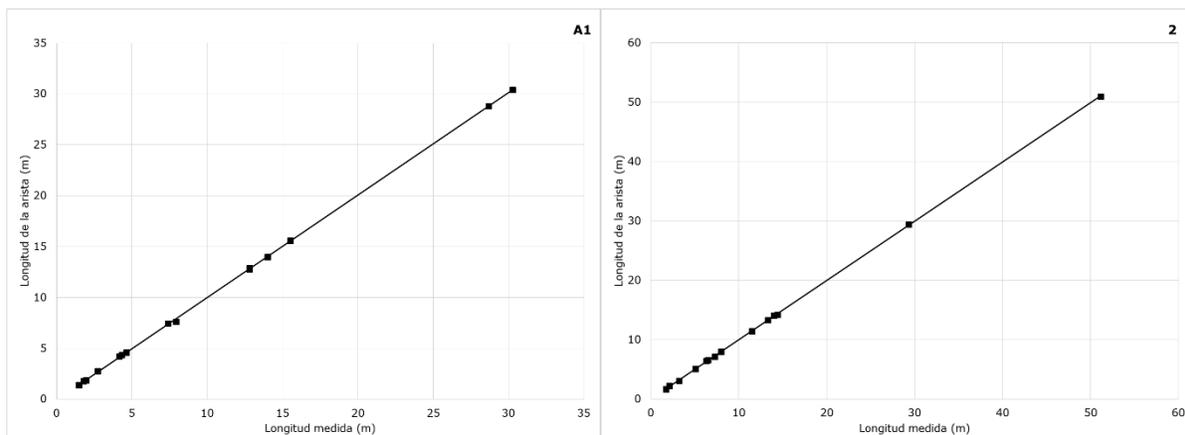
de 2 años, figura 6, la cual también muestra tres épocas de lluvia conocidas como seca, húmeda y sequía intraestival, que ocurren en noviembre-abril, mayo-octubre y junio-septiembre, respectivamente. El promedio de precipitación del periodo húmedo (1056 mm) es superior al promedio nacional de 740 mm (CONAGUA, 2018).

### VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

Además de conocer el área de captación y la precipitación disponible, fue indispensable determinar y asignar un valor de  $C_e$  para cada subárea de la azotea de cada edificio, cuadro 4. Los cuadros 4 y 5 muestran que los techos de ambos edificios usados en el presente estudio son contrastantes

FIGURA 5

Comparación de las longitudes de las aristas de los edificios (A1 y 2) obtenidas manualmente y con el modelo digital de superficie.



Edificio	Modelo	Bo	B1	R <sup>2</sup>	CV, %	n
A1	$Y_{A1} = B_0 + B_1X$	0.00559	0.99794	0.99	0.87	14
	Pr > F: <.0001	0.8914	<.0001			
2	$Y_2 = B_0 + B_1X$	-0.02071	1.00524	1.0	0.42	13
	Pr > F: <.0001	0.3149	<.0001			

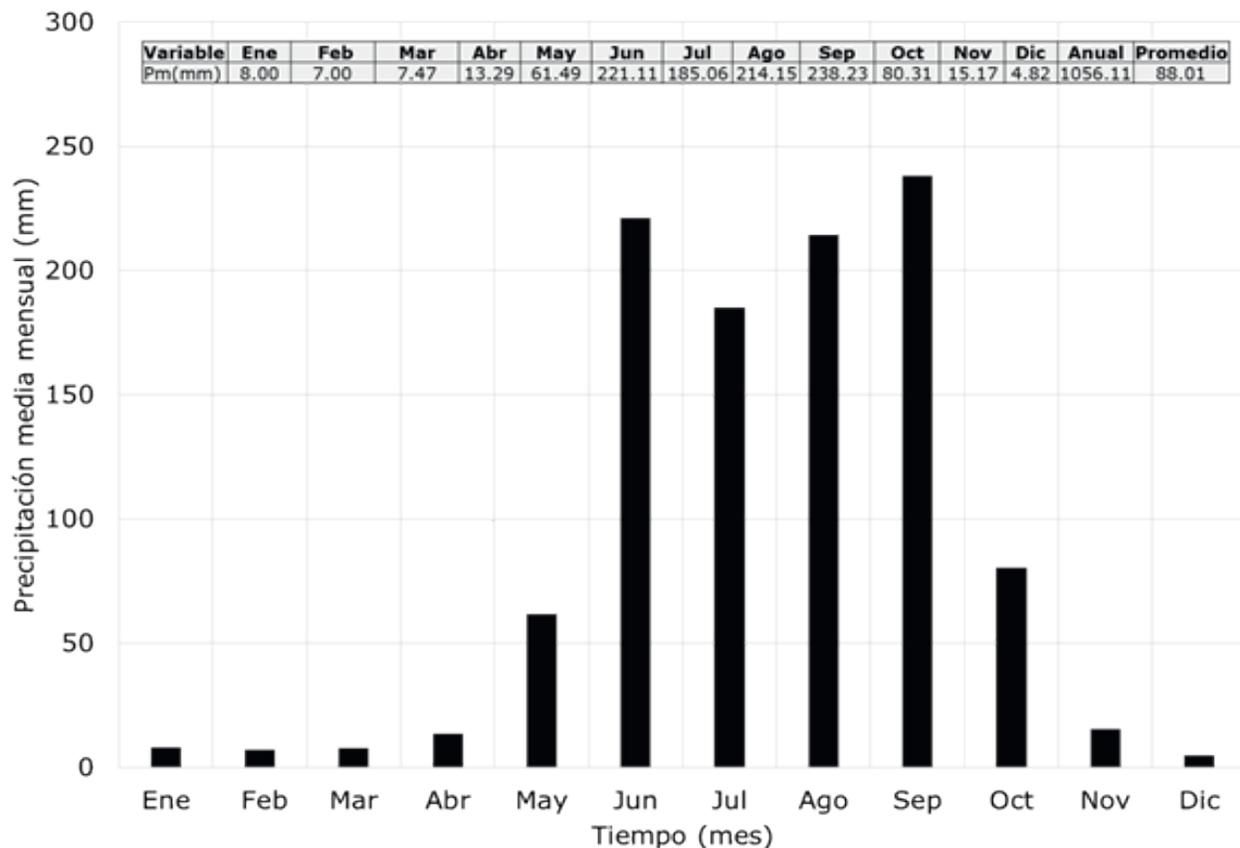
CUADRO 3

Subáreas determinadas en los techos de los edificios.

Subárea	Unidades	A1 (Anexo 1)		2 (Riego y drenaje)	
A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	12.00	Tragaluz de policarbonato	38.77	Lámina acanalada
A <sub>2</sub>		454.06	Superficie revestida de impermeabilizante rojo	11.97	Concreto
A <sub>3</sub>				521.21	Superficie revestida de impermeabilizante rojo
A <sub>Total</sub>		466.06		571.95	

**FIGURA 6**

Precipitación media mensual en la estación meteorológica 17071-Progreso



en su tamaño y  $C_e$ . Esta situación es importante ya que la presente metodología pretende ser útil para los diferentes techos, con los cuales se pueden contar en un proyecto de captación de agua de lluvia para diferentes usos en zonas urbanas.

El volumen de escurrimiento se calculó a partir del área total de captación de cada edificio ( $A_1=466.06 \text{ m}^2$  y  $2=571.95 \text{ m}^2$ ) multiplicada por su coeficiente de escurrimiento ponderado (0.8) y la lámina de agua de lluvia. Los volúmenes de cap-

tación de agua de lluvia, obtenidos para un periodo de retorno de 2 años, se presentan en el cuadro 4 y figura 7. En esta se aprecia que los meses con menor volumen cosechado de agua son noviembre-abril, que corresponden a la época seca, y los meses con mayor volumen de captación de agua son mayo-octubre, correspondientes a la época húmeda. Esta tendencia es coincidente con la precipitación mensual que se presentó en la figura 6.

**CUADRO 4**

Coeficiente de escurrimiento asignado a cada subárea del techo de los edificios.

Subárea y $C_e$	A1 (Anexo 1)		2 (Riego y drenaje)	
A1	0.90	Tragaluz de policarbonato	0.90	Lámina acanalada
A2	0.80	Superficie revestida	0.70	Concreto
A3			0.80	Superficie revestida
$C_{e \text{ ponderado}}$	0.80		0.80	
$A_{\text{Total}}$	466.06		571.95	

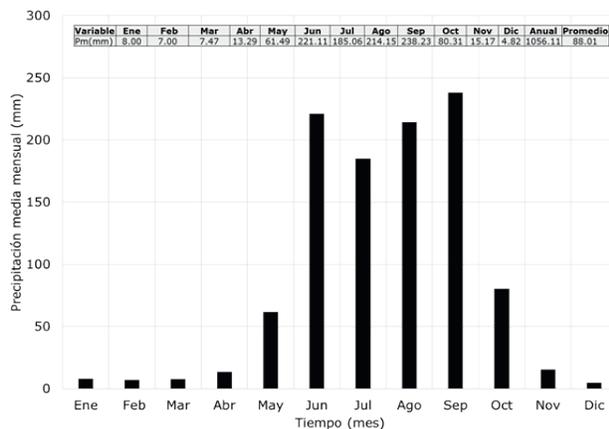
**CUADRO 5**

Precipitación y volumen mensual de agua cosechada en las áreas de captación de los edificios A1 (Anexo 1) y 2 (Riego y drenaje).

Mes	Precipitación*		A1	2
	mm	m		
	m <sup>3</sup>			
Enero	8.00	0.01	2.99	3.68
Febrero	7.00	0.01	2.62	3.22
Marzo	7.47	0.01	2.79	3.44
Abril	13.29	0.01	4.97	6.12
Mayo	61.49	0.06	23.00	28.30
Junio	221.11	0.22	82.71	101.76
Julio	185.06	0.19	69.22	85.17
Agosto	214.15	0.21	80.10	98.56
Septiembre	238.23	0.24	89.11	109.64
Octubre	80.31	0.08	30.04	36.96
Noviembre	15.17	0.02	5.67	6.98
Diciembre	4.82	0.00	1.80	2.22
Anual	1,056.11	1.06	395.04	486.07
Media mensual	88.01	0.09	32.92	40.51

**FIGURA 7**

Escurrimiento medio mensual para captación de agua de lluvia, en los edificios A1 y 2.



Con la cuantificación del volumen potencial de agua de lluvia distribuida durante el año es posible calcular la capacidad de almacenamiento de agua necesaria para diferentes usos, tales como riego de plantas, uso doméstico, uso industrial y consumo humano, entre otros.

La aplicación de la presente metodología basada en la generación de un modelo digital de superficie para calcular el área y características de los techos urbanos como área de captación de

agua de lluvia es una innovación. Otros estudios se han focalizado en la generación de modelos digitales con información colectada mediante imágenes LIDAR para el cálculo de áreas y caracterización de techos en la instalación de sistemas fotovoltaicos (Palmer et al., 2018), en la medición de áreas con sombra de las techumbres con el fin de estimar la superficie disponible para captar la energía solar (Yousuf, Siddiqui y Rehman, 2018) y en la caracterización de ellos mediante aprendizaje máquina (machine learning) (Mohajeri et al., 2018). Asimismo, se han realizado modelos digitales de superficie para fines catastrales (Fontalvo-Jaraba et al., 2018).

La información para calcular áreas de techos urbanos para cosechar agua como insumo para agricultura urbana es escasa. Por ello, la metodología propuesta a partir de la generación de un modelo digital de superficie para identificar sus características relacionadas con el coeficiente de escurrimiento y estimar el área de captación, así como el volumen potencial disponible, con base en el análisis meteorológico, adquiere relevancia ante la demanda creciente de alimentos (Lupia et al., 2017).

La planeación de producción ininterrumpida de cultivos es considerada una ventaja de la agricultura urbana (de Anda y Shear, 2017). Para probar este propósito es necesario primero contar con datos básicos del requerimiento hídrico del cultivo. En el presente estudio se complementan los resultados de la presente investigación mediante su aplicación al cultivo de lechuga.

La lámina de lluvia mensual oscila de 0.4 a 23.8 cm durante el año, con un promedio anual de 8.8 cm. En condiciones de invernadero, el consumo hídrico de la lechuga varía de 0.8 l día<sup>-1</sup> en otoño (Defilipis et al., 2006), hasta casi 2 l día<sup>-1</sup> en primavera. En cultivo de esta especie requiere 8 cm de lámina de riego por ciclo (Escarabajal-Henarejos et al., 2015). En hidroponía y con recirculación de agua dicho requerimiento puede disminuir 20 % (Barbosa et al., 2015).

Para el cultivo de ornamentales, principalmente *sedum spp.* donde el consumo fue estimado en 0.9 mm diarios (Flores-Velázquez, Rojano y Aguilar,

2019) el volumen de captación de agua de lluvia es suficiente para mantener siempre el riego.

El volumen de agua de lluvia disponible, captada en ambos edificios, puede aplicarse de acuerdo a las condiciones de cultivo y distribución de la precipitación: a). a campo abierto, en la época de estiaje; b). en invernadero, durante un ciclo. c). en hidroponía, de manera continua en el año. En cualquiera de estas situaciones es importante considerar el almacenamiento del agua de lluvia.

Es importante diferenciar el periodo húmedo (mayo-octubre), ya que en este se puede obtener el mayor potencial de producción; y considerar que en el periodo seco (noviembre-abril) es menor y dependería del almacenamiento. Ambos casos son una limitante ya que en ambos casos depende de la precipitación, poniéndola en la misma condición que en la agricultura de temporal; sin embargo, con las estructuras de almacenamiento permitirían amortiguar el estrés hídrico, es por ello que la relación del volumen del almacenamiento es la función óptima y estará sujeta a la demanda.

El volumen potencial de agua cosechada en el lugar de estudio requiere de una cisterna con capacidad de 395.04 m<sup>3</sup> para el edificio A1 y de 486.07 m<sup>3</sup> para el edificio 2. Sin embargo, con el fin de optimizar la inversión se debe considerar un manejo integral del sistema de oferta y demanda, ya que no es necesario almacenar la lluvia total anual para su uso conforme al requerimiento hídrico de lechuga. Más aun, en un sistema hidropónico vertical o *indoor*, el volumen captado es suficiente para obtener una producción continua durante los meses de lluvia, figura 8 y el tamaño del reservorio sería proporcional al tiempo que se desee seguir cultivando.

Otra opción dentro del manejo integral de los sistemas de captación de agua de lluvia es estimar la disponibilidad diaria de agua con base en el total de agua cosechada en el año, lo cual requiere de estimar el tamaño de cisterna, que permita almacenar el excedente que ocurre en algunos meses para usarlo en la época de escasa precipitación (noviembre -abril).

El resultado final de estos estudios, complementan la información para llegar al diseño, de los sistemas de captación de agua de lluvia (OPS, OMS y CEPIS, 2003), considerando las partes que los conforman de acuerdo a (Isla urbana, 2017): techo, bajantes, canaletas, tlaloque, filtro de hojas, cisterna y filtros.

## CONCLUSIONES

Mediante este estudio, se logró generar una metodología para estimar el volumen de agua de lluvia para captación de techos urbanos con uso en la producción de la agricultura urbana, con el apoyo de la información obtenida por imágenes de un VANT, que mediante el procesamiento fotogramétrico se obtuvo un MDS y un ortomosaico. Permiten estimar el área de captación y el coeficiente de escurrimiento variable para cada área. Se logró, con la información de precipitación diaria, formar la matriz de promedios mensuales, identificando la época húmeda y seca, que es importante para la planeación del sistema agronómico. Se obtuvieron los volúmenes de captación de agua de lluvia para cada edificio y se propuso el sistema de producción del cultivo de lechuga en hidroponía, logrando satisfacer su demanda hídrica.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, por el apoyo en el proyecto interno no. RD1902.1, titulado: Evaluación de horticultura vertical en el IMTA en apoyo a la gestión integrada del agua a nivel de edificaciones en zonas urbanas.

## CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con la información en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft LLC. 2019. "Agisoft Metashape Pro".
- Amos, Caleb Christian, Aatur Rahman, y John Mwangi Gathenya. 2018. "Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries: A case study of Australia and Kenya". *Journal of Cleaner Production* 172:196–207.
- Amos, Caleb Christian, Aatur Rahman, Fazlul Karim, y John Mwangi Gathenya. 2018. "A scoping review of roof harvested rainwater usage in urban agriculture: Australia and Kenya in focus". *Journal of Cleaner Production* 202:174–90.
- de Anda, José, y Harvey Shear. 2017. "Potential of vertical hydroponic agriculture in Mexico". *Sustainability (Switzerland)* 9(1).
- Aparicio-Mirajés, Francisco J. 1992. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Primera re. editado por Editorial Limusa. México, D.F., México.
- Arroyo-Zambrano, Tania Isabel. 2013. "Colecta de agua pluvial como medida para el uso eficiente de la energía y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> análisis económico y ambiental". Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Barbosa, Guilherme Lages, Francisca Daiane Almeida Gadelha, Natalya Kublik, Alan Proctor, Lucas Reichelm, Emily Weissinger, Gregory M. Wohlleb, y Rolf U. Halden. 2015. "Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(6):6879–91.
- Basán-Nickisch, Mario, Luciano Sánchez, Rubén Tosolini, Fabián Tejerina-Díaz, y Patricia Jordan. 2018. "Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura". *Aqua-LAC* 10(1):15–25.
- Breña-Puyol, Agustín Felipe, y Marco Antonio Jacobo-Villa. 2006. *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Coordinaci. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Caballero-Aquino, Tertuliano. 2006. *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Campos-Aranda, Daniel Francisco. 2010. *Introducción a la Hidrología Urbana*. Primera ed. editado por D. F. Campos-Aranda. San Luis Potosí, México, S.L.P., México: Printego, San Luis Potosí, México.
- Chávez, Morales Jesús. 2010. *Curso de Hidrología Superficial*. Primera ed. Montecillo, Texcoco, Edo. de México: Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Chereque-Morán, Wendor. 1989. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Pontificia. Lima, Perú: CONCYTEC.
- Chow, V., D. Maidment, y L. Mays. 1994. *Hidrología aplicada*. McGraw Hil. Santafé de Bogotá, Colombia.
- CONAGUA. 2016. *Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*. 1. México, D.F.
- CONAGUA. 2018. *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Ciudad de México.
- Critchley, Will, y Klaus Siegert. 1991. *Water harvesting*. Roma, Italia.
- Critchley, Will, Klaus Siegert, y C. Chapman. 1991. *Water harvesting*. AGL/MISC/17/91. Roma, Italia.
- Defilipis, C., S. Pariani, A. Jimenez, y C. Bouzo. 2006. "Respuesta al riego de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero". <https://www.researchgate.net/publication/228910447> (January 2006):8. Recuperado ([http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/43275935/Respuesta\\_al\\_riego\\_de\\_lechuga\\_Lactuca\\_s20160302-29062-v5cwe4.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1491015031&Signature=e1GCZ5HumIOvitbE4VL%252BNNxXMjI%253D&response-content-disposition=inl](http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/43275935/Respuesta_al_riego_de_lechuga_Lactuca_s20160302-29062-v5cwe4.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1491015031&Signature=e1GCZ5HumIOvitbE4VL%252BNNxXMjI%253D&response-content-disposition=inl)).
- Escarabajal-Henarejos, D., J. M. Molina-Martínez, D. G. Fernández-Pacheco, F. Cavas-Martínez, y G. García-Mateos. 2015. "Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce". *Agricultural Water Management* 151:148–57.
- ESPA, Innovative Water Solutions. 2002. *Aprovechamiento agua de lluvia*. España.
- FAO. 2013. *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO. Santiago, Chile.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. *Feasibility Study of Rainwater Harvesting for Agriculture in the Caribbean Subregion*. FAO. Roma, Italia.

- Fattorelli, Sergio, y Pedro C. Fernández. 2011. *Diseño Hidrológico*. Vol. 2º Edición. WASA-GN. Zaragoza, Argentina.
- Flores-Velázquez, Jorge, Fernando Rojano, y Ernesto Aguilar. 2019. "ETo estimation to schedule irrigation in a green wall using Cropwat". en *2019 Boston, Massachusetts July 7- July 10, 2019*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Fontalvo-Jaraba, C. C., C. G. Ortiz-Montero, D. C. Castro-Rivera, L. F. Santana-Callejas, y O. F. Borda-Casas. 2018. "Generación y comparación de ortofotos realizadas a partir de procedimientos fotogramétricos como insumo en la adopción del catastro multipropósito urbano en Colombia." *Revista De Topografía AZIMUT* 9(febrero 2018):1-8.
- Ghimire, Santosh R., y John M. Johnston. 2019. "Sustainability assessment of agricultural rainwater harvesting: Evaluation of alternative crop types and irrigation practices" editado por P. Pandey. *PLOS ONE* 14(5):e0216452.
- Isla urbana. 2017. *Manual de mantenimiento para su sistema residencial*. México, D.F.
- Linsley, J. R. K., M. A. Kohler, y J. L. H. Paulus. 1977. *Hidrología para ingenieros*. McGraw-Hil. Bogotá, Colombia.
- Lluís-Huguet, Jordi, Jean Oró, Vicente Tormo, Maria Cinta-Pastor, y Sílvia González. 2016. *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios*. España.
- Lupia, Flavio, Valerio Baiocchi, Keti Lelo, y Giuseppe Pulighe. 2017. "Exploring rooftop rainwater harvesting potential for food production in urban areas". *Agriculture (Switzerland)* 7(6):1-17.
- Martínez-Menes, M., D. Fernández-Reynoso, y R. Salas-Martínez. 2010. *Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas*. Vol. 1. Colegio de postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, México.
- Martínez-Saldaña, Tomás, Jacinta Palerm, Milka Castro, y Luis Pereir. 2011. *Riegos ancestrales en Iberoamérica. Técnicas y organización social del pequeño riego*. Colpos. editado por T. Martínez-Saldaña. Montecillo, Texcoco, Edo. de México: bba. Texcoco, Edo. de México.
- Martínez de Azagra-Paredes, Andrés. 2006. *Particularización al método de los coeficientes de escorrentía*. 2006. España.
- Mekdaschi-Studer, R., y H. Liniger. 2013. *Water Harvesting: Guidelines to Good Practice*. Centre for Development and Environment (CDE). Rome: Bern; Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam; MetaMeta, Wageningen; The International Fund for Agricultural Development (IFAD).
- Méndez-Cubillo, José Andrés. 2016. "Análisis de la viabilidad de un sistema de captura de agua y su almacenamiento para uso en el beneficiado húmedo en la cooperativa de caficultores de Pílangosta R.L., del Cantón de Hojancha, Guanacaste". Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Mohajeri, Nahid, Dan Assouline, Berenice Guiboud, Andreas Bill, Agust Gudmundsson, y Jean-Louis Scartezzini. 2018. "A city-scale roof shape classification using machine learning for solar energy applications". *Renewable Energy* 121:81-93.
- Monsalve-Sáenz, Germán. 1995. *Hidrología en la ingeniería*. Primera ed. editado por G. Monsalve-Sáenz. Santafé de Bogotá, Colombia: Departamento de Publicaciones Escuela de Colombia de Ingeniería.
- Morales-Pinzón, Tito. 2012. "Modelling and sustainable management of rainwater harvesting in urban systems". Institute of Environmental Science and Technology (ICTA) at Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
- OPS, OMS, y CEPIS. 2003. *Captación de agua de lluvia para consumo humano. Especificaciones técnicas*. OPS/CEPIS/02.60-UNATSABAR. Lima, Perú.
- OPS, OMS, CEPIS, y COSUDE. 2004. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. OPS/CEPIS/04.122. Lima, Perú.
- Ortiz-Moreno, Jorge Adrián, Tania Arroyo-Zambraño, y Alfredo Fuentes-Gutiérrez. 2015. *Análisis de la viabilidad de la incorporación de sistemas de captación de agua pluvial en los desarrollos inmobiliarios bajo el programa de hipoteca verde de infonavit*. Vol. 1. México, D.F.
- Palmer, Diane, Elena Koumpli, Ian Cole, Ralph Gottschalg, y Thomas Betts. 2018. "A GIS-based method for identification of wide area rooftop suitability for minimum size PV systems using LiDAR data and photogrammetry". *Energies* 11(12):1-22.
- Parece, Tammy E., Malayshia Lumpkin, y James B. Campbell. 2016. *Irrigating Urban Agriculture*

- with Harvested Rainwater: Case Study in Roanoke, Virginia, USA*. The Handbo. Springer International Publishing.
- Pedroza-Sandoval, Aurelio, José Antonio Chávez-Rivero, Ricardo Trejo-Calzada, y José Ruíz-Torres. 2014. "Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y bioproductividad en comunidades marginadas de zonas áridas". P. 41 en *Impluvium*. Vol. I. Bermejillo, Dgo.
- Pérez-Hernández, Aurora, Oscar Luis Palacios-Vélez, Manuel Anaya-Garduño, y Jorge Leonardo Tovar-Salinas. 2018. "Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6):1427-32.
- Pizarro, Roberto, Alejandro Abarza, Carolina Morales, Ronald Calderón, Jaime Tapia, Pablo García, y Miguel Córdova. 2015. *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 36.
- Rahman, Aatur. 2017. "Recent advances in modelling and implementation of rainwater harvesting systems towards sustainable development". *Water (Switzerland)* 8(12):6-9.
- Salinas-Hernández, Adriana Guadalupe. 2015. "Impacto ambiental, social y económico derivado de la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México". Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- SCT. 2000. *Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*. México, D.F.
- SE. 2013. "Norma Mexicana. NMX-AA-164-SC-FI-2013. Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos". 158.
- SMN. 2017. "Estaciones Climatológicas 2016". *Servicio Meteorológico Nacional*. Recuperado (<http://smn.cna.gob.mx/tools/RECURSOS/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz>).
- Solano, C., F. Gonzaga, F. Espinoza, y J. Espinoza. 2017. "Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, cantón Santa Rosa". *Cumbres* 3(1):151-59.
- UNATSABAR. 2001. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Vol. 1. Lima, Perú.
- Velasco-Muñoz, Juan F., José A. Aznar-Sánchez, Ana Batlles-de la Fuente, y Maria Dolores Fidelibus. 2019. "Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research". *Water (Switzerland)* 11(7).
- Yousuf, Muhammad Uzair, Mubashir Siddiqui, y Naveed Ur Rehman. 2018. "Solar energy potential estimation by calculating sun illumination hours and sky view factor on building rooftops using digital elevation model". *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 10(1).
- Zunun-Bartolome, Jorge. 2009. "Elaboración de un procedimiento para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico." Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.



## RESEÑA

# Hábitat, Vivienda y Construcción 4.0

**HIRAM EDUARDO URIAS BARRERA**

<https://orcid.org/0000-0003-0809-8842> / [arq\\_hiram\\_urias@hotmail.com](mailto:arq_hiram_urias@hotmail.com)

Universidad de Guadalajara, México

En la actualidad, para desarrollo adecuado del hábitat y la vivienda y se perfila el uso de las nuevas tecnologías para resolver los grandes problemas que se manifiestan en éstos, y como éstos a su vez pueden ser retomados por el naciente campo de la industria 4.0 (I4.0) y la construcción 4.0 (C4.0); de esta idea se desprende la temática principal este libro, Hábitat, Vivienda y Construcción 4.0.

Para entrar en contexto es necesario conceptualizar la I4.0, la C4.0 y sus componentes principales; Estos conceptos a los cuales diversos autores han catalogado dentro de la denominada “CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL”, son parte fundamental de la automatización y eficiencia del sector de la construcción, con lo que se genera una nueva ventana de oportunidades y de transformación general del mismo.

Antes de profundizar, la Construcción 4.0 parte de una premisa que se centra en la industrialización de sus procesos. Respecto a esto, conceptualizar la construcción como una industria manufacturera es decisivo para conseguir una aproximación exitosa hacia un enfoque Industria 4.0. Ver las obras como fábricas y los procesos constructivos como procesos productivos que industrializar para posteriormente, incorporar tecnologías que ya son motivo de mejoras sustanciales en otros sectores de tradición más fabril, es el fin último de la idea que aquí se describe.

Es a partir de esta conceptualización e ideas teóricas que se desprende el desarrollo de este recurso; en este sentido, el mismo se encuentra estructurado en tres partes primordiales, determinadas en un total de 8 capítulos que dan cuerpo al mismo: la primera sección es fundamental porque en ella se sientan las bases conceptuales del término C4.0; por otro lado, consecutivamente se establece una serie de capítulos donde se fundamenta de manera puntual ejemplos de proyectos e investigaciones donde se ha implementado de forma eficiente metodologías, aplicaciones y aspectos en la construcción donde ha intervenido la I4.0. Por último, en los capítulos finales se desarrollan una serie de visiones desde el ámbito nacional que establecen todas las líneas prospectivas sobre las cuales se encamina todos los esfuerzos para la aplicación de la C 4.0 y la I 4.0.

El primer capítulo, conlleva a una descripción detallada de los procesos de automatización dentro de los aspectos fabriles actuales y como estos mismos procesos están encaminados a generar y mejorar aspectos como la sustentabilidad; esto desde el punto de partida de las la generación y modelado de objetos para detallar sus características y proceder a una fabricación en serie determinada por los avances de las tecnologías de prototipado. Por otro lado, es preciso mencionar que plantea el cambio de paradigma del uso del espacio análogo y el digital, en los procesos



de fabricación de objetos y el uso de la robótica en el desarrollo de los mismos de manera masiva.

Continuando con el segundo capítulo, éste propone un punto de partida robusto para comprender, a través de ejemplos y conceptos sobre la I4.0 y su derivación a procesos hacia la C4.0 que ayudan dar un mejor entendimiento sobre estos tópicos, para tal efecto se establece como caso explicativo el estudio de un proyecto desarrollado completamente a través de la conceptualización de I4.0 y C4.0, ya que parte de la premisa que toda la línea o cadena de valor se debe de instituir desde la iniciativa de utilización del campo de la computación para el modelado y de la impresión para su ejecución, al establecer con esto la relevancia que engloba este tipo de desarrollos para el futuro del quehacer arquitectónico y el uso de todas estas nuevas tecnologías.

La segunda parte de este libro, establece una sucesión de capítulos dentro de los cuales se presenta una serie de ejemplos aplicativos de la I4.0 y C4.0; el eje rector de los mismos, parte de la premisa del uso de la simulación como elemento fundamental en el desarrollo de proyectos de investigación y como herramienta de validación de procesos.

Es en el tercer capítulo donde se plantea la necesidad del diseño apropiado de la vivienda con perspectivas sensibles al agua con miras en aspectos de la sustentabilidad dentro de la zona metropolitana de Guadalajara; para lo cual se determina la necesidad de desarrollar modelos dinámicos realizados con softwares especializados (STELLA) y conceptualizados a través de bases teóricas sobre redes de la ciudad, el ciclo del agua y sistemas complejos; Con lo cual se establece una base robusta para realizar comparativos de modelos de consumo y monitorización del mismo aplicando un cambio de paradigma en el uso de las tecnologías sustentables en las infraestructuras hídricas.

Al seguir con el capítulo cuarto, éste se centra en el desarrollo de simulaciones para identificar parámetros como los niveles de uso de espacios y así determinar el consumo energético en la edificación; el caso de estudio es el edificio administra-

tivo de Rectoría de la Universidad de Guadalajara, con la finalidad de determinar aspectos de confort térmico adecuados que permitan una mejora de la operabilidad de los espacios y conlleve a un aumento de la productividad laboral, con el objeto de determinar acciones adecuadas para establecer un ahorro energético; todo esto al realizar una modelación del edificio y su posterior simulación con el software *The Urnam Modeling Interface (UMI*, por sus siglas en ingles); los resultados obtenidos se encaminan a proponer recomendaciones de adecuación ambiental, mejorar la eficiencia energética, operatividad del edificio.

Por otro lado, el quinto capítulo es la conclusión de los casos aplicativos de la segunda parte del libro; éste detalla en su contenido el análisis desarrollado a partir de la simulación de viviendas tradicional en República Dominicana, con un software especializado (*Design Builder*); A partir de lo anterior, los autores se enfocaron en el comportamiento térmico de las construcciones analizadas con el objetivo de establecer criterios de diseño y adecuación bioclimática por medio de la modelación y la subsecuente simulación en aspectos como orientación, protecciones solares y tipos de materiales constructivos y de coberturas de las viviendas; con esto determinaron la importancia que tienen este tipo de acciones en el desarrollo futuro de la Construcción 4.0 puesto que está enfocado a la optimización de los procesos del diseño y sus aspectos prospectivos para mejorar el hábitat.

Los tres capítulos finales se encuadran en la discusión sobre los aspectos prospectivos y nuevas visiones que rodean a los conceptos aquí desarrollados desde la perspectiva nacional; en el capítulo sexto, se establece la relación de las ecotecnologías y como estas pueden incorporarse a la revolución la I4.0 y C4.0, a través de la visión de la “eco-innovación 4.0” como punto de partida para la construcción sustentable de vivienda social y determinar con ello un cambio paradigmático del uso de diseño tecnológico, apuntalado por la implementación de modelos de desarrollo sustentable de la vivienda, a través de intervenciones desde el ámbito de las políticas

públicas como lo son los programas lanzados por el gobierno para fomentar el desarrollo de vivienda eco-tecnológica y para apuntalar las vías de desarrollo sustentable.

El capítulo séptimo, se enfoca en el estudio prospectivo de la realidad de los procedimientos de construcción convencional y el potencial de aplicación de las nuevas tecnologías como el uso de la robótica y otros implementos técnicos en los procesos de generación de vivienda social bajo los criterios de costo beneficio, que conllevaría a un decremento de los precios reales de las viviendas; con todo esto se ve la posibilidad de la utilización de estas herramientas para producción de vivienda, al reforzar y establecer una clara visión de hacia donde se encaminan los esfuerzos para una consolidación de la Industria y Construcción 4.0.

El libro, concluye con una reflexión desarrollada desde la visión de cuál es el paso fundamental a seguir para la C4.0 y la I4.0 desde el punto de vista de los procesos de enseñanza dentro de las instituciones públicas; con esto se establece una construcción conceptual desde la academia de lo que se pretende enmarcar como C4.0; a través de ello se instituyen varios retos dentro de las Universidades que implica esfuerzos en la adecuación de planes de estudios y cuerpos académicos que sean la vanguardia en la aplicación de estos nuevos conceptos, pero siempre con la perspectivas hacia la investigación de incidencia y enfoques colaborativos para la Producción Social del Hábitat y la vivienda, con el objeto de la mejora

de la población a través de la socialización de la tecnología, desde una visión tanto teórica como práctica de la C4.0 y la I4.0.

A través de todo lo anterior, es importante remarcar que los conceptos trabajados y detallados en este libro responden a una temática de actualidad y abordan con ellos un punto determinante que establecerá la coyuntura en la práctica de la fabricación de objetos y principalmente en el plano el quehacer arquitectónico y urbano; al establecer con ello una amplia conceptualización de lo que es y pretende ser en un futuro cercano los procesos de la I4.0 y su traslado al desarrollo de la C4.0.

Por lo que, al implementar las nuevas tecnologías en la rama de la construcción de vivienda social se pueden establecer criterios para tener un acceso a la morada digna, bajo criterios de sustentabilidad y al alcance de la población que no cuenta con recursos necesarios para su adquisición. Esto queda establecido en los contenidos determinados en este libro y que plantean un panorama general de hacia donde se dirigen los esfuerzos con el uso de los recursos técnicos que día con día innovan en todos los ámbitos de la vida y que en ellos no queda excluido el ramo de la construcción; sólo queda mencionar que en esta obra se agrupa de manera magistral los conceptos, propuestas y prospectivas que engloban de manera pertinente el cómo se relaciona el desarrollo del hábitat, la vivienda y su conexión con las nuevas visiones de la Industria 4.0 y Construcción 4.0.



## Acerca de los autores

### **VERÓNICA ALBARRÁN CARRILLO**

Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. Maestra en Proyectos para el Desarrollo Urbano por la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. Área de investigación y/o palabras clave: habitabilidad arquitectónica y urbana, vivienda, espacio público, investigación cualitativa. Correo electrónico: veronica.albarran.c@gmail.com y veronica.arqtol@gmail.com

### **DORA ANGÉLICA CORREA FUENTES**

Doctora en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, profesora e integrante del cuerpo académico “Ciudad Sostenible” de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana del Instituto Tecnológico de Colima-TecNM. Publicaciones derivadas de la Línea de Investigación: Ciudad y planificación estratégica. Resiliencia urbana en los espacios de la ciudad. Correo electrónico: dora.correa@itcolima.edu.mx

### **PETER CHUNG ALONSO**

Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, Profesor de tiempo completo de la Maestría en Arquitectura y Gestión Urbana del Instituto Tecnológico de Colima, Tecnológico Nacional de México.

Maestro en Arquitectura con área terminal en Desarrollo Urbano por la Universidad de Colima; Actualmente adscrito al Tecnológico Nacional de México campus Colima; ha desempeñado funciones docentes y administrativas en la carrera de Arquitectura y la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana, en ambas el cargo de Coordinador de programa. Ha impartido cursos y talleres de urbanismo bioclimático en la Maestría en Arquitectura de la Universidad de Colima y en la Escuela de Arquitectura y Diseño de América Latina y el Caribe (ISTHMUS Panamá). En 2019 recibe el Reconocimiento al Perfil Deseable y de Apoyo (PRODEP) por parte de la Secretaría de Educación. Realiza investigación aplicada en las áreas de arquitectura, urbanismo y medio ambiente, publicando en revistas científicas, y participando como ponente en congresos nacionales e internacionales. Integrante del Cuerpo Académico ITCOL-08 Ciudad Sostenible. Líneas de investigación: Urbanismo Sustentable y Ciudad y Planificación Estratégica. Correo electrónico: peter.chung@colima.tecnm.mx

### **JORGE FLORES VELÁZQUEZ**

Investigador titular en el posgrado de Hidrociencias campus montecillos (www.colpos.mx). Doctor en agricultura protegida por la Universidad de Almería (España) con énfasis en el análisis climático del ambiente en los principales tipos

de invernaderos mexicanos, usando herramientas numéricas. Actualmente realiza actividades de investigación, transferencia de tecnología y formación de recursos humanos en áreas de agricultura de precisión, protegida y urbana. Realiza investigación sobre uso y manejo de recursos para la producción hortícola, principalmente el nexo agua-energía, edificios bioclimáticos y cambio climático mediante el uso de tecnologías disruptivas y de simulación. Correo electrónico: jorgelv@colpos.mx

### **EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ**

Doctorado en Ingeniería Estructural por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A). Realizó una estancia posdoctoral en la UAM-A mediante un proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT). Profesor-investigador adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, Campus I, donde actualmente funge como el coordinador del programa del Doctorado en Ingeniería Civil. Es miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Chiapas y del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI) nivel I. Ha sido responsable técnico de proyectos financiados y cuenta con publicaciones en revistas indizadas de prestigio nacional e internacional. Desarrolla investigación enfocada en el estudio del comportamiento sísmico de elementos y sistemas estructurales. Correo electrónico: eber.godinez@unach.mx

### **ALLECK JOHNNATHAN GONZÁLEZ CALDERÓN**

Arquitecto, con grado de Maestro y de Doctor en Ciencias y Artes para el Diseño por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, en Ciudad de México. Actualmente, adscrito como Profesor Investigador de Tiempo Completo a la Escuela de Arquitectura, Unidad Torreón, de la Universidad Autónoma de Coahuila, integrante del Cuerpo Académico: Territorio, Asentamientos Humanos y Resiliencia. Correo electrónico: alleck@hotmail.com

### **LUIS FERNANDO GUERRERO BACA**

Arquitecto, Maestro en Restauración Arquitectónica y Doctor en Diseño, graduado por la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, en la Ciudad de México, México. Desde 1998 es miembro del SNI y actualmente tiene Nivel II. Está adscrito como Profesor Investigador de Tiempo Completo a la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco donde actualmente funge como Jefe del Área de Investigación y Cuerpo Académico en “Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado”. Es miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Cátedra UNESCO “Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible”. Correo electrónico: luisfg1960@yahoo.es

### **LAURA MERCADO MALDONADO**

Arquitecta por la Universidad de Sonora en 2004. Maestra en Humanidades con énfasis en energía y medio ambiente en arquitectura por la Universidad de Sonora en 2016; Tesis: Isla de Calor Urbana en Hermosillo, Sonora. Doctorado en Humanidades en 2020 con mención honorífica por el trabajo titulado: Estrategias de mitigación al fenómeno de Isla de Calor Urbana en ciudades del desierto continental. Docente en el área de tecnologías, medio ambiente, urbanismo y proyecto arquitectónico de la Universidad de Sonora, Departamento de Arquitectura y diseño desde 2009 a la actualidad. Correo electrónico: laura.mercado@unison.mx

### **JESÚS ENRIQUE DE HOYOS MARTÍNEZ**

Centro de Investigación en Arquitectura y Diseño; Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Doctor en Ciencias Sociales con énfasis Socioterritorial, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Área de investigación y/o palabras clave: Vivienda, Arquitectura y Diseño Urbano. Correo electrónico: jedehoyosm@uaemex.mx,

### **RODRIGO ROBLERO HIDALGO**

Ingeniero en Irrigación egresado de la Universidad Autónoma Chapingo (2009), Maestro en Ciencias en Hidrociencias, por el Colegio de Postgraduados (2013), Doctor en Ciencias en Hidrociencias, por el Colegio de Postgraduados (2018). Investigador del IMTA desde el 2018 en la coordinación de hidrología superficial y con experiencia laboral desde hace 13 años en Modelación hidrológica e hidráulica en cuencas hidrológicas, Ingeniería en Sistemas de los Recursos Hidráulicos, Sustentabilidad de Recursos hídricos, Estudio en hidrología e hidráulica de ríos, Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones. Nivel candidato del periodo 2021-2024 por el Sistema Nacional de Investigadores. Correo electrónico: rodrigo-roblero@hotmail.com

### **AGUSTÍN ROJAS BALTAZAR**

Maestro en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana por el Instituto Tecnológico de Colima, Tecnológico Nacional de México. Publicaciones derivadas de la Línea de Investigación: ciudad y planificación estratégica. Tema: resiliencia urbana en los espacios de la ciudad. Correo electrónico: agustinro3595@gmail.com

### **JANIO ALEJANDRO RUIZ SIBAJA**

Master en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, Doctorado en Ingeniería de Caminos Canales y Puertos, ambos en la Universidad Politécnica de Cataluña (España), además cuenta con un diplomado de CENSOLAR (España) en Instalaciones de Energía Solar (2010).

Cuenta con experiencia profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo (1992-1996) como ingeniero calculista de estructuras y en PROYEX-Valencia (España) (2002-2003) como ingeniero revisor de proyectos de edificación

Actualmente es Profesor-investigador adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, miembro colaborador del Instituto Andaluz de Geofísica de Andalucía (España) e integrante del Comité Doctoral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Correo electrónico: asibaja@unach.mx

### **HIRAM EDUARDO URÍAS BARRERA**

Doctor en Ciencias, por la Universidad Autónoma de Baja California, su área de investigación en ciencias de la atmósfera-urbanismo, Investigador por México, CONACYT, comisionado al Departamento de técnicas y construcción del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, de la Universidad de Guadalajara, México. Correo electrónico: arq\_hiram\_urias@hotmail.com