

Cobertura vegetal y la distribución de islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora**Vegetation cover and urban heat islands/oasis distribution in Hermosillo City, Sonora**

Francisco Martín López González,¹ Luis Alan Navarro Navarro,² Rolando Enrique Díaz Caravantes³ y Javier Navarro-Estupiñán⁴

RESUMEN

Se analiza el caso de Hermosillo, una ciudad del noroeste árido de México. El objetivo general es conocer la influencia del porcentaje de cobertura vegetal (CV) en la temperatura superficial del suelo (LST) y su distribución espacial a través de un sistema de información geográfica, utilizando datos de teledetección remota. En cuanto a los resultados, destaca en primer lugar que en promedio el porcentaje de CV en manzanas urbanas es de 12 por ciento (rango 0 a 59%), con un 38 por ciento de éstas con una CV ≤ 10 por ciento; en segundo lugar, que el modelo para estimar la LST detectó temperaturas promedio por manzana entre los 37 y 45°C, la principal variable explicativa fue el porcentaje de CV. Aumentar la CV en un 10 por ciento tendría el potencial de disminuir la LST en 1.1 °C. La heterogeneidad espacial en la distribución de la LST puede interpretarse como el efecto del ser humano modificando el clima a pequeña escala, esto crea un mosaico interno de oasis urbanos diurnos.

Palabras clave: 1. isla de calor urbana, 2. efecto oasis urbano, 3. vegetación, 4. Hermosillo, 5. Noroeste de México.

ABSTRACT

The case of an arid Northwest city of Mexico is studied with the general objective of assessing the influence of the percentage of vegetation cover (VC) in Land Surface Temperature (LST) and mapping its spatial distribution, through a geographic information system using remote sensing data. Results showed: 1) on average, 12% (min. 0 to max. 59%) of a city block is covered with vegetation, 38% of the blocks had % VC ≤ 10 ; 2) the LST regression model estimated temperatures range from 37 to 45°C, the main explanatory variable was % VC, increasing % VC in 10 is associated with cooling effect of 1.1 °C; the spatial heterogeneity in the distribution of LST can be interpreted as the human effect modifying the climate on a small scale; this creates internal diurnal oasis.

Keywords: 1. Urban heat island, 2. Urban oasis effect, 3. Vegetation, 4. Hermosillo, 5. Northwest Mexico.

Fecha de recepción: 2 de marzo de 2020

Fecha de aceptación: 15 de junio de 2020

Fecha de publicación web: 31 de marzo de 2021

¹ El Colegio de Sonora, México; fmartin.lopezg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0639-6486>

² El Colegio de Sonora, México; lnavarro@colson.edu.mx, <http://orcid.org/0000-0002-5819-9628>

³ El Colegio de Sonora, México; rdiaz@colson.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-4117-2197>

⁴ Instituto Tecnológico de Sonora, México; javiernavarroe@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4679-5684>



INTRODUCCIÓN

En la siguiente década se ampliará la superficie urbana alrededor del mundo, lo que impone el reto de gestionar ciudades sostenibles. La perspectiva de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es que para el año 2030, aproximadamente 5 167 258 millones de personas vivirán en ciudades, lo que equivale a que se construya una ciudad para 1.5 millones de habitantes cada semana. Este es el resultado de una tendencia global de crecimiento urbano, ya que la población radicada en ciudades se estimó en 54 por ciento en 2016 (United Nations, 2018). En México, hace una década este indicador era de 78 por ciento (Inegi, 2010). Según las mismas proyecciones, para el año 2030, un aproximado de 123 198 millones de personas radicarán en el medio urbano (United Nations, 2018).

Las ciudades de la frontera noroeste de México, entendidas no solo como las que se ubican al borde de la línea divisoria, sino como aquellas influenciadas por los procesos transfronterizos, que están integradas en corredores industriales (Kopinak, 1997, p. 30; Morales, 1999, p. 980) como el corredor Phoenix, Tucson, Hermosillo y Guaymas, han estado sujetas en los últimos 40 años a un crecimiento considerable, impulsado por esos mismos procesos. Hermosillo, en Sonora, y Mexicali, en Baja California, se consolidaron como las ciudades áridas más pobladas de México (Inegi, 2010); Tijuana, Baja California, con clima semiárido templado, y Mexicali, son los núcleos de población más importantes de la franja fronteriza del noroeste de México (Organización Panamericana de la Salud, 2012). Del lado mexicano, el crecimiento de las ciudades ha sido compacto y más densamente poblado (Trubetskoy, 2016). Esto ha impuesto importantes desafíos en materia de planificación urbana, dado que los gobiernos locales han tenido dificultades para mantener y expandir servicios básicos, infraestructura y equipamiento urbano (Acosta Enríquez, 2009). Entre los rezagos comunes suelen estar los espacios verdes públicos y la falta de vegetación (Bernal Grijalba, Navarro Navarro y Moreno Vázquez, 2019; Ojeda Revah y Espejel, 2014; Ortega-Rosas, Enciso-Miranda, Macías-Duarte, Morales-Romero y Villarruel-Sahagún, 2020; Peña Salmón, 2011).

El problema es que el proceso de urbanización se hace a costa de eliminar ecosistemas naturales y crear uno urbano. De esta forma, la vida silvestre (flora y fauna) se remueve, se perturba, se modifica y se adapta el suelo, la fisiografía, la hidrología, etcétera, para el beneficio del ser humano. Sobre la nueva ciudad se establecen por política los espacios públicos y sus elementos naturales, y estos constituyen lo que se conoce como Ecosistema Urbano (EU), que son los espacios verdes o azules de una ciudad (Bolund y Hunhammar, 1999). A su vez, el bosque urbano⁵ representa una parte importante del componente biótico de los ecosistemas ciudadanos.

⁵ “Bosque urbano” como traducción del termino anglosajón “urban forest”.

El EU es un espacio que puede ser directamente afectado por las decisiones de política pública. Políticos, legisladores, líderes y la sociedad civil, influyen en determinar la proporción de espacio público y los diseños de construcción, los programas de reforestación, etcétera, afectando la cantidad, calidad y distribución del EU. Indirectamente, determinan la población beneficiada con los servicios ambientales que éste genera. Un servicio ambiental importante que provee el EU es la mitigación de calor y el mejoramiento del confort térmico de las personas que impacta la habitabilidad de los espacios urbanos. Cabe mencionar que la equidad en el acceso a los espacios públicos y áreas verdes es una Meta del Desarrollo Sostenible fijada para el año 2030 por la ONU (United Nations, 2015), adoptada por México y traída a la agenda local por los estados y municipios (DOF, 2017; González Gómez, 2018).

La mayoría de las administraciones locales de las ciudades del lado norte de la frontera han reconocido la formación de Islas de Calor Urbanas (ICU) (Chow, Brennan y Brazel, 2011; Comrie, 2000; SDRUFC, 2020), donde las temperaturas difieren del ambiente natural circundante, han estimado la cobertura de su bosque urbano y establecido metas para aumentarla, como medida de mitigación de los efectos de ICU. Podemos destacar el caso de la ciudad de Phoenix, Arizona, que fijó la meta de aumentar la cobertura del dosel arbóreo del 10 al 25 por ciento para el año 2030 (Davey Resource Group, 2014).

Del lado mexicano se han logrado avances importantes en la generación de información académica (García-Cueto, Jáuregui Ostos, Toudert y Tejeda-Martínez, 2007; Navarro-Estupiñán, Robles Morua, Díaz Caravantes y Vivoni, 2020; Ojeda Revah y Espejel, 2014; Ortega-Rosas *et al.*, 2020; Peña Salmón, 2011). Sin embargo, no todas las ciudades del noroeste poseen estudios comprensivos de la CV, así como datos sobre la distribución de la cobertura del bosque urbano; ni la intensidad, distribución y características del efecto de ICU.

Los encargados de implementar las políticas públicas requieren de herramientas accesibles de estimación y monitoreo relacionadas con la gestión sustentable del EU. El uso de teledetección remota es una alternativa económicamente conveniente. Este trabajo contribuye al desarrollo y adaptación de metodologías para el procesamiento de datos de percepción remota, a través del estudio de caso de la ciudad de Hermosillo, ubicada en la bioregión transfronteriza del Desierto de Sonora, en el noroeste árido de México.

El objetivo general de esta investigación fue conocer la influencia de la vegetación en la temperatura superficial del suelo (LST por sus siglas en inglés, Land Surface Temperature). Los objetivos específicos fueron: a) estimar el porcentaje de Cobertura Vegetal Total Promedio (%CVTP) urbano a escala de manzana urbana, usando datos de *Google Earth* (GE) y del satélite Sentinel 2A; b) calcular la LST a partir del sensor térmico de Landsat 8 y analizar su distribución espacial para localizar la presencia interna de ICU u oasis urbanos; y por último, c) relacionar la LST con el %CV.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

La formación de un microclima urbano es un fenómeno bien conocido desde hace tiempo. Su reconocimiento se le atribuye al meteorólogo británico Sir Luke Howard (1772-1864), quien estudió las diferencias térmicas entre el área urbana de Londres y zonas rurales circundantes (Howard, 1833). Según Howard, el calor “artificial” lo generaba la estructura urbana, la densidad de población y el consumo de grandes cantidades de combustibles. Aunque el término de ICU se le atribuye formalmente a Manley (1958), había sido usado desde antes en diversas publicaciones (Landsberg, 1981).

Al principio, este fenómeno se estudiaba a través de mediciones directas de la temperatura del aire usando termómetros; usualmente, realizaban transectos térmicos transversales a la mancha urbana, empezando y terminando en el medio rural. Los datos generaban isotermas concéntricas, elongadas a sotavento por advección, con un gradiente descendiente del núcleo a la periferia. Esta desviación térmica rodeada de temperaturas más bajas, representada en un mapa, se asemejaba a una “isla”, de donde se deriva el nombre de “isla” de calor (Oke, 1982, p. 3).

En general las causas que ocasionan el efecto de ICU son: a) las características de muchos materiales de construcción que son oscuros, lo que hace que absorban calor y lo almacenen; b) estos materiales son impermeables y absorben poca humedad, disminuyendo su capacidad de transformar el calor en vapor (Gartland, 2008); c) un pobre EU, es decir, poca vegetación y cuerpos de agua (Cai, He, Yang, y Deng, 2014; Gunawardena, Wells, y Kershaw, 2017; Qiu *et al.*, 2013); d) la textura, diseño y geometría arquitectónica (por ejemplo, los “cañones urbanos”) de la mancha urbana; y e) el calor generado por las actividades antropogénicas.

El advenimiento de la era espacial y los sensores térmicos a bordo de satélites posibilitó el uso de una nueva herramienta para el análisis de este fenómeno. La literatura atribuye a Rao (1972) haber sido el primero en demostrar que el efecto de ICU podía ser detectado usando datos de sensores térmicos (Gallo, Tarpley, McNab y Karl, 1995); posteriormente, siguieron otros estudios que pudieron detectar exitosamente este fenómeno (Roth, Oke y Emery, 1989). A pesar de la facilidad para obtener y analizar datos de sensores remotos, el método del transecto térmico sigue siendo muy utilizado (Georgakis y Santamouris, 2017; Smith, Webb, Levermore, Lindley y Beswick, 2011).

Una diferencia importante entre las dos metodologías es que una mide la temperatura del aire y los satélites la LST. García *et al.* (2007), le llamaron efecto de ICU atmosférica y superficial, respectivamente. Como el aire es un pobre conductor de calor, casi siempre la LST es más elevada que la del aire (Mildrexler, Zhao y Running, 2011). Existen condiciones sinópticas ideales para que se exprese el efecto de ICU: a) condiciones anticiclónicas (alta presión atmosférica), b) cielo despejado, y c) una velocidad del viento menor a cinco metros por segundo (Smith *et al.*, 2011). Igualmente, la nubosidad es un impedimento para el uso de imágenes de satélite.

Efecto de oasis urbano

En ciudades de ambientes áridos, se ha observado el fenómeno inverso de una ICU, conocido como efecto de oasis urbano. El suelo desnudo del desierto puede alcanzar temperaturas muy altas, por ejemplo, hasta 70°C en el Desierto de Sonora (Nobel, 1984). Adicionalmente, estas urbes tienden a crear oasis sostenidos con riego, que mantienen en forma artificial una mayor CV y un bosque urbano más diverso que los biomas desérticos circundantes (Fan *et al.*, 2017). Además, existe una fuerte tendencia a usar vegetación exótica (Navarro Navarro y Moreno Vázquez, 2016). Incluso el efecto de los “cañones urbanos” resulta inverso, dado que la sombra reduce la incidencia de radiación solar (Alobaydi, Bakarman y Obeidat, 2016).

El efecto refrescante de la vegetación se debe a la mayor evapotranspiración en el oasis comparada con las áreas circundantes en zonas áridas (Hao, Li y Deng, 2016). En una ciudad, un oasis interno puede ser un parque urbano (Declet-Barreto, Brazel, Martin, Chow y Harlan, 2013), o un lago rodeado de vegetación, donde la energía es disipada a través de la evaporación y la evapotranspiración, creando enfriamiento (Gunawardena *et al.*, 2017).

Sin embargo, este efecto de oasis es diurno, ya que la tasa de enfriamiento es más rápida en el medio rural que en la ciudad. Grimmond, Oke y Cleugh (1993) observan cómo el área de referencia rural elegida para comparar con el núcleo urbano determinará la intensidad del efecto de ICU. Estos autores encontraron el efecto de oasis cuando compararon contra un área rural árida, de las 9 a las 17 horas la ciudad estuvo 1-2° C más fresca que el medio rural. Este efecto también fue reportado para la ciudad de Terán, Irán (Haashemi, Weng, Darvishi y Alavipanah, 2016), y para Mexicali, Baja California (García *et al.*, 2007).

Existen estudios a nivel regional y global que determinan la ICU a nivel ciudad (Matson, McClain, McGinnis y Pritchard, 1978; Peng *et al.*, 2012; Haashemi *et al.*, 2016). Otras veces, el interés más bien es conocer la distribución espacial de la LST dentro del polígono urbano, para relacionarlo con los usos de suelo (García *et al.*, 2007; Navarro-Estupiñán *et al.*, 2020).

La literatura (Chakraborti *et al.*, 2019; García *et al.*, 2007; Kim, Jun, Yeo, Kwon y Hyun, 2019; Navarro-Estupiñán *et al.*, 2020) sugiere que en la mancha urbana se pueden encontrar anomalías frías o cálidas dependiendo de muchos factores. López Gómez, Fernández García y Arroyo Llera (1995), demostraron que en el caso de Madrid el efecto de ICU no es uniforme en toda la mancha urbana, existen máximos y mínimos secundarios locales, ocasionados por diferencias en volumen y densidad de edificación, así como por los espacios abiertos (especialmente parques).

Ecosistema urbano y cobertura vegetal

Es importante aclarar conceptualmente la relación entre ecosistema, bosque y vegetación urbana. Primeramente, el medio urbano es un mosaico heterogéneo de espacios con diferentes niveles de elementos bióticos, abióticos y antrópicos que crean un hábitat para las personas y otros seres vivos (mamíferos, aves, reptiles, peces, invertebrados, etcétera), y esto es lo que denominamos EU (Pickett *et al.*, 1997; Endsley, 2018). Endsley (2018) discute también que el área urbana se puede fácilmente subdividir usando sensores remotos en dos categorías: superficie impermeable o verde. Esta última contiene la vegetación urbana, que Schmid (1975) define como toda la vegetación espontánea o cultivada (sembrada, plantada) que se encuentra dentro de la ciudad.

Segundo, la CV se refiere al porcentaje de la superficie del suelo cubierta con vegetación. La CV puede medir específicamente el follaje excluyendo partes abiertas del dosel de una planta; o al dosel arbóreo completo, midiendo la proyección vertical de su perímetro exterior; puede o no incluir solo plantas vivas (BLM, 1999).

Algunos artículos definen bosque urbano como toda la vegetación contenida en el polígono de la ciudad (Sanders, 1984; Walker y Briggs, 2007). Por ejemplo, Sanders (1984, p.15) menciona como “el límite del bosque urbano lo establece un criterio jurisdiccional, y éste está integrado de cualquier conjunto de vegetación dentro del área urbana, independientemente de sus características físicas”. Estas definiciones contribuyen a crear confusión igualando “bosque” a “vegetación urbana”.

Existen otras definiciones que enfatizan la presencia de árboles como una condición suficiente y necesaria para la existencia de un bosque urbano. La vegetación asociada como arbustos, herbáceas o pastos, puede o no estar presente. Miller, Hauer y Werner (2015) hacen referencia al bosque urbano como a la suma de especies leñosas y vegetación asociada que se localiza dentro y alrededor de densos espacios habitacionales, ya sea en comunidades rurales o grandes zonas metropolitanas. Benavides-Meza (1989, p. 967) señala que: “el bosque urbano se conforma de los árboles y vegetación asociada que se encuentra a lo largo de las banquetas de calles y avenidas, en los camellones, parques, jardines, cementerios, derechos de vía, y otros espacios”.

En conclusión, la cobertura del bosque urbano se asocia al concepto de cobertura del dosel arbóreo, no es sinónimo de porcentaje de cobertura vegetal total promedio (%CVTP),⁶ más bien es un subconjunto de esta última. La aclaración es pertinente cuando se utilizan métodos indirectos de estimación del %CV, tal como lo es el uso de fotografía aérea o el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) (Tucker, 1979), que mide todo el tejido fotosintéticamente activo que se encuentra en un área determinada.

⁶ Es promedio por estar siempre asociada a una escala geográfica de medición, por ejemplo, una ciudad subdividida en polígonos o píxeles de cierta resolución espacial.

EL ESTUDIO DE CASO

De acuerdo con los datos del Censo de Población del año 2010 (Inegi, 2010), Hermosillo, capital del estado de Sonora, fue la ciudad de clima árido seco (“BWh” según la clasificación de Köppen-Geiger) más poblada de México. Se localiza en el noroeste del país (Mapa 1) dentro de la bioregión del Desierto de Sonora (Shreve y Wiggins, 1964).

El estado de Sonora tiene un gradiente de aridez que aumenta hacia el Oeste y al Norte. Al Este, aumenta la elevación y el clima se vuelve semiárido (Felger, Johnson, y Wilson, 2001). La ciudad de Hermosillo se localiza en la transición del clima semiárido al árido (Inegi, 1992), hacia la costa, la vegetación se vuelve escasa y desértica. El tipo de vegetación que rodea Hermosillo es matorral arbosufrutescente, que puede ser descrito como una combinación de alrededor de 27 tipos de árboles de porte mediano, 17 pertenecientes a la familia Fabaceae, arbustos y algunas cactáceas (Cotecoca, 1986).

Una característica de la ciudad de Hermosillo son sus altas temperaturas. Es común encontrar notas periodísticas que resaltan el rompimiento del récord histórico de temperaturas. Por ejemplo, el día 2 de junio de 2014 se alcanzaron los 48.5° C, la nota aseveraba que ese día Hermosillo había sido la ciudad más cálida del mundo (Sánchez Dórame, 2014). El análisis de datos de temperatura máxima diaria para el período 2000-2017 (Conagua, 2018), muestra que hay 120 días (rango 101-146) con temperatura mayor a 100 °F (~38°C). Este valor se puede comparar con la ciudad de Phoenix (1981-2010), que tiene en promedio 110 días con temperatura igual o mayor a 100 °F (National Weather Service, 2017). Navarro-Estupiñán *et al.* (2018) analizaron datos de estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua en Sonora, y sus resultados evidenciaron el aumento general del número de días cálidos y olas de calor (+138%).

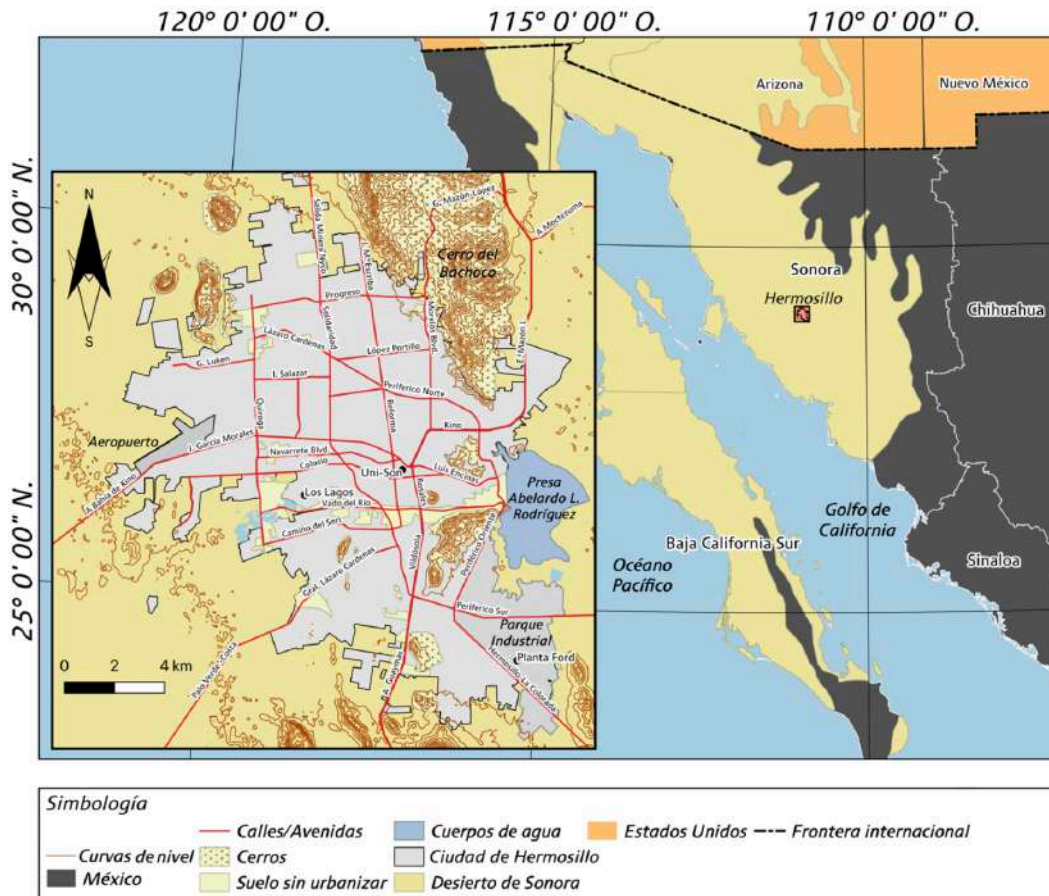
Aunado a los veranos cálidos está la escasez de agua. En los últimos años, la imagen totalmente seca de la presa Abelardo L. Rodríguez, localizada en la periferia de la ciudad (Mapa 1), es otra noticia que ha merecido la atención de los periódicos locales. Observando imágenes del satélite Landsat para el período 2000-2018, la presa se ha secado completamente en 12 de estos 19 años, permaneciendo seca desde el mes de abril hasta finales de julio. Actualmente la ciudad cuenta con agua las 24 horas del día, sin embargo, antes del 2013, que se empezó a importar agua de la cuenca del río Yaqui, la amenaza de racionamientos era constante.

En este contexto, Hermosillo se ha expandido, en el período 2000-2017, de 13 992 a 18 741 hectáreas y la población paso de 545 928 a 819 999⁷ habitantes (Inegi, 2015). Esta expansión fue sobre suelo agrícola abandonado y matorrales desérticos usados como agostadero, transformando el ecosistema natural en uno urbano (Lagarda Lagarda, Vázquez Landeros y Noriega Nieblas, 2009).⁸

⁷ Intervalo de confianza del 95 por ciento del 755,404 al 884,594.

⁸ Observación de foto aérea de 1950.

Mapa 1. Localización regional de la ciudad de Hermosillo



Fuente: Elaboración propia con base a diversa cartografía digital descargada del sitio de Inegi (2020), Portal de Geoinformación 2020 (Conabio, 2020) y *Google Earth*.

En el EU de Hermosillo no existen cuerpos de agua internos ni corrientes perennes que atraviesen la ciudad: el mapa 1 solo muestra en color azul la presa y lagunas efímeras al final del vado del río Sonora, alimentadas por la descarga pluvial (Boletín Oficial, 2014).⁹ Los arroyos que atraviesan la ciudad, lejos de promoverse como corredores verdes riparios, en la mayoría de los casos se convierten en vertederos de basura, escurrimientos pluviales y de aguas residuales (Abril Fimbres, 2016; El Imparcial, 2014; López, 2018; Lozano, 2015). La ciudad terminó revistiendo y embovedando con concreto dichos canales (Boletín Oficial, 2018a). Esta política de desfogue pluvial del área urbana se cambió recientemente con la entrada en vigor de una norma técnica que establece las características y requerimientos para adicionar infraestructura verde en el municipio de Hermosillo (Boletín Oficial, 2018b).

⁹ Interpretación del mapa de uso, reservas y destinos de suelo.

Por otra parte, se conoce poco del componente vegetal. En 2018, Barrera-Alarcón dividió la ciudad en 10 sectores, estimó un %CVTP de 20.99, rango del 7.09 al 50.43, usando datos de Landsat 8. Recientemente se calculó el %CV del bosque urbano, a nivel de Área Geoestadística Básica de Inegi (AGEB) en 6.4 por ciento, a través de fotointerpretar imágenes de alta resolución (Ortega-Rosas *et al.*, 2020). Navarro Navarro y Moreno Vázquez (2016) encontraron que en lo que respecta a las banquetas y jardines frontales, el 58 y 77 por ciento respectivamente, poseían cinco árboles o menos por cada 100 metros lineales. Es decir, menos de un árbol por casa en jardín o banqueta. Bernal Grijalva *et al.* (2019) determinaron que la superficie de parques y jardines era de 273 hectáreas en 2016, lo que arrojaba 3.08 m² por habitante.

Las olas de calor ocurridas el mes de julio de 2018 alrededor del mundo (BBC News, 2018), también afectaron a México, especialmente al estado de Sonora, donde el Fondo Nacional de Desastres Naturales emitió una declaratoria de emergencia por onda cálida en 64 municipios del estado, incluido Hermosillo (DOF, 2018). Estos fenómenos meteorológicos despertaron la preocupación de la comunidad por la falta de verdor y de árboles en la ciudad (Arellano, 2018).

Estrategia de reforestación de la ciudad

Los esfuerzos para enverdecer el EU de la ciudad de Hermosillo usualmente se fijan en términos del número de árboles plantados o donados. No suele darse seguimiento a las reforestaciones, por ejemplo, para estimar el porcentaje de sobrevivencia. Las metas de reforestación adornan la numeralia de los informes anuales de gobierno de las administraciones municipales. En el Cuadro 1 se muestran los resultados de una revisión documental de los informes municipales desde 1997 al 2018. Aunque no hay un formato uniforme para reportar estos datos anualmente, todos los informes hacían referencia a actividades de reforestación y donación de árboles. En total suman alrededor de 720 309 árboles, plantados en un espacio de 22 años. Suponiendo que estos hubieran crecido y desarrollado hasta una copa de 6 metros de diámetro, representaría una cobertura del dosel arbóreo potencial del 11.31 por ciento, considerando una mancha urbana de 18 000 hectáreas.

Cuadro 1. Reporte de árboles plantados o donados por administración municipal de Hermosillo (Fuente: Elaboración propia con base en revisión documental de informes de gobierno)

Período	Árboles plantados o donados
1997-2000*	158 000
2000-2003*	47 321
2003-2006*	125 000
2006-2009*	194 333

- 10 Cobertura vegetal y la distribución de Islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora
López González, F. M., Navarro Navarro, L.A., Díaz Caravantes, R. E. y Navarro Estupiñán, J.

2009-2012*	46 791
2012-2015*	44 273
2015-2018**	82 417
2018-2019***	22 174
Total	720 309

Fuentes: *Tercer informe de gobierno de Valencia Juillerat (2000), Búrquez Valenzuela (2003), del Río Sánchez (2006), Gándara Camou (2009);, Gándara Magaña (2012) y López Caballero (2015); **Tres informes de gobierno de Acosta Gutiérrez (2016, 2017) y Fernández Muñoz Fernández (2018); y ***Primer informe: López Cárdenas (2019).

El vivero municipal de Hermosillo mantiene una campaña constante de donación de árboles, entregando de cinco a siete plantas por persona, manejan un total de 50 especies diferentes, exóticas y nativas y pueden llegar a donar hasta 10 000 plantas en un mes (Inzunza, 2019). Además de estas donaciones, las personas pueden acudir a alguno de los 45 viveros comerciales existentes (Inegi, 2019), que ofrecen mayormente especies exóticas muy vistosas y ornamentales.

La meta de árboles plantados debería de acompañarse con la de alcanzar, en el mediano y largo plazo, un determinado aumento del %CVTP de la ciudad o cobertura del dosel arbóreo. El espacio público o privado necesario para establecer vegetación es una limitante. Según las estimaciones de Navarro-Estupiñán *et al.* (2020), más de la mitad (60%) del área urbana de Hermosillo es superficie impermeable; destaca el centro urbano (80%), zonas de vivienda de alta densidad (75%) y que 40.89 por ciento del área urbana son calles y vialidades; las áreas verdes representan tan solo 1.87 por ciento del área total urbana.¹⁰ Así, se deben de balancear las zonas prioritarias de reforestación (Ortega-Rosas *et al.*, 2020) con el espacio disponible para reforestación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos de Landsat 8

El satélite Landsat 8 está equipado con dos sensores, el OLI (Operational Land Imager) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor), con un sensor térmico infrarrojo. Desde el sitio en Internet del United States Geological Survey (USGS), se obtuvieron imágenes del 12 de junio, 14 de julio y 15 de agosto de 2016, tomadas a las 10:52 de la mañana hora local; correspondientes a fechas de los tres meses en los que se registran las temperaturas máximas más altas (Conagua, 2018). Dichos días cumplieron las condiciones sinópticas ideales sugeridas por Smith *et al.* (2011). Se utilizaron las bandas espectrales 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano) de OLI; y la banda 10 (infrarrojo térmico) de TIRS.

¹⁰ Enverdecer áreas verdes tendría un efecto bajo en el %CVTP de la ciudad.

Las imágenes de satélite se recortaron para coincidir con los límites del polígono de Hermosillo del año 2017, creado a partir de la unión de los AGEB urbanos, el polígono resultante se actualizó usando la imagen de GE (27 de marzo de 2017). Se generó un nuevo raster con el promedio aritmético de los tres meses. Con los datos de OLI se estimó el NDVI y con los de TIRS se calculó la LST.

Cálculo de la LST

Primero se estimó la Fracción de Cobertura Vegetal (FCV) según la ecuación de Carlson y Ripley (1997). Segundo, según la FCV, a cada píxel se le asignó condicionalmente un valor de emisividad usando la escala propuesta por Skoković *et al.* (2014) y Sobrino *et al.* (2008). Finalmente, se calcula la LST en grados Celsius, utilizando el procedimiento usado por Avdan y Jovanovska (2016, p. 3).

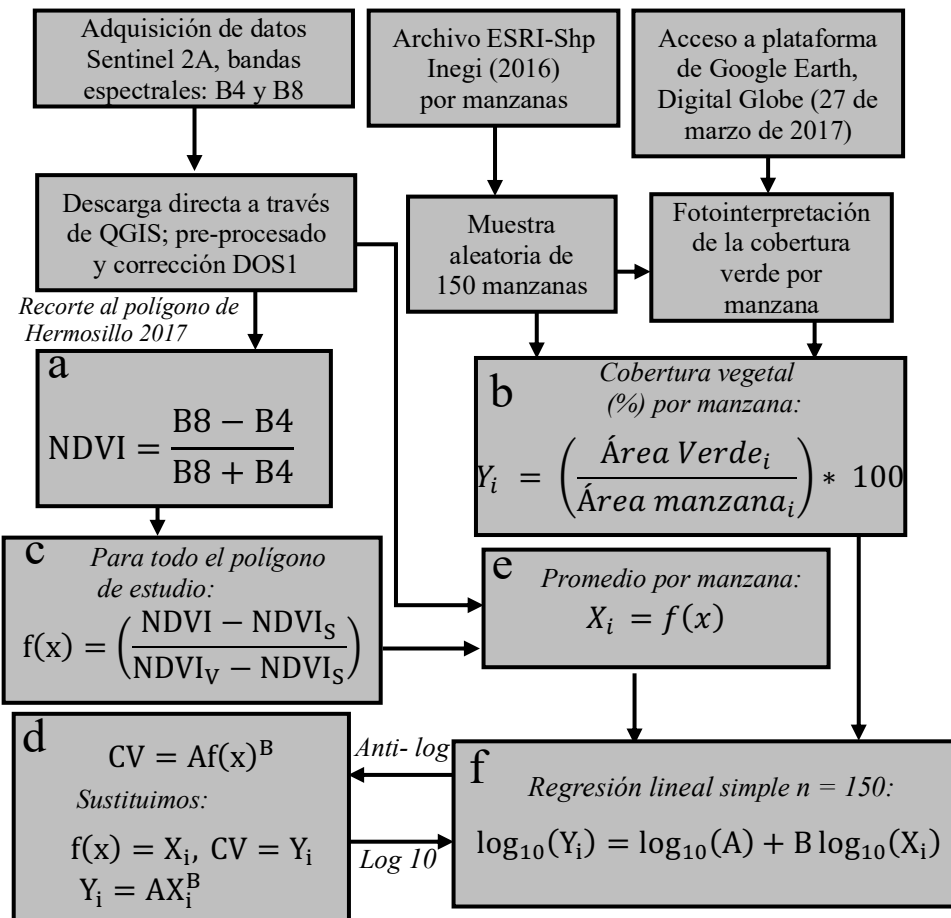
Estimación de la CV a partir del NDVI

El %CV se estimó a escala de manzana urbana, el procedimiento completo se describe en la Figura 1. El número total de manzanas de la ciudad era de 14 277 (Inegi, 2016), quedando un marco de muestreo final de 12 180 manzanas de donde se tomó una muestra aleatoria simple de 150.

Se fotointerpretó (Loelkes Jr., Howard Jr., Schwertz Jr., Lampert y Miller, 1983) las 150 manzanas sobre una imagen de GE de fecha del 27 de marzo de 2017, clasificando el área en dos categorías: a) superficie impermeable (espacio construido cubierto de concreto, asfalto y otros elementos artificiales); y b) la CV compuesta de dos elementos: b1) bosque urbano (definido previamente); y b2) estrato herbáceo o de pastos.¹¹

¹¹ Se realizaron algunas pruebas comparativas con otros métodos. Por ejemplo: las estimaciones fueron consistentes con las obtenidas a través de la plataforma de libre acceso llamada I-Tree creada por científicos del Servicio Forestal de los Estados Unidos, que incluye la herramienta I-Tree Canopy.

Figura 1. Diagrama de flujo para estimar el %CV a partir de la foteointerpretación y la FCV de Carlson y Ripley (1997)



Fuente: Elaboración propia con base en la revisión documental. Nota: $NDVI_S$ = valor mínimo de NDVI; $NDVI_V$ = valor máximo de NDVI; $i = 1,2,3, \dots, 150$ manzanas.

Con una imagen de Sentinel 2A (Agencia Espacial Europea) (fecha de la imagen: 14/06/2017; 11:08 A.M. hora local),¹² se calculó el NDVI (Figura 1, recuadro “a”); el NDWI o índice de agua de diferencia normalizada (McFeeters, 1996); y el NDBI o índice edificado de diferencia normalizada (Zha, Gao y Ni, 2003).

El modelo exponencial de Carlson y Ripley (1997) se linealizó (Figura 1, “f”) y se corrió una regresión simple, donde la variable dependiente es la CV estimada a través de la foteointerpretación (Y_i) y la variable independiente el promedio de $f(x)$ por manzana (X_i) (Figura 1, “c” y “e”). Este modelo pudiera parecer tautológico, sin embargo, permite

¹² La CV estaba casi en su totalidad compuesta de bosque urbano, que es un elemento perdurable y estable del EU, por lo que la diferencia de un año en la fecha de las imágenes para el cálculo de LST y CV (2016 y 2017, respectivamente) no se considero muy significativo.

tener una aproximación empírica de los valores de A y B,¹³ para relacionar el valor adimensional del NDVI con una medida tangible como el %CV.

Modelo estadístico multivariado: LST y CV

Se especificó un modelo de regresión lineal multivariado a escala manzana urbana para determinar la influencia del %CV en la LST. Las variables explicativas fueron: NDWI; NDBI; elevación (altitud), de acuerdo con los sugerido por Navarro-Estupiñán *et al.* (2020); viviendas por hectárea; población por hectárea; con la herramienta Semi-automatic Classification Plugin (SCP) (Congedo, 2013) de QGIS (QGIS Development Team, 2017) se estimó el porcentaje de celdas raster por manzana clasificadas como techos reflectivos, pavimento y suelo desnudo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de CV

La relación entre el NDVI y los valores del %CV, obtenidos a través de la fotointerpretación está representada en la Ecuación 1. Los coeficientes del modelo fueron estadísticamente significativos ($P < 0.001$) con un alto poder explicativo ($R^2 = 0.83$). Por lo que este estudio sugiere que se puede estimar el %CV por manzana a través del NDVI usando la fórmula de FCV de Carlson y Ripley (1997).

En su mayoría la CV correspondió al dosel arbóreo. De las 150 manzanas fotointerpretadas, solo en dos se detectó una pequeña proporción de vegetación de estrato herbáceo o de pastos. El mes de marzo es la época seca de Hermosillo, el verdor lo explica su arbolado compuesto de especies exóticas no caducifolias como benjamina (*Ficus benjamina*), olivo negro (*Bucida buceras*), naranja agria (*Citrus aurantium*), pingüica (*Ehretia tinifolia*), árbol del fuego (*Delonix regia*), yucateco (*Ficus nitida*), cacalósúchil (*Plumeria rubra*), entre otras, que son especies exóticas de porte arbóreo con mayor abundancia y distribución en la ciudad de Hermosillo (Navarro Navarro y Moreno Vázquez, 2016). Fotointerpretar una imagen de GE de julio-septiembre (época húmeda) mostraría una mayor CV estacional.

¹³ A estos valores se les asigna valores de B=2 y A=1 originalmente. En la regresión se estiman como β_0 intercepto y β_1 la pendiente, respectivamente.

- 14 Cobertura vegetal y la distribución de Islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora
López González, F. M., Navarro Navarro, L.A., Díaz Caravantes, R. E. y Navarro Estupiñán, J.

Los modelos lineal y exponencial especificados en la Figura 1 se muestran en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Modelos especificados.

$$\begin{aligned}\log_{10}(CV) &= 0.16319 + 1.0208 \log_{10}(f(x)) \\ CV &= Af(x)^B \\ CV &= 1.45609 * f(x)^{1.01208}\end{aligned}$$

Nota: Ver figura 1 para conocer el significado de las siglas.

De acuerdo con este modelo, Hermosillo tiene un %CVTP de 11.93¹⁴ (rango de 0 a 59%), la distribución de frecuencias indica que 38 por ciento de las manzanas poseen un %CV menor a 10 (ver gráfica 1). Este dato es comparable al encontrado por Peña Salmón (2011, p. 242) para otra ciudad árida del noroeste de México, Mexicali, Baja California, que estimó la CVTP de la mancha urbana en 13.88 por ciento. El resultado se aleja del calculado por Barrera Alarcón (2018), que usa polígonos de mucha extensión que incluyen cerriles intraurbanos y zonas periféricas con vegetación nativa, consideradas reservas de crecimiento. Ortega-Rosas *et al.* (2020) determinaron el porcentaje de cobertura de dosel arbóreo (bosque urbano) promedio en 6.4 por ciento (IC al 95% 0-39%). Este resultado sería comparable con el encontrado en el presente estudio, solo que ellos usaron una escala geográfica más extensa: AGEB. En general para ciudades desérticas de Estados Unidos, la cobertura del bosque urbano promedio se estimó en 10 por ciento, por ejemplo, específicamente reportaba Tucson con 14 por ciento; así como Ciudad Juárez, con 4 por ciento (Nowak *et al.*, 1996). Estudios más recientes de ciudades localizadas en la franja fronteriza árida y semiárida son los de San Diego, California, con 13 por ciento (SDRUF, 2020), y Yuma, Arizona, con 3.5 por ciento (City of Yuma, 2019). El Cuadro 2 muestra un resumen comparativo con otros estudios de los resultados encontrados en este trabajo.

¹⁴ Intervalo de Confianza (IC) al 95% 11.83-12.04%.

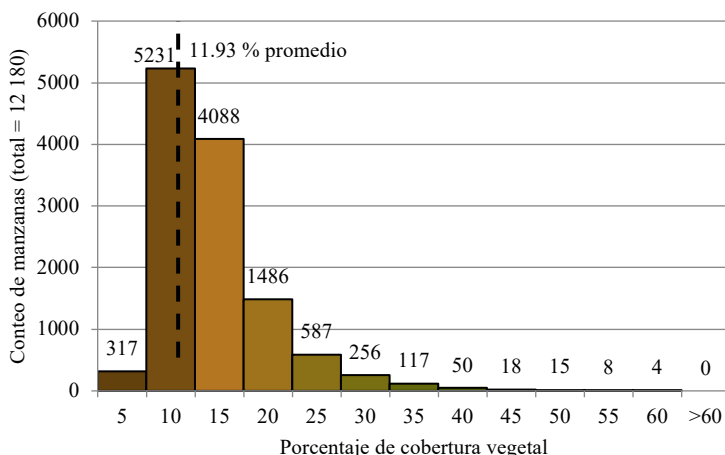
Cuadro 2. Comparación de resultados obtenidos en la estimación del %CVTP con otros estudios

Ciudad	Referencia	Tipo de %CV	Valor estimado (%)	Observaciones
Hermosillo, Sonora	Presente trabajo	CVTP	11.93	Ver metodología
Hermosillo, Sonora	Barrera Alarcón (2018)	CVTP	20.9	NDVI desde Landsat 8, resolución 30 m. Con polígonos muy extensos que incluyen cerriles intraurbanos y zonas periféricas con vegetación nativa.
Hermosillo, Sonora	Ortega-Rosas <i>et al.</i> (2020)	Bosque urbano	6.4	Foto interpretación ortofotos de alta resolución. Muestreo del 10% del área de cada AGEB.
Mexicali, Baja California	Peña Salmón (2011)	CVTP	13.9	NDVI desde Quickbird, resolución 2.6 m. Áreas públicas y privadas dentro de la mancha urbana.
Ciudad Juárez, Chihuahua	Nowak <i>et al.</i> (1996)	Bosque urbano	4.0	Muestreo áreas censales. No especifica el método utilizado.
Yuma, Arizona, EE. UU.	City of Yuma (2019)	Bosque urbano	3.5	Fotografía aérea. No especifica el método utilizado.
San Diego, California, EE. UU.	SDRUFC (2020)	Bosque urbano	13.0	LIDAR desde vuelos e imágenes de alta resolución.

Fuente: Elaboración propia.

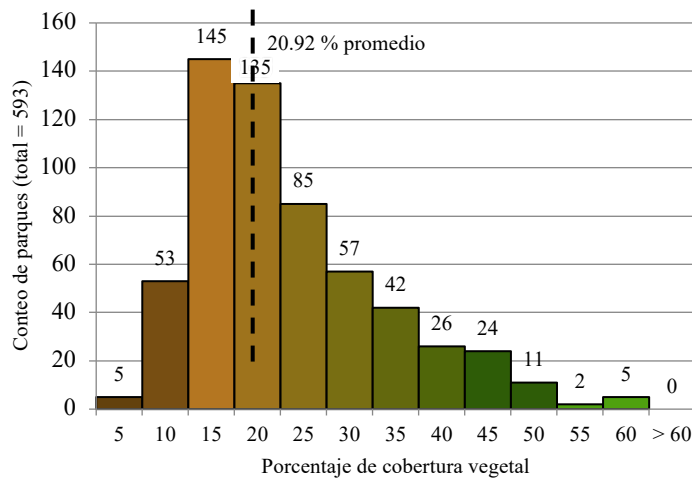
Por otra parte, se usaron 593 polígonos correspondientes a parques y jardines a cargo de la Dirección de Parques y Jardines del municipio de Hermosillo, estimando una CV promedio de 20.92 por ciento (ver gráfica 2). Bernal Grijalva *et al.* (2019) encontraron un valor de 27 por ciento para una muestra de 112 parques. El mapa 2 sintetiza los resultados obtenidos, donde el color verde oscuro indica las zonas que poseen un mayor %CV.

Gráfica 1. Distribución de frecuencia del %CV por manzanas y parques urbanos



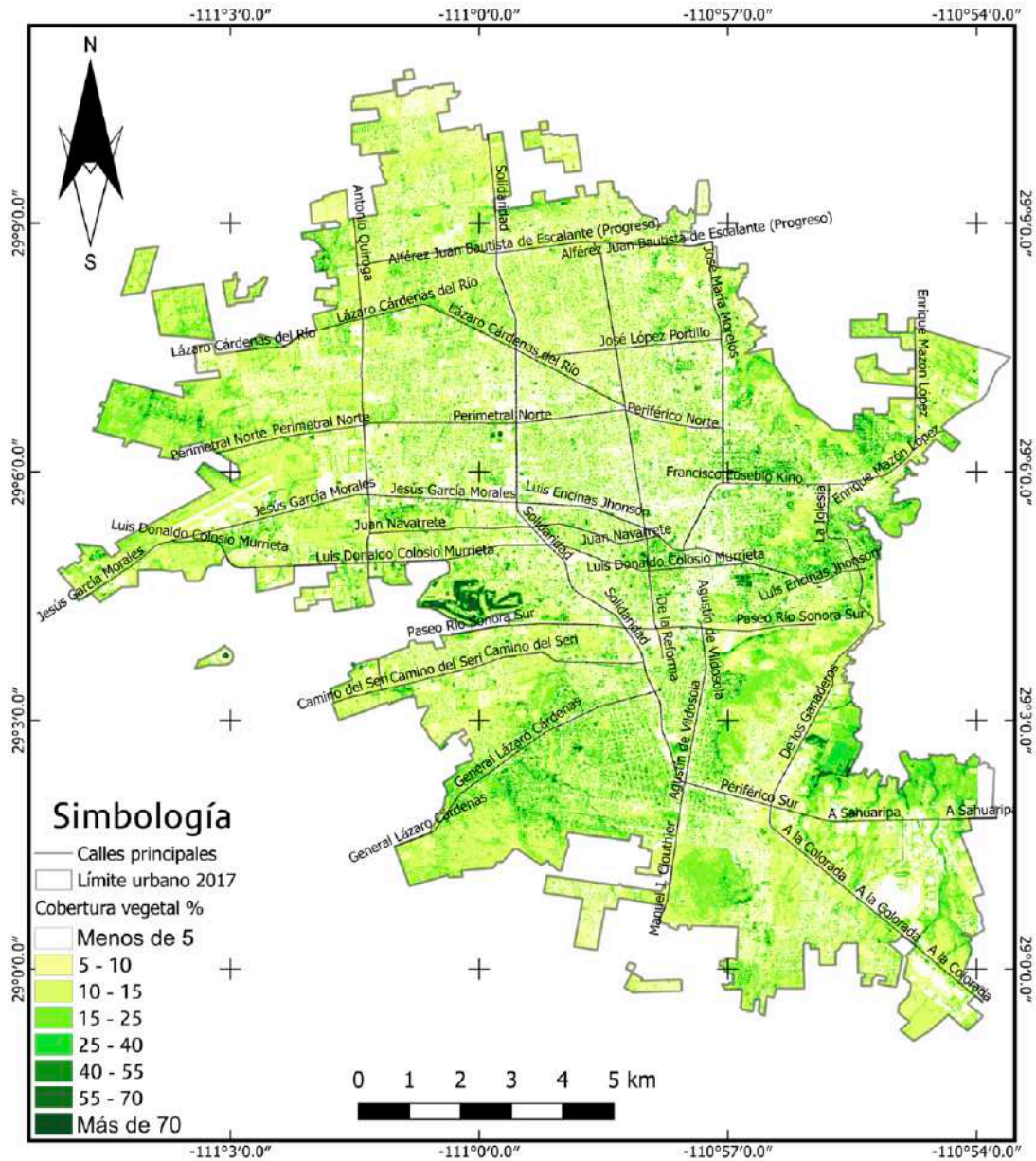
Fuente: Elaboración propia con datos de Sentinel 2A, GE 2017 e Inegi (2016).

Gráfica 2. Distribución de frecuencia del %CV para parques urbanos



Fuente: Elaboración propia con datos de Sentinel 2A, GE 2017 e Inegi (2016).

Mapa 2. Distribución del %CV de acuerdo con el modelo de la Ecuación 1

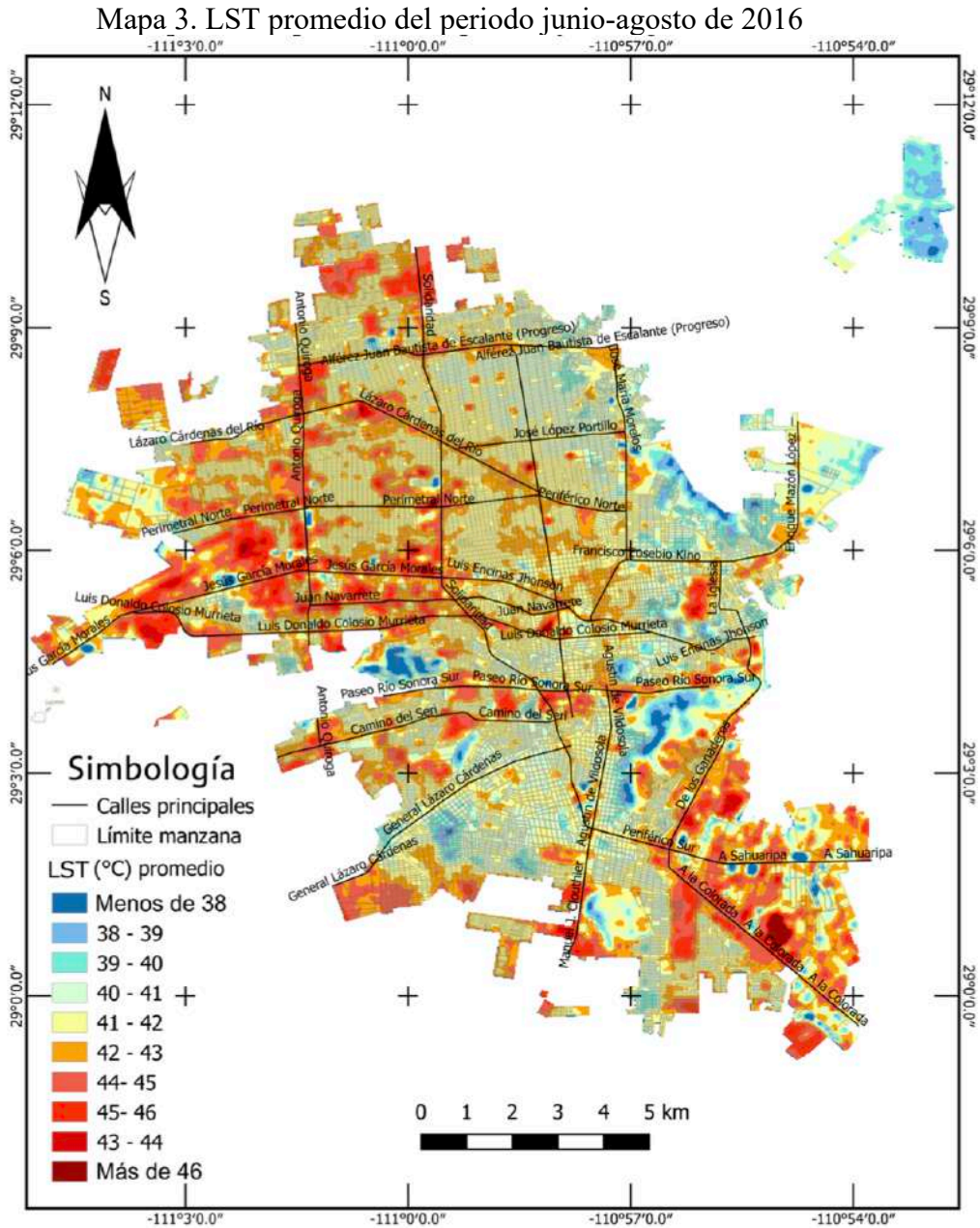


Fuente: Elaboración propia con datos de Sentinel 2A y Google Earth 2017.

Distribución de las temperaturas

El rango de LST promedio por manzana fue de 37.35 a 45.44° C. El mapa 3 resume los resultados, el color rojo indica las zonas con valores de temperaturas altas y los azules valores bajos, visualmente hay una distribución espacial heterogénea de esta variable.

La inspección visual del mapa de LST sugiere la formación de conglomerados cálidos o frescos. Se estimó el Índice de Moran (Moran, 1950) global en 0.96 ($P < 0.01$), confirmando la existencia de correlación espacial positiva. Esto indica que los píxeles con desviaciones arriba (o abajo) de la media son adyacentes.



Fuente: Elaboración propia con datos de Landsat 8.

El mapa de LST se contrastó visualmente con mapas similares producidos por Mercado Maldonado y Marincic Lovriha (2017), Barrera Alarcón (2018) y Navarro Estupiñán *et al.* (2020), encontrándose importantes coincidencias en muchos

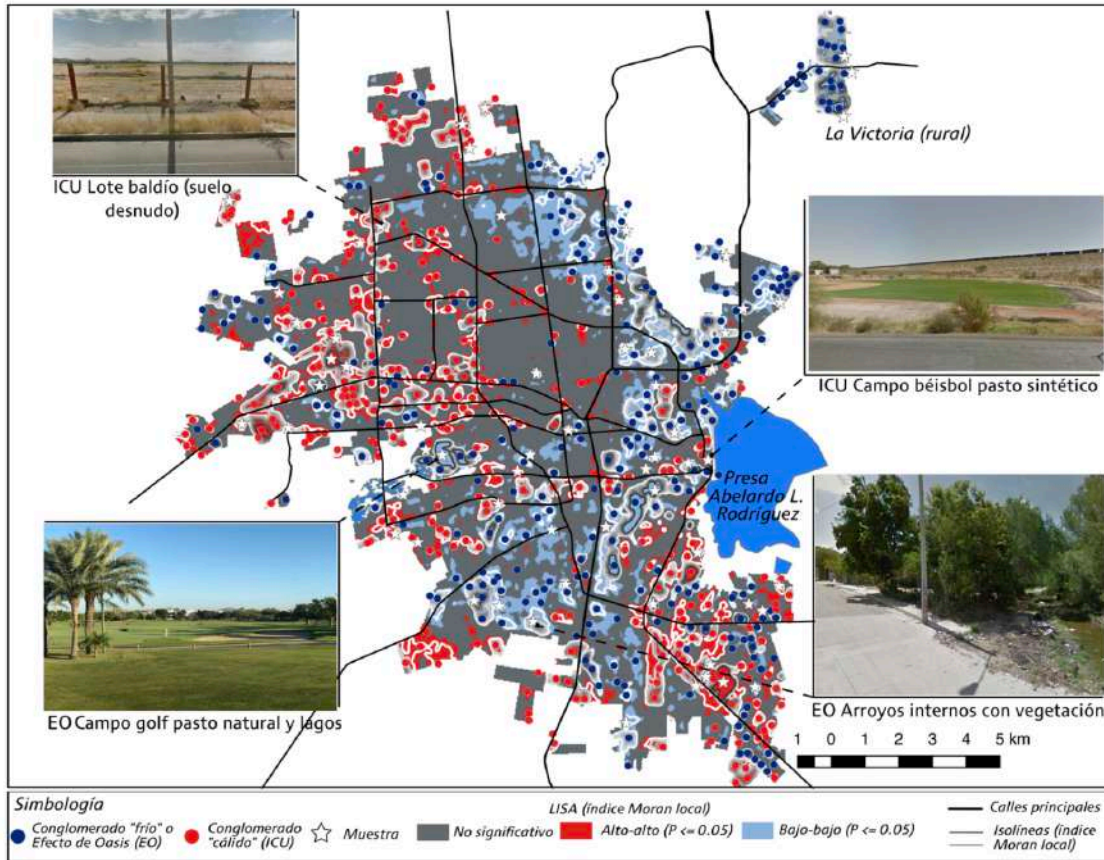
conglomerados cálidos o frescos. Adicionalmente, los resultados de esta investigación reafirman que la ICU de Hermosillo no sigue el patrón típico de isotermas concéntricas con un gradiente descendiente del centro a la periferia, sino un mosaico de zonas cálidas o frescas; esto coincide con los hallazgos de García-Cueto *et al.* (2007) para la ciudad de Mexicali.

La figura 2 muestra la formación de estos clústers obtenidos a través del índice local de Moran (Anselin, 1995). Los puntos fríos o cálidos se tomaron de los conglomerados con valores altos o bajos que fueron estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$). Posteriormente, se crearon líneas de contorno o isolíneas usando los valores del índice local de Moran; estas líneas sirvieron de guía para detectar puntos de concentración de los cuales se tomó el píxel central. Se identificaron 304 oasis urbanos y 326 ICU, con una LST promedio de 38.9°C y 44.2°C, respectivamente; la diferencia entre estos conglomerados fue estadísticamente significativa ($P < 0.01$). Para Hermosillo, en los meses cálidos de junio-agosto, 38°C puede considerarse como un oasis urbano, en esta escala de medición de la temperatura.

Con una muestra aleatoria de 32 ICU y 32 oasis urbanos se fotointerpretó el tipo de cobertura y uso de suelo de cada punto. Se pudo verificar que los lotes baldíos con suelo desnudo, pavimento y parques deportivos con pasto sintético consistentemente aparecen como ICU. La alta LST del suelo desnudo en zonas desérticas es un hallazgo común en otros estudios (Bokaie, Zarkesh, Arasteh, y Hosseini, 2016; García-Cueto *et al.*, 2007; Ibrahim y Rasul, 2017). El foco de calor con mayor temperatura en la ciudad aparece en un conglomerado de 280 celdas raster con LST promedio de 52.3°C (rango 50.06-54.16°C) en la zona industrial donde se ubica la planta de estampado y ensamblaje Ford.

Por otra parte, áreas con abundante vegetación: camellones de bulevares, parques sin pasto sintético, márgenes de arroyos y cerriles, puntos cercanos a la periferia urbana (Figura 2) aparecen mayormente como oasis urbanos. Consistentemente se observan techos (alrededor de 30) con alto albedo (blancos) que forman conglomerados fríos, tan relevantes como aquellos de parques urbanos con mucha CV. El efecto de estos techos es muy significativo (Costanzo, Evola y Marletta, 2016) por lo que aparecen como oasis urbanos sin CV.

Figura 2. Distribución espacial de los oasis (conglomerados fríos) e islas de calor urbanas (conglomerados cálidos) estimados con el índice local de Moran



Fuente: Elaboración propia con datos de Landsat 8 y Google Earth.

Temperatura y CV

Por último, se relacionó la LST con el %CV. Las variables se incluyeron secuencialmente con la finalidad de comparar el modelo completo (modelo 9) con un conjunto de modelos anidados (Cuadro 3). El principio de parsimonia estipula que el modelo más simple es el que se debe de preferir.

Con estos resultados concluimos que el modelo 8 es el que mejor se ajusta a los datos ($R^2 = 0.33$). A escala de manzana urbana, el modelo estimó una correlación negativa, estadísticamente significativa, entre la LST y el %CV. De acuerdo con el modelo 8, un aumento de la CV de 0 a 50 por ciento tendría un efecto en la reducción de la LST de 5.7°C , como sería el caso de reforestar un parque, donde como se deduce de la gráfica 2, se tienen una gran área de oportunidad para convertirlos en verdaderos oasis urbanos. Para la ciudad de Hermosillo, Ortega-Rosas *et al.* (2020) sugirieron que aumentar la cobertura del bosque urbano en 10 por ciento tendría un efecto en la reducción de la temperatura máxima diaria de 0.11°C (IC al 95% 0.05-0.14), y una disminución de 0.4°C (IC al 95% 0.21-0.49) de la temperatura media del aire.

Cuadro 3. Resultados de la estimación de los modelos de regresión lineal multivariados anidados.

Variable/ Indicador	Promedio y rango [◇]	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 9
Intercepto	--	42.0300 ***	44.0800 ***	43.2900***	43.4500* **	43.6100 ***	42.8200 ***	42.7800 ***	42.8900***	42.8900 ***
%CV	12.05 (0-59.44)	-0.0511 ***	-0.0516 ***	-0.1034 ***	-0.0864 ***	-0.0777 ***	-0.1059 ***	-0.1054 ***	-0.1125***	-0.1135***
Elevación (metros)	219 (171-351)	--	-0.0093 ***	-0.0086 ***	-0.0090 ***	-0.0092 ***	-0.0080***	-0.0080 ***	-0.0074 ***	-0.0074 ***
NDWI (x 100)	-15.93 (-39.46-0)	--	--	-0.0798 ***	-0.0619 ***	-0.0489 ***	-0.0989 ***	-0.0970 ***	-0.0972 ***	-0.0980 ***
NDBI (x 100)	0.03 (-20.65-21.75)	--	--	--	0.0397 ***	0.0511 ***	0.0365 ***	0.0336 ***	0.0211***	0.0205 ***
Techos reflectivos (%)	0.87 (0-58.79)	--	--	--	--	-0.0217 ***	-0.0163 ***	-0.0155 ***	-0.0163 ***	-0.0162 ***
Pavimento (%)	2.23 (0-100)	--	--	--	--	--	0.0342 ***	0.0348 ***	0.0299 ***	0.0297 ***
Suelo desnudo (%)	38.19 (0-100)	--	--	--	--	--	--	0.0012 ***	0.0016 ***	0.0016 ***
Población/hectárea	102 (0-383)	--	--	--	--	--	--	--	-0.0015 ***	-0.0012 ***
Viviendas/hectárea	34 (0-80)	--	--	--	--	--	--	--	--	-0.0009
G.L Residuales	--	11 504	11 503	11 502	11 501	11 500	11 409	11 408	11 407	11 406
R ²	--	0.1287	0.2175	0.2490	0.2679	0.2747	0.3233	0.3239	0.3340	0.3341
R ² ajustada	--	0.1287	0.2174	0.2488	0.2677	0.2744	0.3230	0.3235	0.3335	0.3336
AIC	--	27 314.7	26 080.3	25 609.9	25 317.7	25 212.5	24 416.3	24 408.4	24 237.7	24 238.1
SCR	--	7 231	6 495	6 233	6 076	6 020	5 616	5 611	5 528	5 527
△ SCR	--	--	737 ***	261 ***	157 ***	56 ***	403 ***	5 **	84 ***	1

NOTAS: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$; G.L.: grados de libertad; △ SCR.: cambio en suma de cuadrados residual. Observaciones: 11 506. ◇ Valores promedio por manzana. Por celda raster, a escala polígono urbano, los rangos son diferentes: %CV (0-91), NDWI (-71.62-58.53), NDBI (-55.06-91.12), LST (28.97-54.20). Vivienda/hectárea se restringió a 80 (95% de las manzanas).

Fuente: Elaboración propia con datos de Landsat 8, *Google Earth*, Sentinel 2A e Inegi (2010, 2016).

Respecto a las variables de control, no todos los signos de los coeficientes correspondieron a los esperados. Las variables densidad de vivienda y población fueron negativos con impacto muy reducido, se esperaba que zonas densamente pobladas tuvieran una mayor superficie construida (Navarro-Estupiñán *et al.*, 2020) y mayor LST. Los signos de las variables NDWI y NDBI son los esperados y su inclusión duplicó el poder explicativo del modelo reducido. Las cantidades relativas de pavimento, suelo desnudo y techos reflectivos por manzana presentaron coeficientes en el sentido esperado, aunque con magnitudes muy bajas.

La nula presencia de corrientes y cuerpos de agua naturales o artificiales como componente del ecosistema urbano de Hermosillo se evidenció con el NDWI. Este fluctuó de -0.716 a 0.585, tan solo el 0.005 por ciento del total de las celdas registraron un valor mayor a 0.1, umbral a partir del cual se detecta la presencia de agua, estas celdas quedaron fuera del entramado de manzanas urbanas. Valores muy negativos (<-0.38) se relacionaron con áreas verdes y los más positivos ($\sim-0.25-0.01$) con suelo desnudo o cubierta impermeables; esto resultó en una fuerte correlación negativa entre el %CV y el NDWI (-0.83 , $P < 0.05$).

Los resultados sugieren que se requieren variables de control relacionadas con los usos de suelo para conseguir una mejor especificación del modelo. Por ejemplo, había muchas manzanas escasamente pobladas de uso mixto y con muchos lotes baldíos con suelo desnudo, que se identificaron como conglomerados cálidos; por otra parte, había manzanas también despobladas, con uso de suelo de área verde deportiva y con mucha CV, así como manzanas con centros comerciales cerrados con techos muy reflectivos, estas últimas se evidenciaron como clústers fríos. No obstante, los resultados del trabajo de Navarro-Estupiñán *et al.* (2020) donde relacionan LST a los usos de suelo, muestran muy poca varianza entre ellos. En el presente estudio, tan solo 2.5 por ciento de las celdas raster tenían valores superiores (inferiores) a dos desviaciones estándar para LST.

CONCLUSIONES

La utilización de datos de percepción remota ofrece una opción robusta y suficientemente precisa para el monitoreo del EU, particularmente de su componente verde. Estos datos están mejorando constantemente en precisión y resolución. Lo más importante, existe una política global de los gobiernos que auspician los programas espaciales, en hacerlos accesibles a todo público en forma gratuita.

Los cuerpos y cursos de agua, así como la flora del EU, poseen el potencial de mitigar el efecto de ICU, mejorando el confort térmico de las personas. Sin embargo, las áreas “verdes” o “azules” en Hermosillo son muy limitadas. El componente “azul” es mínimo y está representado por espacios no inducidos (no creados ni diseñados) ubicados sobre el curso y márgenes del vado del río Sonora, como el humedal de La Sauceda, el único espejo de agua de uso recreativo abierto al público.

Por otra parte, los resultados estimaron un %CVTP para la ciudad de Hermosillo de 11.93 por ciento (rango 0-59%); de acuerdo con el modelo, 38 por ciento de las manzanas urbanas poseen un %CV igual o menor a 10, esto es, 90 por ciento de estas posee cubierta impermeable o suelo desnudo. La CV está dominada por lo que se conoce como dosel arbóreo. En la época seca, el verdor de la ciudad lo explican árboles y arbustos, ya que la cobertura herbácea o de pastos es casi nula.

El siguiente objetivo fue la estimación de la LST. Los resultados obtenidos estuvieron en el rango de 37.35 a 45.4 °C LST promedio por manzana urbana. Se estimó una relación negativa y estadísticamente significativa ($P < 0.01$) entre la LST y la proporción de CV por manzana. El modelo sugirió que un incremento de 10 por ciento de CV, reduciría la LST aproximadamente en 1.1 °C.

La distribución de la LST en el polígono urbano no mostró el patrón típico con un núcleo central más cálido y un gradiente descendiente hacia la periferia urbana; más bien se asemeja a un mosaico de conglomerados cálidos o fríos. La heterogeneidad espacial en la distribución de la variable de LST se puede interpretar como el efecto del ser humano modificando el clima a pequeña escala. Esto crea efectos de oasis o IFU diurnas, resultado de la presencia de más CV.

Considerando el EU y su componente verde como espacios diseñados por el ser humano, las implicaciones de política pública de estos resultados sugieren promover la densificación sostenible –tomando en cuenta el contexto de escasez de agua– del bosque urbano, bajo la premisa de lograr una distribución espacial homogénea a escala urbana, que brinde acceso igualitario de los servicios ambientales (por ejemplo, oasis urbanos) que la vegetación provee. Las metas de reforestación deben basarse en aumentar el %CVTP y no solo en el número de árboles plantados.

Este análisis produjo resultados a una resolución suficiente para poder recomendar acciones de mitigación a nivel local; esta metodología es de utilidad para que los gobiernos y centros de investigación observen y monitoreen el EU y sus beneficios en el bienestar de las personas.

REFERENCIAS

- Abril Fimbres, N. A. (2016, octubre 18). Aguas negras, graveras y basureros. *Proyecto Puente*.
- Acosta Enríquez, J. Á. (2009). Migration and Urbanization in Northwest Mexico's Border Cities. *Journal of the Southwest*, 51(4), 445-455.
<https://doi.org/10.1353/jsw.2009.0010>
- Acosta Gutiérrez, M. I. (2016). *1 Informe de Trabajo 2016 ¡Para Cumplir Contigo!* México: H. Ayuntamiento de Hermosillo.

24 Cobertura vegetal y la distribución de Islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora
López González, F. M., Navarro Navarro, L.A., Díaz Caravantes, R. E. y Navarro Estupiñán, J.

Acosta Gutiérrez, M. I. (2017). *2 Informe de Trabajo 2017*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.

Alobaydi, D., Bakarman, M. A. y Obeidat, B. (2016). The Impact of Urban Form Configuration on the Urban Heat Island: The Case Study of Baghdad, Iraq. *Procedia Engineering*, 145, 820-827. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.107>

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>

Arellano, A. (2018, julio 31). Hermosillo tiene 300% menos de áreas verdes; los gobiernos no tienen estrategias para reforestar. *Proyecto Puente*. Recuperado de <https://proyectopuente.com.mx/2018/07/31/sonora-tiene-300-menos-de-areas-verdes-los-gobiernos-no-tienen-estrategias-para-reforestar/>

Avdan, U. y Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016, 1480307. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>

Barrera Alarcón, I. G. (2018). *Metodología de evaluación de la sostenibilidad urbana a partir del análisis de las características climáticas y del medio físico construido* (Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Tecnologia de l'Arquitectura). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/118004>

BBC News. (2018, julio 24). Reality Check: Mapping the global heatwave. *BBC News*. Recuperado de <https://www.bbc.com/news/world-44936622>

Benavides Meza, H. M. (1989). *Bosque urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo*. Presentado en Memoria Congreso Forestal Mexicano, S.A.R.H., A.N.C.F. y Gobierno del Estado de México, 19-22 julio de 1989.

Bernal Grijalva, M. M., Navarro Navarro, L. A. y Moreno Vázquez, J. L. (2019). Adopción de especies nativas en la gestión de espacios verdes públicos sostenibles: El caso de Hermosillo. *Frontera norte*, 31. <http://dx.doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2049>

BLM. (1999). *Sampling vegetation attributes, Interagency technical reference*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044175.pdf

Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Araseth, P. D. y Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>

Boletín Oficial. (2014, octubre 1). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo, Modificación 2014. Tomo CXCIV Número 18, Sección II. *Boletín Oficial Gobierno del Estado de Sonora*.

- Boletín Oficial. (2018a, septiembre 10). Programa de drenaje pluvial e infraestructura verde del centro de población de Hermosillo 2018, Tomo CCII, Número 24 Secc. III. *Boletín Oficial Gobierno del Estado de Sonora*.
- Boletín Oficial. (2018b, septiembre 27). Norma técnica que establece las características y requerimientos para la infraestructura verde en el municipio de Hermosillo. Tomo CCII. Número 26 Secc. II. *Boletín Oficial Gobierno del Estado de Sonora*.
- Bolund, P. y Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Búrquez Valenzuela, F. (2003). *Tercer Informe 2000-2003*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- Cai, H., He, Z., Yang, D. y Deng, H. (2014). Distribution and formation of the abnormal heat island in Guiyang, southwestern China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083637. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083637>
- Carlson, T. N. y Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Chakraborti, S., Banerjee, A., Sannigrahi, S., Pramanik, S., Maiti, A. y Jha, S. (2019). Assessing the dynamic relationship among land use pattern and land surface temperature: A spatial regression approach. *Asian Geographer*, 36(2), 93-116. <https://doi.org/10.1080/10225706.2019.1623054>
- Chow, W. T. L., Brennan, D. y Brazel, A. J. (2011). Urban Heat Island Research in Phoenix, Arizona: Theoretical Contributions and Policy Applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 517-530. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00011.1>
- City of Yuma. (2019). *Tree & Shade Master Plan 2020*. Recuperado de https://www.yumaaz.gov/documents/community-development/community-planning/Tree_&_Shade_Master_Plan_20191219_FINAL_WebVersion.pdf
- Comrie, A. C. (2000). Mapping a Wind-Modified Urban Heat Island in Tucson, Arizona (with Comments on Integrating Research and Undergraduate Learning). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(10).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2020, marzo 2). Portal de Geoinformación 2020, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [SNIB]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). *Datos en archivos en hoja de cálculo (Excel) de las temperaturas máximas y mínimas del periodo 2000-2017 de la estación climatológica Observatorio en Hermosillo de la Comisión Nacional del Agua*.

- 26 Cobertura vegetal y la distribución de Islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora
López González, F. M., Navarro Navarro, L.A., Díaz Caravantes, R. E. y Navarro Estupiñán, J.
- Congedo, L. (2013). Semi-automatic classification plugin for QGIS. *Sapienza Univ*, 1-25.
- Costanzo, V., Evola, G. y Marletta, L. (2016). Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. *Energy and Buildings*, 114, 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.053>
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (Cotecoca). (1986). *Situación actual de los recursos forrajeros renovables y su potencial forrajero: Sonora (sin publicar)*. México: Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero-Secretaría de Agricultura y Recursos, Hidráulicos.
- Davey Resource Group. (2014). *Phoenix, Arizona Project Area Community Forest Assessment*. Recuperado de https://azsf.az.gov/sites/default/files/files/forestry/ucf/Desert-Canopy-Summary-Community-Forest-Assessment_Final_013015.pdf
- Declet-Barreto, J., Brazel, A. J., Martin, C. A., Chow, W. T. L. y Harlan, S. L. (2013). Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: Heat mitigation strategy for Phoenix, AZ. *Urban Ecosystems*, 16(3), 617-635. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0278-8>
- Del Río Sánchez, M. D. (2006). *III Informe de Gobierno 2003-2006*. Hermosillo, Sonora: Ayuntamiento de Hermosillo.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2017, abril 26). *DECRETO por el que se crea el Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, México.
- DOF. (2018, agosto 13). Aviso de Término de la Emergencia Extraordinaria por la presencia de onda cálida ocurrida del 23 al 26 de julio de 2018 en 64 municipios del Estado de Sonora. Coordinación Nacional de Protección Civil, Secretaría de Gobernación. *Diario Oficial de la Federación [DOF]*. Recuperado de http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534557&fecha=13/08/2018
- El Imparcial. (2014, septiembre 10). *Plagas de moscos y ratas agobian a los vecinos en la Primero Hermosillo*. Recuperado de <https://www.elimparcial.com/sonora/hermosillo/Plagas-de-mosc-os-y-ratas-agobian-a-los-vecinos-en-la-Primero-Hermosillo-20140910-0290.html>
- Endsley, K. A. (2018). 9.09-Remote Sensing of Socio-Ecological Dynamics in Urban Neighborhoods. En S. Liang (Ed.), *Comprehensive Remote Sensing*, (pp. 90-105). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10436-1>
- Fan, C., Myint, S. W., Kaplan, S., Middel, A., Zheng, B., Rahman, A., ... Blumberg, D. G. (2017). Understanding the Impact of Urbanization on Surface Urban Heat Islands—

- A Longitudinal Analysis of the Oasis Effect in Subtropical Desert Cities. *Remote Sensing*, 9(7), 672. <https://doi.org/10.3390/rs9070672>
- Felger, R. S., Johnson, M. B. y Wilson, M. F. (2001). *The trees of Sonora, México*. Inglaterra: Oxford University Press.
- Gallo, K. P., Tarpley, J. D., McNab, A. L., y Karl, T. R. (1995). Assessment of urban heat islands: A satellite perspective. *Atmospheric Research*, 37(1), 37-43. [https://doi.org/10.1016/0169-8095\(94\)00066-M](https://doi.org/10.1016/0169-8095(94)00066-M)
- Gándara Camou, E. (2009). *III Informe de Gobierno 2006-2009*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- Gándara Magaña, J. (2012). *III Informe de Gobierno 2009-2012*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- García-Cueto, O. R., Jáuregui Ostos, E., Toudert, D. y Tejeda-Martínez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.
- Gartland, L. M. (2008). *Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Recuperado de <https://doi.org/10.4324/9781849771559>
- Georgakis, C. y Santamouris, M. (2017). Determination of the Surface and Canopy Urban Heat Island in Athens Central Zone Using Advanced Monitoring. *Climate*, 5(4), 97. <https://doi.org/10.3390/cli5040097>
- González-Gómez, J. (2018). Mecanismos De Coordinación Para La Implementación Nacional De La Agenda 2030: Desafíos y Oportunidades Para México. *Revista Buen Gobierno*, Julio-diciembre (25), 1-17. Recuperado de http://revistabuengobierno.org/home/wp-content/uploads/2019/04/BG_25_4.pdf
- Grimmond, C. S. B., Oke, T. R. y Cleugh, H. A. (1993). The role of "rural" in comparisons of observed suburban-rural flux differences. *Int Assoc Hydrol Sci Pub*, (212), 165-174.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J. y Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 584-585, 1040-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A. y Alavipanah, S. K. (2016). Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing*, 8(4), 352. <https://doi.org/10.3390/rs8040352>
- Hao, X., Li, W. y Deng, H. (2016). The oasis effect and summer temperature rise in arid regions-Case study in Tarim Basin. *Scientific Reports*, 6(1), 35418. <https://doi.org/10.1038/srep35418>
- Howard, L. (1833). *The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it, Volume 1*. London: Harvey and Darton.

- Ibrahim, F. y Rasul, G. (2017). Urban Land Use Land Cover Changes and Their Effect on Land Surface Temperature: Case Study Using Dohuk City in the Kurdistan Region of Iraq. *Climate*, 5(1), 13. <https://doi.org/10.3390/cli5010013>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (1992). *Carta de Climas escala 1:1,000,000*. Sonora, México.
- Inegi. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>
- Inegi. (2015). Encuesta Intercensal 2015. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- Inegi. (2016). Inventario Nacional de Viviendas 2016, Información por Manzanas con datos actualizados al año 2010. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>
- Inegi (2019). Decimocuarta Edición del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Versión interactiva. Recuperado de <https://en.www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Inegi. (2020). Biblioteca Digital de Mapas. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Inzunza, A. (2019, agosto 1). El vivero municipal de Hermosillo regala más de 500 árboles al día. *Proyecto Puente*. Recuperado de <https://proyectopuente.com.mx/video/el-vivero-municipal-de-hermosillo-regala-mas-de-500-plantas-al-dia/>
- Kim, J.-I., Jun, M.-J., Yeo, C.-H., Kwon, K.-H. y Hyun, J. Y. (2019). The Effects of Land Use Zoning and Densification on Changes in Land Surface Temperature in Seoul. *Sustainability*, 11(24), 7056. <https://doi.org/10.3390/su11247056>
- Kopinak, K. (1997). *Desert Capitalism: What are the Maquiladoras?* Canadá: Black Rose Books Ltd.
- Lagarda Lagarda, I., Vázquez Landeros, M. y Noriega Nieblas, J. L. (2009). *Hermosillo a través de los mapas*. Hermosillo, Sonora: Instituto Municipal de Cultura y Arte. H. Ayuntamiento de Hermosillo (2006-2009).
- Landsberg, H. (1981). *The Urban Climate*. Nueva York: Academic Press.
- Loelkes Jr., G. L., Howard Jr., G. E., Schwertz Jr., E. I., Lampert, P. D., y Miller, S. W. (1983). *Land use/land cover and environmental photointerpretation keys* (Report N.º 1600). <https://doi.org/10.3133/b1600>
- López Caballero, A. (2015). *III Informe de Gobierno 2012-2015*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.

- López Cárdenas, C. T. (2019). *Primer Informe 2019, El Rescate de Hermosillo*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- López Gómez, A., Fernández García, F., y Arroyo Llera, F. (1995). *Teledetección y clima urbano. Variaciones nocturnas y diurnas de las islas de calor en Madrid*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- López, J. (2018). Desbordan basura canales y arroyos de Hermosillo. *El Imparcial*. Recuperado de <https://www.elimparcial.com/sonora/hermosillo/Desbordan-basura-canales-y-arroyos-de-Hermosillo-20180806-0115.html>
- Lozano, A. (2015, octubre 6). Preocupa a vecinos lagunas entre Quiroga y Paseo Río Sonora. *El Imparcial*. Recuperado de <https://www.elimparcial.com/sonora/hermosillo/Preocupa-a-vecinos-lagunas-entre-Quiroga-y-Paseo-Rio-Sonora-20151006-0253.html>
- Manley, G. (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(359), 70-72. <https://doi.org/10.1002/qj.49708435910>
- Matson, M., McClain, E. P., McGinnis, D. F. y Pritchard, J. A. (1978). Satellite Detection of Urban Heat Islands. *Monthly Weather Review*, 106(12), 1725-1734. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1978\)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2)
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mercado Maldonado, L., y Marincic Lovriha, I. (2017). Morfología de Isla de Calor Urbana en Hermosillo, Sonora y su Aporte hacia una Ciudad Sustentable. *Biotecnia*, 19(0), 27-33. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i0.407>
- Mildrexler, D. J., Zhao, M. y Running, S. W. (2011). Satellite Finds Highest Land Skin Temperatures on Earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7), 855-860. Recuperado de <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2011BAMS3067.1>
- Miller, R. W., Hauer, R. J. y Werner, L. P. (2015). *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*. Long Grove, Illinois: Waveland press.
- Morales, I. (1999). NAFTA: The institutionalisation of economic openness and the configuration of Mexican geo-economic spaces. *Third World Quarterly*, 20(5), 971-993. <https://doi.org/10.1080/01436599913442>
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23. <https://doi.org/10.2307/2332142>
- Muñoz Fernández, A. (2018). *3 Informe de Trabajo 2018*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.

- National Weather Service. (2017). Phoenix & Yuma Climate Year in Review. Recuperado de https://www.weather.gov/psr/Year_in_Review_2017
- Navarro Navarro, L. A. y Moreno Vázquez, J. L. (2016). Cambios en el paisaje arbolado en Hermosillo: Escasez de agua y plantas nativas. *región y sociedad*, 28(67). <https://doi.org/10.22198/rys.2016.67.a194>
- Navarro-Estupiñán, J., Robles Morua, A., Díaz Caravantes, R. y Vivoni, E. R. (2020). Heat risk mapping through spatial analysis of remotely-sensed data and socioeconomic vulnerability in Hermosillo, México. *Urban Climate*, 31, 100576. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100576>
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Vivoni, E. R., Zepeda, J. E., Montoya, J. A. y Verduzco, V. S. (2018). Observed trends and future projections of extreme heat events in Sonora, Mexico. *International Journal of Climatology*, 38(14), 5168-5181. <https://doi.org/10.1002/joc.5719>
- Nobel, P. S. (1984). Extreme temperatures and thermal tolerances for seedlings of desert succulents. *Oecologia*, 62(3), 310-317. <https://doi.org/10.1007/BF00384262>
- Nowak, D. J., Rowntree, R. A., McPherson, E. G., Sisinni, S. M., Kerkmann, E. R., y Stevens, J. C. (1996). Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning*, 36(1), 49-57. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00324-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00324-6)
- Ojeda Revah, L., y Espejel, I. (2014). Introducción. En L. Ojeda Revah y I. Espejel (Coord.), *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos: La visión de Baja California*, (pp. 11-18). Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). Frontera de Estados Unidos y México. *Salud en las Américas, Edición de 2012: Volumen de países*. Recuperado de https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2012/index.php?option=com_docman&view=download&alias=178-frontera-estados-unidos-mexico-178&category_slug=sa-2012-capitulos-pais-23&Itemid=231&lang=pt
- Ortega-Rosas, C. I., Enciso-Miranda, C. A., Macías-Duarte, A., Morales-Romero, D. y Villarruel Sahagún, L. (2020). Urban vegetation cover correlates with environmental variables in a desert city: Insights of mitigation measures to climate change. *Urban Ecosystems*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00982-8>
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C., Bréon, F.-M., ... Myneni, R. B. (2012). Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 696-703. <https://doi.org/10.1021/es2030438>

- Peña Salmón, C. Á. (2011). *Metodología para la planificación de áreas verdes urbanas: El caso de Mexicali, Baja California*. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Pickett, S. T. A., Burch, W. R., Dalton, S. E., Foresman, T. W., Grove, J. M., y Rowntree, R. (1997). A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosystems*, 1(4), 185-199. <https://doi.org/10.1023/A:1018531712889>
- QGIS Development Team. (2017). QGIS Development Team Quantum GIS vs 2.18. Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado de <http://qgis.osgeo.org>
- Qiu, G., Li, H., Zhang, Q., Chen, W., Liang, X., y Li, X. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8), 1307-1315. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60543-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60543-2)
- Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin American Meteorological Society*, 53(7), 647-648. <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477-53.7.646>
- Roth, M., Oke, T. R., y Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), 1699-1720. <https://doi.org/10.1080/01431168908904002>
- Sánchez Dórame, D. (2014, junio 3). Hermosillo alcanza casi los 50 grados; rompe récord en el mundo. *Excelsior*. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/06/03/963120>
- Sanders, R. A. (1984). Some determinants of urban forest structure. *Urban Ecology*, 8(1), 13-27. [https://doi.org/10.1016/0304-4009\(84\)90004-4](https://doi.org/10.1016/0304-4009(84)90004-4)
- Schmid, J. A. (1975). *Urban Vegetation: A Review and Chicago Case Study*. EE. UU.: Department of Geography-University of Chicago.
- San Diego Regional Urban Forests Council (SDRUFC). (2020). Tree Canopy – San Diego Regional Urban Forests Council (SDRUFC). Urban Tree Canopy Assessment. Recuperado 3 de mayo de 2020, de <http://sdrufc.com/treecanopy>
- Shreve, F., y Wiggins, I. L. (1964). *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert, Volume I*. United States of America: Stanford University Press.
- Skoković, D., Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., Julien, Y., Mattar, C., y Cristóbal, J. (2014). *Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8- TIRS sensor*. Presentado en LPVE (Land Product Validation and Evolution, ESA/ESRIN Frascati (Italy), Frascati (Italy). Recuperado de https://earth.esa.int/documents/700255/2126408/ESA_Lpve_Sobrino_2014a.pdf

- 32 Cobertura vegetal y la distribución de Islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora
López González, F. M., Navarro Navarro, L.A., Díaz Caravantes, R. E. y Navarro Estupiñán, J.
- Smith, C. L., Webb, A., Levermore, G. J., Lindley, S. J., y Beswick, K. (2011). Fine-scale spatial temperature patterns across a UK conurbation. *Climatic Change*, 109(3), 269-286. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0021-0>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., ... Martínez, P. (2008). Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>
- Trubetskoy, S. (2016, diciembre 14). Mexico's urban pileups. Recuperado de <https://sashat.me/2016/12/14/mexicos-urban-pileups/>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- United Nations. (2015). Sustainable Development Knowledge Platform. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/>
- United Nations. (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Recuperado de <https://population.un.org/wup/DataQuery/>
- Valencia Juillerat, J. E. (2000). *Juntos Cambiamos a Hermosillo ... Gracias, Tercer Informe de Gobierno 1997-2000*. Hermosillo: H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- Walker, J. S., y Briggs, J. M. (2007). An Object-oriented Approach to Urban Forest Mapping in Phoenix. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, May(5), 577-583. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.5.577>
- Zha, Y., Gao, J., y Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>