

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MEXICALI**

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**EVALUACIÓN DE INUNDACIONES E ISLAS DE CALOR URBANO PARA LA  
PLANIFICACIÓN DE ESPACIOS VERDES URBANOS MEDIANTE  
TELEDETECCIÓN, CASO DE ESTUDIO: MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE: DOCTOR EN CIENCIAS

**Presenta:**

**Juan Alejandro Saiz Rodríguez**

**Director de Tesis: Dr. Marcelo Antonio Lomeli Banda**

**Co Director: Dr. Alejandro Mungaray Moctezuma**

Mexicali, B.C

Septiembre del 2020

## **Dedicatoria**

*A mi familia, amigos y todos los que de alguna manera me motivaron a seguir adelante, en  
especial a Carlos Saiz.*

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con CVU: 411724 por la beca recibida durante el doctorado.

A la Universidad Autónoma de Baja California por la oportunidad de realizar esta investigación, del mismo modo agradezco a los profesores investigadores y a la administración que me apoyaron durante este proceso.

A la Universidad De Sonora agradezco el apoyo recibido durante el doctorado gracias a la cual esta investigación fue posible.

Un profundo agradecimiento mis directores A Dr. Marcelo Antonio Lomeli Banda y Dr. Alejandro Mungaray Moctezuma por su apoyo y guía durante la elaboración de este proyecto y publicaciones.

A mis amigos y compañeros Mizael, Carlos, Eliana, Hugo, Adrián, y mis amigos fuera de esta institución Javier, Dennis, Lizeth, Alejandra por todo su apoyo.

# Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | 1  |
| 1. Introducción .....                                  | 2  |
| 2. Planteamiento del problema.....                     | 6  |
| 2.1. Objetivos .....                                   | 8  |
| 2.1.2. Objetivo general .....                          | 8  |
| 2.1.3. Objetivos específicos.....                      | 8  |
| 2.2. Hipótesis.....                                    | 9  |
| 2.3. Justificación.....                                | 9  |
| 3. Marco teórico - conceptual.....                     | 10 |
| 3.1. Generalidades .....                               | 10 |
| 3.3. Cambio climático .....                            | 11 |
| 3.4. Calentamiento Global.....                         | 15 |
| 3.5. Efecto invernadero .....                          | 16 |
| 3.5. Situaciones adversas.....                         | 16 |
| 3.5.1 Islas de calor urbana.....                       | 17 |
| 3.5.2 Inundaciones.....                                | 21 |
| 3.6. Estrategias de respuesta.....                     | 22 |
| 3.7. Medidas de adaptación ante ICU e inundación. .... | 24 |
| 4. Materiales y Métodos .....                          | 26 |
| 4.1. El sitio de estudio .....                         | 26 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2. Equipo .....   | 29 |
| 4.2.1. Equipo de informática .....                            | 29 |
| 4.2.2. Programas utilizados .....                             | 29 |
| 4.2.3. Datos y capas de información .....                     | 29 |
| 4.3. Metodología .....  | 31 |
| 4.4. Elaboración de base de datos .....                       | 31 |
| 4.4.1 Análisis histórico de temperatura.....                  | 31 |
| 4.4.2. Temperatura de la superficie terrestre .....           | 33 |
| 4.4.2. Intensidad de enfriamiento de parques.....             | 41 |
| 4.4.3. Zonas de inundación.....                               | 41 |
| 4.4.3. Áreas verdes dentro de la mancha urbana.....           | 45 |
| 4.5. Mapa de Acción Prioritaria .....                         | 46 |
| 5. Resultados y Discusión .....                               | 50 |
| 5.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada .....     | 50 |
| 5.2. Temperatura de la superficie terrestre de la Tierra..... | 54 |
| 5.3. Índice de humedad topográfica .....                      | 56 |
| 5.4. Mapa de atención prioritaria .....                       | 57 |
| 5.5. Análisis y validación.....                               | 60 |
| 5.5.1. Validación del NDVI reclasificado .....                | 60 |
| 5.5.2. Validación de mapa de áreas verdes .....               | 64 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.5.3. Validación de TST .....  | 65  |
| 5.5.4 Validación de zonas de inundación.....                                  | 67  |
| 6. Discusión.....   | 71  |
| 6.1. Propuesta de manejo del escurrimiento superficial con áreas verdes ..... | 75  |
| 7. Conclusiones .....   | 79  |
| 7.1 Recomendaciones finales .....   | 81  |
| 8. Anexos.....  | 82  |
| Anexo 1. Frecuencia de temperaturas mayores de 39 grados .....                | 82  |
| Anexo 2. Temperaturas máximas y mínimas en parques Mexicali.....              | 85  |
| Productos y aportaciones a la ingeniería .....                                | 98  |
| Referencias.....  | 100 |

## **Resumen**

La urbanización descontrolada se está convirtiendo en una preocupación creciente entre las áreas urbanas. Esto se debe principalmente a los impactos multidimensionales que genera. Entre estos impactos, las islas de calor urbanas y las inundaciones cuestan millones y están afectando la vida humana y el medio ambiente. La planificación de la urbanización teniendo en cuenta las áreas más vulnerables puede ayudar a mitigar estos impactos. Para esta investigación, se utilizaron técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica para crear un mapa de atención prioritario para identificar áreas con una evidente escasez de áreas verdes. Este mapa fue creado a través de la combinación de capas, basado en la estimación de la temperatura de la superficie de la Tierra con imágenes de Landsat 8 y un índice de humedad topográfico de un modelo de elevación digital con una resolución espacial de 5x 5 metros. El resultado mostró una falta de espacios verdes dentro del área urbana. Se encontró que la proporción de espacios verdes era 2.43m<sup>2</sup> por habitante, sin embargo, se encontró que más del 60% de las áreas verdes no tienen un efecto significativo en la reducción de ICU, por lo tanto, la proporción efectiva de espacios verdes por habitante fue 1.27 m<sup>2</sup>. El mapa de acción prioritario (MAP) también identificó cómo estas variables nunca se han considerado en la planificación urbana y la dinámica de una ciudad en desarrollo. Las discusiones y conclusiones se centran en la relación de los impactos en las actividades y condiciones interurbanas al diseñar una infraestructura integral que sea resistente y sostenible a los efectos del cambio climático.

## **1. Introducción**

Al rededor del 54% de la población del planeta vive actualmente en zonas urbanas, ya que las poblaciones en desarrollo han pasado de lo rural a lo urbano; se espera que este porcentaje aumente, estas proyecciones de urbanización junto con el crecimiento general de la población mundial, podría representar un incremento de la población de aproximadamente 2,500 millones de personas en áreas urbanas para 2050 (UN, 2019). A medida que aumenta la migración a las áreas urbanas, la necesidad de un desarrollo urbano sostenible se vuelve esencial, esto implica el uso eficiente de los recursos y un diseño urbano adecuado para una buena calidad de vida (Haaland, 2015).

La urbanización descontrolada puede traer una serie de problemas, entre los cuales se incluye la reducción de la cobertura de las tierras de cultivo y la vegetación, los cambios de la fenología de la superficie terrestre, la contaminación del aire y principalmente la isla de calor urbano (ICU) (Zhou, 2014; d'Amour, 2017; Yao, 2017). La ICU es un fenómeno, donde las áreas urbanas experimentan una temperatura más alta que el entorno rural resultante y múltiples impactos para la sociedad y el medio ambiente. El problema de la ICU se ha estudiado durante más de 200 años desde que se descubrió en 1818 (Howard, 1818). La razón principal de este fenómeno es el proceso de urbanización, ya que la vegetación se reemplaza con el área edificada durante el desarrollo urbano (EPA, 2020). Este proceso conduce a cambios en las propiedades físicas de la estructura de la superficie que modifica el entorno térmico de las zonas urbanas (Li, 2020).

Diversos estudios han centrado su atención en los espacios verdes urbanos (EVU), como parques urbanos, bosques, jardines, etc., para mejorar la calidad de vida de los habitantes y el entorno urbano (Kim, 2018) Si bien los espacios verdes se han cubierto ampliamente, los



cambios dentro de los entornos áridos se han evaluado (Sun, 2017; Alghamdi, 2019), incluyendo la importancia de comprender cómo los espacios verdes afectan la temperatura urbana, que es crucial para evaluar los beneficios térmicos del paisaje y la planificación de espacios verdes (Foster, 2011). La vegetación verde puede mejorar el confort térmico interior y exterior, al mismo tiempo que proporciona múltiples servicios ambientales, como son: el almacenamiento de carbono (Escobedo, 2010; Jana, 2010; Ren, 2011); la reducción de la contaminación del aire (Tallis, 2011; Yin, 2011) y; sirviendo como puntos críticos de biodiversidad urbana (Cornelis, 2004).

La reducción de áreas impermeables y vegetación en espacios urbanos tiene una fuerte relación con la alteración del microclima (Huong, 2013), dicha evaluación de los elementos afecta las temperaturas urbanas, las áreas impermeables y los espacios verdes, por lo cual estos últimos se deben de tener en cuenta para la planificación urbana (Wong, 2011). Aunado a esto en muchos casos, la ICU puede provocar alteraciones en la precipitación en las cercanías de las ciudades. Varios estudios han encontrado un aumento de las precipitaciones en las regiones de las zonas urbanas (Shepherd, 2005; Mote, 2007; Lin, 2011). Estudios meteorológicos urbanos sobre las influencias de las grandes ciudades en la variación de la atmósfera a media escala y las precipitaciones se realizaron en los Estados Unidos desde 1970 (Huff, 1972). Los estudios confirman el efecto del fenómeno de las islas de calor en las precipitaciones de la región urbana, como el crecimiento de las precipitaciones en verano (Huff, 1986; Stanley, 1990).

Junto a una rápida urbanización sin una planificación beneficiosa de espacios verdes, la variabilidad climática y el cambio pueden ejercer un profundo estrés en los entornos urbanos, generando áreas sensibles a las olas de calor, las sequías y los cambios en la frecuencia y

magnitud de las inundaciones repentinas (Rosenzweig, 2011). Aunque el cambio climático es global, las raíces del problema se derivan de los cambios en el uso del suelo en el área urbana, al construir con materiales impermeables y disminuir las áreas verdes (Casillas-Higuera, 2014). Derivado de lo anterior el calor extremo es una preocupación creciente en un esquema global, pero particularmente en algunas áreas sensibles (Xu, 2016).

La investigación realizada por Gago (2013), concluye que los tres elementos principales a considerar en la planificación urbana, que tienen un gran impacto en la variación de temperatura en la ciudad a escala local son: construcción, espacios verdes y pavimentos. Varios estudios han desarrollado estrategias de mitigación en torno a estos tres elementos principales. Según Han (2014) encontraron que la ICU suele ser el mecanismo más importante por el cual la urbanización afecta los patrones de lluvia, porque el calentamiento conduce a un mayor movimiento ascendente y turbulencia del aire, lo que a su vez induce la precipitación (Lei, 2008; Meng, 2017).

En gran medida, estas dos áreas de preocupación: la protección contra inundaciones y la mitigación del calentamiento urbano han sido tratadas como problemas separados que requieren soluciones individuales, estudios como el enfoque propuesto por Fahy (2019), combinan múltiples riesgos en un solo representados por un índice, en el cual, los autores desarrollaron una metodología para evaluar el impacto de las islas de calor e identificar áreas vulnerables a las inundaciones. Utilizaron un índice de humedad topográfico para identificar áreas propensas a inundaciones y un índice de calor urbano de varias capas correspondientes al paisaje urbano y al medio ambiente, en cual logró realizar un análisis de dos variables que aquejan a las zonas áridas y semiáridas en eventos extremos.

También investigaciones recientes como la de Li (2020), considera que la estrategia se debe de centrar en el mapeo y la evaluación de áreas de espacios verdes para mitigar los efectos de la ICU, en donde sus resultados mostraron la intensidad de los efectos de enfriamiento de los espacios verdes y parques. Además, de la distribución espacial de las áreas verdes, se recomienda analizar la forma para los espacios verdes y composición, ya que los parques con formas menos complejas resultan ser más eficientes para enfriar las ICU.

México es considerado una de las naciones más vulnerables a los efectos e impactos del cambio climático, la exposición de aproximadamente el 68.2% de la población a esta fenómeno amenaza vidas y afecta las actividades socioeconómicas (World Bank, 2010). En los Estados Unidos, desde 1997, el Departamento de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), estableció una iniciativa para reducir las islas de calor en varias ciudades con el objetivo de proteger y mejorar la calidad de vida (Wong, 2005).

En las zonas áridas, el problema se intensifica tanto en la ICU como en inundaciones debido a las altas temperaturas y la intensa precipitación en poco tiempo. En ciudades en desarrollo y con una gran extensión urbana, como en el caso de la ciudad de Mexicali en el estado de Baja California, México, se han abordado estudios mediante percepción remota para identificar la isla de calor urbana y debido a las limitaciones de resolución y mapeo, las variables ICU no se abordaron con la mejor distribución espacial apropiada, sin embargo, se logró correlacionar su efecto con el uso de suelo (García-Cueto, 2007).

Por otro lado, la ciudad Mexicali, tiene el mayor número de muertes registradas por un golpe de calor. Los estudios en áreas áridas han demostrado una correlación positiva entre la mortalidad y el calor extremo, concluyendo que la tasa de mortalidad aumenta durante los períodos de temperatura máxima más alta (Martinez-Austria, 2017). Por lo que los

instrumentos de planeación para la ciudad de Mexicali del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población (PDUCP) publicado en 2007, aborda una visión de desarrollo con un enfoque sectorial e impactos ambientales. Sin embargo, este documento no tiene en cuenta el mecanismo para evaluar y monitorear sus resultados para futuras actualizaciones a escenarios futuros; Además, en su enfoque no incluye medidas favorables a la sostenibilidad urbana (Aguilar-Quintanar, 2019). Por lo cual, en esta investigación, se desarrolla una metodología para evaluar el impacto de las ICU e identificar áreas vulnerables a las inundaciones. El objetivo principal de esta investigación consiste en crear un mapa de acción prioritaria que podría ser utilizado como una herramienta de planificación urbana, donde se implementen proyectos de espacios verdes, con el fin de aumentar la resiliencia de la ciudad a los riesgos e impactos causados por las islas de calor urbano.

## **2. Planteamiento del problema**

La ciudad se encuentra considerada en un intenso desarrollo, donde la inmigración y la migración han aumentado con el asentamiento de una población proveniente de otros estados de México y países de América Central y del Sur. La ciudad concentra el 29.3% de la población del estado y presenta altos niveles de urbanización, con el 90.6% de su población urbana y el 9.4% de la población rural. El área urbana concentra 761,836 habitantes que representan el 74% de toda la población del municipio (COPLADE, 2015).

La evidencia muestra que los fenómenos extremos derivados del cambio climático están afectando a millones de personas en todo el mundo (Change, 2007). Se prevé una prevalencia de los fenómenos extremos que afectan a las comunidades urbanas, cambios en los patrones de lluvia y aumentos en las olas de calor poniendo en riesgo la posibilidad de alcanzar las metas de desarrollo de una ciudad. Por otro lado, la ciudad de Mexicali en el estado de Baja

California, México, tiene el mayor número de muertes registradas por un golpe de calor. Los estudios en áreas áridas han mostrado una correlación positiva entre la mortalidad y el calor extremo, concluyendo que la tasa de mortalidad aumenta durante los períodos de temperatura máxima más altos (Martinez-Austria, 2017). El instrumento de planificación para la ciudad de Mexicali es el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población (PDUCP) publicado en 2007, aborda una visión de desarrollo con un enfoque sectorial e impactos ambientales. Sin embargo, este PDUCP no tiene en cuenta el mecanismo para evaluar y monitorear sus resultados para futuras actualizaciones; Además, en su enfoque no incluye medidas favorables a la sostenibilidad urbana (Aguilar-Quintanar, 2019).

## **2.1. Objetivos**

### **2.1.2. Objetivo general**

El objetivo general de esta investigación consiste en crear un mapa de prioridades de acción que podría ser utilizado como herramienta de planificación para la implementación de proyectos de espacios verdes, con el fin de aumentar la capacidad de recuperación de la ciudad de Mexicali a los posibles riesgos e impactos causados por las islas de calor urbano y zonas propensas a inundaciones, mediante una herramienta automatizada que permita generar o replicar la elaboración de mapas en otras regiones en condiciones similares de áreas vulnerables a ICU a través del procesamiento y mapeo de la temperatura de la superficie terrestre (TST), que es una característica compleja que se puede describir como una combinación de vegetación verde, superficies de agua, materiales de superficie impermeables y suelos expuestos. Como resultado de esta complejidad, TST varía espacial y temporalmente. Las áreas propensas a inundaciones se evaluarán utilizando un Índice de Humedad Topográfica (TWI). Los resultados de esta metodología utilizando percepción remota podrían formar un instrumento de planificación para el desarrollo urbano en los países en desarrollo.

### **2.1.3. Objetivos específicos**

- Generar un mapa de riesgo por calor e inundación combinado para la ciudad de Mexicali, Baja California.
- Identificar en un mapa zonas de inundación mediante herramientas de sistemas de información geográfica y teledetección.

- Programar en GEE una herramienta metodológica que pueda replicar el proceso de identificación de zonas de atención prioritaria en ciudades en desarrollo con clima árido o semiárido con problemas de inundación urbana.
- Identificar las áreas verdes clasificarlas en 3 tipos según el tipo de parque, así como su eficiencia en la reducción de islas de calor.

## **2.2. Hipótesis**

La combinación de las metodologías individuales para identificar las zonas vulnerables por calor e inundación permite identificar las zonas de atención prioritaria que pueden ser caracterizadas para crear una herramienta de planeación urbana dentro del marco sostenible.

## **2.3. Justificación**

La evidencia muestra que los fenómenos extremos derivados del cambio climático están afectando a millones de personas en todo el mundo, con consecuencias que afectan la seguridad alimentaria, hídrica y de servicios ecosistémicos, así como impactos en la vulnerabilidad social. Los estudios prevén una mayor prevalencia de fenómenos extremos que afectaran a las comunidades rurales y urbanas, cambios en los patrones de lluvias y aumentos en las olas de calor poniendo en riesgo la posibilidad de alcanzar las metas de una ciudad en desarrollo y reducción de la pobreza para las generaciones actuales y futuras. (World Bank, 2014).

El crecimiento poblacional incrementa los riesgos y si están sujetos a una planeación urbana tradicional con infraestructura gris que se ve superada por fenómenos extremos cada vez más recurrentes, la resiliencia urbana tiende a ser cada vez más un problema del descontrol y organización de las políticas de planeación. Por lo cual los problemas actuales

de las ciudades necesitan de acciones integrales y estratégicas que mejoren la calidad de vida y que su dinámica tiempo, incremente la resiliencia dadas las condiciones urbanas actuales y su tendencia a crecer.

### **3. Marco teórico - conceptual**

#### **3.1. Generalidades**

En este capítulo se presentan los conceptos que dan soporte conceptual a la tesis derivada de una amplia revisión bibliográfica de estudios que han contribuido a la comprensión del cambio climático en el mundo y desde un aspecto urbano en el sitio de estudio. También se incluye las aportaciones con relación a los efectos de cambio climático y los esfuerzos de mitigación de los efectos del incremento de temperatura en el área urbana.

En este sentido se define como la ciudad como nivel de análisis el área urbanizada por las acciones del hombre que sufre procesos de transformación a través del tiempo, como espacios de representación, funcionalidad y ambientes, que tienen que estar regidos por una planeación urbana adecuada para generar las condiciones de vida apropiadas (Bridge, 2002). Por lo que esta investigación se centra en un aspecto hidro-climático de la planeación urbana, en donde los cambios de los cambios en el paisaje natural generan un microclima, El clima de un área pequeña como la ciudad o un valle y que puede ser diferente de la de la región general (NOAA, 2020).

La planeación en términos generales es una actividad que está presente en nuestro entorno y todos los procesos de planeación están concentrados en mejorar sistemáticamente las decisiones tomadas, las cuales pueden traer grandes beneficios (Levy, 2016). Por lo que la planeación urbana se tiene que ver desde un punto de vista sustentable, por los servicios que



presta integrar un entorno urbano con la vegetación y no solamente desde el escenario de crecimiento y las necesidades económicas, dicha planeación urbana sostenible debe de garantizar la adaptación al cambio climático, integrar todos los elementos que sean necesarios para ofrecer una mejor calidad de vida, la cual se verá reflejada en los diferentes intereses urbanos (Levy, 2016).

En este concepto de adaptación o resiliencia urbana, se ha difundido durante las últimas décadas en cuestiones sociales y ambientales que permite considerar la evolución de una ciudad desde una perspectiva muy amplia que podría considerarse en este contexto como la adaptabilidad que muestran algunas ciudades para enfrentarse a procesos adversos y revertirlos, lo que se traduciría en una mayor competitividad, mejora en aspectos sociales y calidad de vida y su sostenibilidad, así como aspectos atractivos para inversiones y empresas, generando una nueva dinámica urbana (Méndez, 2012). Para esto es importante conocer los sucesos relacionados con el cambio climático y como alrededor del planeta se han tomado decisiones, así como, acuerdos que se han tomado en busca de una participación que traería un beneficio global, con metas a corto, mediano y largo plazo.

### **3.3. Cambio climático**

Para comprender los procesos aplicados en la investigación, es importante evaluar a lo largo de la perspectiva histórica que ha llevado al estado actual del concepto de cambio climático, este capítulo comienza con el análisis bibliográfico y el comportamiento natural del mismo, luego se describe los procesos en la historia de la ciencia del cambio climático mediante ejemplos característicos y como se han descartado conceptos y estudios a medida que la investigación proporciona información valiosa para la comprensión del cambio climático a través de la historia.

En ocasiones escuchamos referirse al tiempo atmosférico con el término de clima. Este malentendido es de hecho un error común, que complica comprender el concepto de cambio climático. Actualmente el concepto de cambio climático se define como la consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero de las actividades antropogénicas en donde se manifiesta en un aumento de la temperatura global, se modifican patrones de precipitación, el nivel del mar y se modifican los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Pero históricamente existen diferentes percepciones del clima que no están limitadas a una región o país, si no que sucede en todo el mundo, en algunas regiones más evidentes que en otras. El concepto de cambio climático se ha transformado a través del tiempo junto con las actividades humanas.

Por ejemplo, en 1930 se consideraban teorías como la lluvia sigue al arado y el cultivo en seco, que actualmente son consideradas inverosímil y los efectos percibidos eran locales, pero si se colocan en un escenario de limitada información climática y agrícola, son comprensibles estos conceptos para las condiciones observadas en la época (Libecap, 2002). De aquí la importancia actual de instrumentar y recolectar datos climáticos que pueden ayudar a conocer y proyectar las condiciones climáticas, de manera que se puedan proponer acciones de adaptación, conociendo los impactos y la vulnerabilidad regional.

Uno de los proyectos de investigación más famosos fue una estación de monitoreo establecida en 1958 por Charles David Keeling de instituto de oceanografía Scripps en el Observatorio de Mauna Loa de Hawái. El legado de Keeling incluye un programa de medición que perdura hasta el día de hoy, que proporciona un registro autorizado de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico que es la piedra angular de la ciencia climática moderna atendiendo la preocupación por el calentamiento global. La curva de Keeling, el gráfico

icónico que presenta estos datos, es un poderoso símbolo del impacto humano sobre el medio ambiente y el papel de los combustibles fósiles en el cambio climático global (Harris, 2010).

En 1970 a medida que incrementaba la preocupación por los contaminantes que las actividades antropogénicas surgió el término de enfriamiento global, en donde algunas publicaciones teorizaban que dichas emisiones a la atmósfera podrían bloquear la luz solar y enfriar la tierra (Peterson, 2008).

Para muchos 1988 representa un punto de inflexión en donde los fenómenos hidrológicos centraron la atención en el cambio climático. James E. Hansen de National Aeronautics and Space Administration (NASA) que estaba 99% seguro de que la tendencia al calentamiento no era una variación natural, sino que era causada por una acumulación de dióxido de carbono y otros gases artificiales en la atmósfera (Shabecoff, 1988).

Al año siguiente, en 1998 se estableció el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), para proporcionar información desde una visión científica sobre el cambio climático, sus impactos, causas, posibles recuperaciones y estrategias de respuesta (IPCC, 2019). El concepto de calentamiento global tomó fuerza como un fenómeno latente y se comenzaron a evaluar predicciones y advertencias de las olas de calor, sequías y otros fenómenos.

En 1997, las administraciones gubernamentales globales realizaron una convención en la cual se trataron discusiones para tratar de frenar las emisiones de gases invernadero para evitar los pronósticos graves. Este primer acuerdo se le conoce como el Protocolo de Kioto, el cual se basa en los principios y disposiciones de la convención y sigue su estructura basada en anexos. En donde a los países desarrollados se les impone una carga más pesada de

responsabilidad, porque reconoce que son en gran parte responsables de los altos niveles actuales de emisiones en la atmósfera (UN, 2019).

En la última década la adaptación de las medidas pertinentes ha representado un desafío, económico político y social, en donde se trabaja para llegar al desarrollo de un enfoque efectivo y basado en la ciencia para abordar los problemas del cambio climático, tomando como base el protocolo de Kioto, como un proceso inicial para unir a las naciones en este tema (Bush, 2001).

Un nuevo acuerdo fue alcanzado a nivel global en 2015 para combatir el cambio climático para intensificar las acciones e inversiones pertinentes para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. El acuerdo logrado en Paris hace que los países involucrados tengan una ambiciosa causa en común de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos, considerando el apoyo a los países en desarrollo para lograr sus metas, trazando un nuevo rumbo, intentando mantener la temperatura mundial por debajo de los 2°C limitarlo a 1.5 °C (Schleussner, 2016)

El compromiso de muchos países de involucrarse como nación, sin embargo, decisiones como la presidente de los Estados Unidos de América (EUA) Donald Trump de retirar a su país del acuerdo de Paris, llevan a algunas entidades federativas, destacando California, a realizar esfuerzos notables en la materia y desean seguir presentes en las negociaciones internacionales. En cuanto México, reitera su participación como uno de los primeros países en desarrollo dispuesto a asumir mayores compromisos en la materia de mitigación, destacando que, por su situación, no son de un carácter obligatorio (Torres, 2019).

Respecto a la política, se emprendieron acciones desde el año 2000, con prioridad en la reducción de los gases de efecto invernadero y la elaboración de programas de cambio climático. En este sentido, las administraciones estatales son importantes para la implementación de acciones de adaptación y mitigación, en embargo, la mayoría de los estados se encuentra en un nivel bajo de cumplimiento de las políticas de cambio climático, Estando Baja California como uno de los estados con menor cantidad de instrumentos. y con dos de las zonas industriales más vulnerables al cambio climático de todo México: Tijuana y Mexicali (Jiménez, 2020).

### **3.4. Calentamiento Global**

El término "calentamiento global" desde el aspecto del cambio climático está caracterizado por el aumento en la temperatura superficial promedio de la Tierra durante el siglo pasado debido principalmente a la quema de combustibles fósiles que aumentan los gases de efecto invernadero (NASA, 2019). Existe un comportamiento natural calentamiento natural en la Tierra el cual es ejercido principalmente por el vapor de agua, y esto juega un papel crucial en mantener la temperatura de la superficie de la Tierra habitable para los humanos y otras especies. De manera alarmante, las actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles, han alterado el invernadero natural de la Tierra (NASA, 2019; Lindsay, 2019)

La temperatura promedio de la superficie del planeta ha aumentado alrededor de 2.0 grados Fahrenheit (1.1 grados Celsius) desde fines del siglo XIX, un cambio impulsado en gran medida por el aumento de dióxido de carbono y otras emisiones de origen humano a la atmósfera. La mayor parte del calentamiento se produjo en los últimos 35 años, siendo el 2016 el año más cálido registrado (NASA, 2017)

Según análisis de la NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), las temperaturas de la superficie global de la Tierra en 2019 fueron las segundas más cálidas desde que comenzó el mantenimiento de registros moderno en 1880 (NASA, 2020).

### **3.5. Efecto invernadero**

El efecto invernadero es la forma en que el calor queda atrapado cerca de la superficie de la Tierra por los "gases de efecto invernadero". Estos gases que atrapan el calor pueden considerarse como una manta envuelta alrededor de la Tierra, que la mantiene más tostada de lo que sería sin ellos (NASA, 2020). Los gases de efecto invernadero incluyen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>), Penta fluoruro de trifluorometil azufre (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>), éteres halogenados (Kristin, 2006).

El Sol alimenta el clima de la Tierra, irradiando energía a longitudes de onda muy cortas, predominantemente en la parte visible o casi visible (por ejemplo, ultravioleta) del espectro. Aproximadamente un tercio de la energía solar que alcanza la parte superior de la atmósfera de la Tierra se refleja directamente de regreso al espacio. Los dos tercios restantes son absorbidos por la superficie y, en menor medida, por la atmósfera. Para equilibrar la energía entrante absorbida, la Tierra debe, en promedio, irradiar la misma cantidad de energía de regreso al espacio. debido a que la Tierra es mucho más fría que el Sol, se irradia a longitudes de onda mucho más largas, principalmente en la parte infrarroja del espectro (Figura 1).

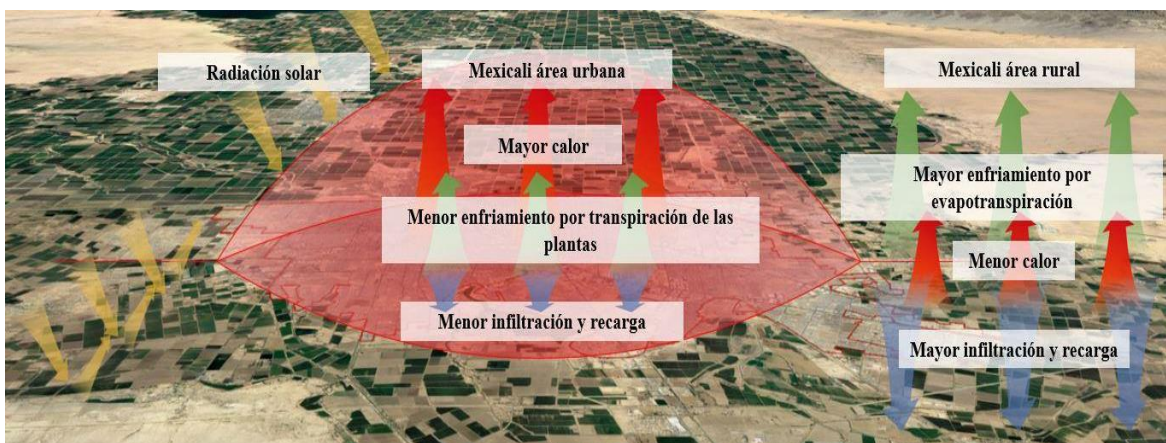
### **3.5. Situaciones adversas**

Con respecto a la definición de resiliencia urbana nos encontramos con la adaptación a situaciones adversas, en este estudio las situaciones adversas están enfocadas en las zonas

áridas y semiáridas. Esto nos lleva a analizar las temperaturas elevadas y los efectos de intensidad de la precipitación como las principales situaciones adversas en este estudio.

### 3.5.1 Islas de calor urbana

Las grandes áreas urbanas generalmente tienen un comportamiento diferente en comparación con las áreas rurales, las ciudades suelen ser más cálidas que los poblados circundantes debido a la pérdida de vegetación, incremento en el pavimento y edificios que absorben la energía del sol, la reducción del flujo de aire en los callejones y el calor generado por vehículos, aires acondicionados y fábricas, por lo que se genera isla de calor urbana (ICU) (Figura 1). Las temperaturas diurnas en las ciudades son más altas que en las zonas rurales, y la diferencia de temperatura durante la noche es aún mayor debido al calor retenido durante el día. Las ciudades son propensas a las olas de calor, a menudo asociadas con la contaminación del aire. El calor extremo y la mala calidad del aire representan riesgos para la salud de los niños, las personas mayores, las personas con enfermedades crónicas y los trabajadores al aire libre (Ahima, 2020).



**Figura 1.** Esquema de isla de calor urbana. Fuente: propia.

La isla de calor urbana tiene décadas siendo estudiada junto con su relación con el crecimiento urbano (Oke T. R., 1973), Por lo general, los valores de la temperatura de la superficie terrestre (TST) se obtienen utilizando los registros de tiempo de esta variable desde las estaciones meteorológicas del sitio del área de estudio (Olave, 2008). Otra opción de medición es mediante barridos de temperatura con sensores térmicos que permitan realizar una distribución espacial apropiada de la mancha urbana. (Fahy, 2019)

Con la puesta en órbita de algunos satélites con sensores especializados, diferentes estudios han confirmado la presencia de ICU utilizando herramientas de sistemas de información geográfica y teledetección (Streutker, 2003; Chen, 2006; Imhoff, 2010). Una de esas opciones de imágenes de satélite para la identificación de islas de calor es Sentinel, la cual tiene 6 misiones en la actualidad, la primera lanzada en abril del 2014 y la más reciente en octubre de 2017 (ESA, 2020).

Por otra parte, la nasa tiene en operación para la medición de la TST, un espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada o MODIS por sus siglas en inglés, es un instrumento clave a bordo del satélite Terra y Aqua (NASA, 2020). Los datos diarios de temperatura de la superficie terrestre y de emisividad se recuperan a 1 km de píxeles mediante el algoritmo generalizado de ventana dividida y a 6 km de cuadrículas mediante el algoritmo de día / noche.

Una opción con mejor resolución espacial son los datos obtenidos de las misiones Landsat, actualmente con 9 misiones, en donde las imágenes van mejorando continuamente y sus datos son utilizados en análisis científicos avanzados, proporcionando resultados mejorados incrementando así la capacidad de análisis (USGS, 2019). Landsat 8 se lanzó el 11 de febrero



de 2013 desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California, lleva el Operational Land Imager (OLI) y el sensor infrarrojo térmico (TIRS).

Entre las capacidades del Landsat 8 y la identificación de nuevas oportunidades científicas y de aplicaciones se describen con respecto a la calibración y la caracterización radiométrica; reflectancia de superficie; albedo de superficie; temperatura superficial, evapotranspiración y sequía; agricultura; cobertura del suelo, condición, perturbación y cambio; agua dulce y costera; nieve y hielo (Roy, 2014).

Landsat puede generar una capa de TST con una resolución espacial mucho más alto que MODIS, pero con una resolución temporal menor, una vez cada 16 días en comparación a la adquisición diaria de imágenes por MODIS (Cleugh, 2007). Por lo que, las imágenes de Landsat son la fuente más ampliamente utilizada de datos de teledetección (Miller, 2013).

Con la disponibilidad de estos datos se han probado diferentes metodologías para obtener la estimación de la TST algunos de los algoritmos recopilados se muestran en la tabla 1, con la característica de que tienes aplicaciones actuales derivadas de las nuevas fuentes de información.

**Tabla 1.** Métodos de estimación de TST

| <b>Método</b> | <b>Características</b>   | <b>Referencia</b> |
|---------------|--|-------------------|
| Mono-ventana  | Este método es capaz de estimar la TST directamente en función de la ecuación de transferencia de radiación térmica de superficie sin corrección | (Qin, 2001)       |

---

atmosférica, requiere de dos parámetros: temperatura atmosférica media efectiva y de la temperatura de superficie.

---

|                  |  |   |
|------------------|--|---|
| Ventana dividida | Es un algoritmo eficiente, calcula la TST con la emisividad conocida utilizando las diferentes absorciones atmosféricas en canales TIR       | (Anding & Kauth, 1970)<br><br>(Sobrino J, 1994)       |
| Multi ángulo     | LA desventaja de este algoritmo es aplicable solo a las superficies homogéneas, la ventaja es que es relativamente sencillo y muy eficiente. | (Sobrino JA, 1996)                                    |
| Canal único      | La ventaja de este método es su simplicidad y eficiencia. El algoritmo es aplicable a sensores con un solo canal TIR.                        | (Jiménez-Muñoz, 2014)<br><br>(Jimenez-Munoz JC, 2009) |

---

En las misiones anteriores a Landsat 8, solo había un canal infrarrojo térmico. Por lo tanto, se desarrolló un algoritmo de un solo canal para obtener TST de esta banda. Investigaciones influyentes fueron realizadas principalmente por Jiménez-Muñoz et al. (Jiménez-Muñoz, 2014). Por otro lado, Landsat 8 TIRS tiene dos bandas térmicas y eso dio cabida a adaptar el

algoritmo de Multi-canal (Sobrino, 1993). En donde se analiza la superficie de un material es su efectividad en la emisión de energía como radiación térmica, denominada emisividad, radiación que puede incluir en el rango visible (luz) y radiación infrarroja, que no es visible para los ojos humanos (Houghton, 2003).

### **3.5.2 Inundaciones**

Durante los últimos años las ciudades en riesgo por inundación han incrementado considerablemente, el tema se vuelve aún más notorio en países en desarrollo, generado por la vulnerabilidad a las precipitaciones en temas de expansión urbana, zonas marginadas con deficiencia en la infraestructura y crecimiento poblacional no controlado (Hernández, 2010).

La planeación urbana y el ordenamiento territorial dentro del área urbana representa una eficaz herramienta de reducción de riesgo de inundaciones, dentro del marco de la sostenibilidad ambiental. En las áreas urbanas actuales, la estrategia más utilizada para la reducción de inundaciones es la obra hidráulica, debido al riesgo que representa el manejo del recurso hídrico, tradicionalmente con reencauzamiento y colectores de agua (Olcina Cantos, 2004).

Para poder identificar cuerpos de agua existentes para reencauzamiento del recurso hídrico existen métodos para delinear las características de aguas abiertas y mejorar su presencia en imágenes digitales de percepción remota. El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI, por sus siglas en inglés) por ejemplo utiliza la radiación infrarroja cercana reflejada y la luz verde visible para mejorar la presencia de tales características al tiempo que elimina la presencia de características del suelo y la vegetación terrestre (McFeeters, 1996).

Para poder realizar este tipo de análisis utilizan técnicas que involucran la morfología del terreno existen indicadores de humedad en estado estacionario conocido como índice de humedad topográfico (IHT). Se usa comúnmente para cuantificar el efecto topográfico de los procesos hidrológicos (Sørensen, 2006). Para analizar otros factores que intervienen en la dinámica del recurso hídrico intraurbano se pueden utilizar el análisis de vegetación y de edificación mediante percepción remota. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada también conocido como NDVI, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, por medio de sensores remotos instalado principalmente en satélites, con base a la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (Verdin, 2003). Por otro lado, es posible utilizar para mapear automáticamente áreas construidas. La principal ventaja de este método es la respuesta espectral única del área urbanizada y otras cubiertas de tierra (Karanam, 2017) que tiene una interacción con el flujo del recurso hídrico intraurbano.

### **3.6. Estrategias de respuesta**

En este capítulo se analizan las medidas a nivel global, así como los estudios de casos destacados adaptación al cambio climático, particularmente las relacionados infraestructuras verdes y azul en áreas urbanas. Tradicionalmente la infraestructura gris son las estructuras convencionales de almacenamiento y conducción utilizadas para la gestión de aguas de abastecimiento, aguas residuales o aguas pluviales, generalmente construidas en concreto o acero (Foster, 2011). Sin embargo, existen herramienta de eficacias y probadas que aporta beneficios ecológicos, económicos y sociales mediante utilizando vegetación, suelos y procesos naturales, que nos ayuda a comprender el valor de los beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad humana (EEA, 2020). Muchas veces la infra estructura verde antes

mencionada puede contener elementos relacionados, en los que las componentes o procesos relacionados con el agua, su eficiencia y gestión como aspectos cruciales para luchar contra los efectos del cambio climático y de la inequidad social y ambiental, las cuales se les denomina infraestructura azul (Mas, 2018).

Las estrategias de adaptación climática actuales y a futuro requerirán la integración de una gama más amplia de consideraciones de mitigación, adaptación y vulnerabilidad, así como respuestas más apegadas con los objetivos de otros ámbitos que normalmente no son ligados con el cambio climático., como la política, aspectos sociales y económicos de políticas no climáticas (Wilbanks, 2007). A medida que la política evoluciona, también pueden surgir nuevas ventanas de oportunidades integrales sobre la adaptación al cambio climático, así como la para reducir la vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad (Neufeldt, 2010). Por lo cual, una respuesta estratégica y coherente requiere de la integración de múltiples facetas de este problema.

La preocupación por el calentamiento global y la influencia de la actividad humana se refleja en la creación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), un intento internacional de consolidar la comunidad científica. En sus informes más recientes, publicado en 2018, plasma el conocimiento de vanguardia internacional y el fortalecimiento en la respuesta mundial en el contexto de un desarrollo sostenible, trayectorias que buscan limitar el calentamiento global a 1.5 °C con la reducción de las emisiones de carbono para el 2030. A través de este foro, se ha puesto cada vez más énfasis en la adaptación y la promoción de un enfoque de gestión de riesgos (IPCC, 2018). Esto significa ir más allá de la mera consideración de los peligros relacionados con el clima a una consideración más explícita de los problemas relacionados con la vulnerabilidad y la exposición de diferentes elementos en

riesgo, así como abordar condiciones de incertidumbre. Este enfoque basado en el riesgo está plasmado en estrategias de vanguardia para el cambio climático, como el reciente adoptado por Londres, en donde se enfocan en el manejo de riesgos e incrementan la resiliencia, esto se basa en primero entender a que hay que adaptarse, caracterizando vulnerabilidades como las inundaciones y las sequias de forma histórica proyectándolas a futuro y de esta manera proponer la implementación de estrategias para la búsqueda de la resiliencia desde las diferentes variables involucradas (AGL, 2011). En destaca la ciudad de Sutton, ubicada al sureste de Inglaterra por su planeación y políticas del manejo urbano, así como la implementación de infraestructura verde eficiente (Sutton Council, 2020).

### **3.7. Medidas de adaptación ante ICU e inundación.**

La infraestructura verde y azul se define como sistemas vegetativos que colectivamente proporcionan sociedad con multitud de beneficios ambientales, sociales y económicos, además nos ayudan a comprender de los beneficios que ofrece la naturaleza (Dige, 2015). Las tecnologías abarcaron en esta definición se incluyen pavimentos porosos, colectores de lluvia entre otros que reproducen las funciones de los ecosistemas, tales como almacenamiento y filtración de aguas pluviales. Del mismo modo la infraestructura mencionada puede contribuir a la implementación efectiva en temas de adaptación al cambio climático, el recurso hídrico, salud, la agricultura, el crecimiento y la gestión del riesgo de desastres. Una de las atracciones clave de la infraestructura verde es su capacidad para realizar varias funciones y proporcionar varios beneficios en la misma área, en contraste con sus contrapartes de infraestructura "gris" (por ejemplo, alcantarillas) que tienden a ser diseñado para realizar solo una función (Greenbelt Foundation, 2017)

Existen diferentes tipos de infraestructura verde a diversas escalas, por ejemplo, un a escala de vivienda en el tema de concerniente al desarrollo urbano es la Bajantes residenciales interrumpidas proporción de áreas impermeables generadas y que están conectadas directamente con las cuencas urbanas y una oportunidad rentable para tratar el agua pluvial es mediante la generación de espacios verdes que interrumpan con una reducción considerable del escurrimiento (Carmen, 2016). También a esta escala, aunque sus dimensiones y aplicaciones pueden extenderse en un sistema conjunto, se encuentran las macetas de los jardines reciben la esorrentía de múltiples superficies impermeables, que es utilizado para el riego de la vegetación en la maceta evitando las aguas pluviales directamente de drenaje en alcantarillas cercanas. Juegan un papel importante en áreas urbanas minimizando la esorrentía de aguas pluviales, reducen la contaminación del agua y crean espacios verdes cerca de edificios y calles (SEMCOG, 2008). Existen otras versiones como los jardines de lluvia ha demostrado su funcionamiento en algunas del norte de Europa, EE. UU., Canadá y Australia, debido a que su desarrollo de bajo impacto es recomendado como la mejor práctica de gestión para tratar la esorrentía de aguas pluviales y mejorar la biodiversidad en las zonas urbanas (Ishimatsu, 2017).

Los árboles también pueden formar parte de este sistema en un drenaje sostenible con canales o zanjas con vegetación pueden cuya función principal es contralar la esorrentía y la descarga, principalmente sobre calles y estacionamientos (Scharenbroch, 2016). Las Pautas de diseño para los estacionamientos de superficie 'ecológicos' brindan estrategias y medidas específicas que los desarrolladores, diseñadores y revisores de estacionamientos de superficie pueden aplicar para ayudar a cumplir con las políticas del plan oficial y los objetivos de desempeño ambiental (Toronto, 2020).

Por otro lado, infraestructura verde complementaria, como los techos y paredes verdes cubiertos con medios de cultivo y vegetación, la cual en América del Norte está comenzando a ser conocida por sus servicios ecosistémicos, potencial armonizar áreas y capacidad para renovar la planificación en los centros urbanos, así como establecer un control del aporte al escurrimiento superficial (Dvorak, 2011). La tecnología actual involucrada en estos sistemas puede maximizar los beneficios funcionales de las plantas para el rendimiento de los edificios y formar parte de una estrategia sostenible de rehabilitación urbana y modernización de edificios (Manso, 2015).

Esta infraestructura aunada a sistemas que han demostrado ser efectivos para el tratamiento de aguas residuales y escorrentía urbana, muestran un buen potencial para el manejo del agua con diversas calidades. Los humedales construidos o artificiales por ejemplo incluyen sistemas de estanques de aguas abiertas, generalmente revestidos de sedimentos, que contienen plantas flotantes, sumergidas y emergentes o superficiales, dependiendo de las características del humedal y su diseño, por lo cual se pueden integrar al entorno con los beneficios que este aporta (Dunbabin, 1992).

## **4. Materiales y Métodos**

### **4.1. El sitio de estudio**

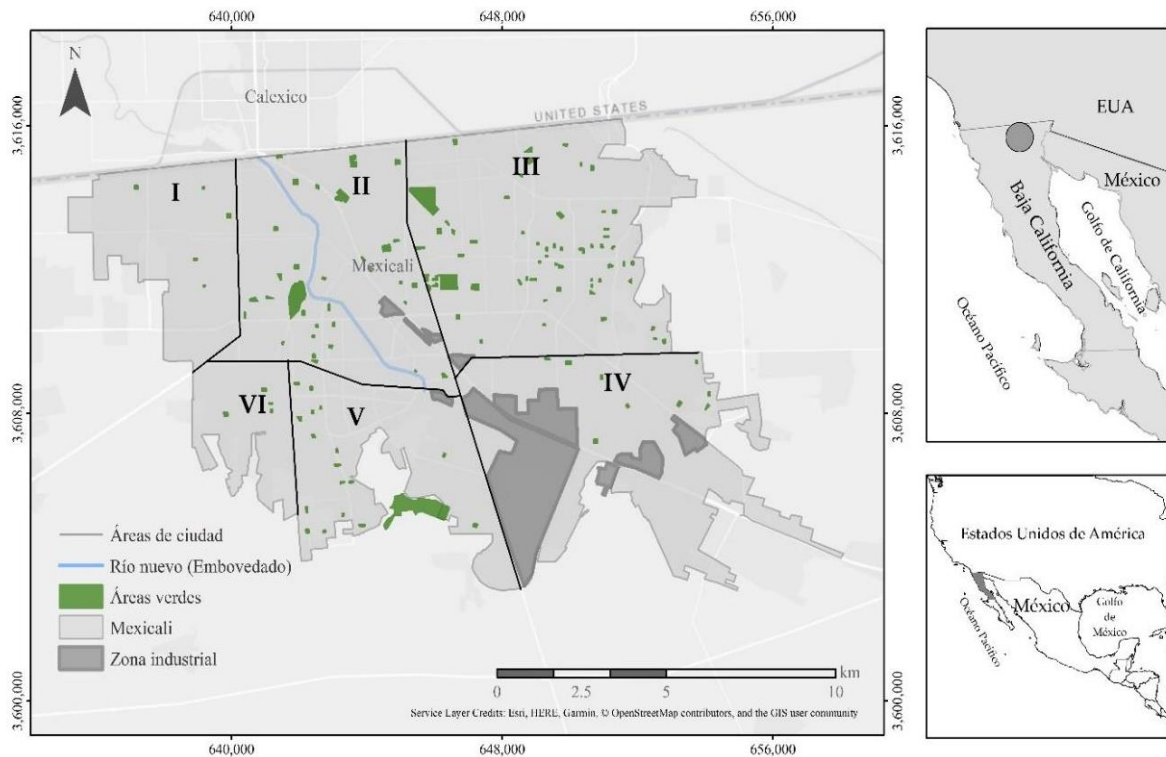
El área de estudio para esta investigación fue el área urbana de Mexicali, la cual es una ciudad ubicada en el estado de Baja California, al noroeste de México. Comparte frontera con Calexico, California, con el vecino país Estados Unidos de América (Figura 2). Mexicali es una de las ciudades más cálidas de México (Martínez-Austria y Villegas-Zerón, 2014), las temperaturas son extremas durante todo el año, alcanzando temperaturas máximas en verano de hasta 50°C, mientras que, en invierno, las temperaturas mínimas son de alrededor de 0°C



(Meza et al, 2010). El volumen promedio anual de precipitaciones es de aproximadamente 75 mm por año (García-Cueto et al, 2009).

La ciudad se encuentra considerada en un intenso desarrollo, donde la inmigración y la migración han aumentado con el asentamiento de una población proveniente de otros estados de México y países de América Central y del Sur. La ciudad concentra el 29.3% de la población del estado y presenta altos niveles de urbanización, con el 90.6% de su población urbana y el 9.4% de la población rural. El área urbana concentra 761,836 habitantes que representan el 74% de toda la población del municipio (COPLADE 2015).

**Figura 2.** Sitio de estudio



Fuente: elaboración propia

Uno de los sitios de principal interés en este estudio son las áreas verdes, zonas industriales y es embovedado del canal Rio Nuevo a la frontera con Estados Unidos de América dentro de la zona urbana de la Ciudad de Mexicali, la se encuentra ubicada en el noroeste del valle de Mexicali, frontera con Calexico, California (Figura 2).

En la ciudad de Mexicali, la infraestructura para la provisión de áreas verdes se basa en la clasificación que ofrece el Subsistema de Recreación del Sistema Urbano Regulador de Equipos de SEDESOL, que define el tipo y las funciones de esta infraestructura de la siguiente manera:

- Parque urbano: área verde al aire libre que debido a su vasta extensión tiene áreas diferenciadas por actividades específicas y ofrece posibilidades para caminatas, descanso, recreación y convivencia de la población en general, se recomienda su implementación en áreas entre 9.1 y 72.8 hectáreas.
- Parque del vecindario: espacio abierto arbolado para el libre acceso de la población para disfrutar de la caminata, el descanso y la recreación, cuya ubicación corresponde a los centros del vecindario con las áreas residenciales, con extensiones entre 11000 y 44000 m<sup>2</sup>.
- Jardín del vecindario: área abierta y boscosa de servicio del vecindario para el descanso y la convivencia de la población y su proximidad a las áreas de vivienda cuenta con caminantes y lugares de descanso, juegos y recreación con áreas entre 2.500 y 10.000 m<sup>2</sup>.

El Instituto de Planificación e Investigación Urbana de Mexicali (IMIP) informó un inventario de 299 jardines de vecindario, 15 parques de vecindario y un parque urbano en el área urbana de la ciudad, de los cuales más del 60% tienen un mal estado de conservación

## **4.2. Equipo**

### **4.2.1. Equipo de informática**

Acer Nitro 5 procesador AMD FX-9830p RADEON R7. Memoria RAM 32GB

### **4.2.2. Programas utilizados**

- ArcGIS 10.4.1 para el manejo de las capas de información, edición de mapas, así como cálculos análisis de imágenes y datos.
- HEC-RAS para la validación de zonas de inundación en la zona del Río Nuevo.
- HEC-GeoRAS como complemento para el trabajo de base de datos y la visualización de resultados de HEC-RAS.
- Model Builder para la automatización del proceso de los procesos dentro de la plataforma ArcGIS
- Google Earth Pro, para la identificación de áreas verdes junto con el NDVI
- Google Earth Engine (GEE), descarga y clasificación de imágenes Landsat 8, así como para los procesos de manejo de imágenes para la obtención automatizada de los indicadores utilizados en esta investigación.
- SPSS para la correlación y validación de los datos.

### **4.2.3. Datos y capas de información**

Datos de estaciones climatológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para los cálculos preliminares y así, como la validación de las capas de temperatura, se utilizó la estación N°24 “Mexicali” (Rio Nuevo), con registro de 1948 a 2018 ubicado en coordenadas UTM 644546.97 m E, 3615378.09 m N. Zona 11 S.

Modelo digital de alta resolución de INEGI de 5x5m, para obtener el índice de humedad topografía (IHT)

Imágenes Landsat 8, para la generación de indicadores NDVI, MNDWI; NDBI, así como para la obtención de la temperatura de la superficie terrestre TST. Las imágenes seleccionadas fueron tomadas libres de nubes de la zona de estudio, Landsat 8 fue lanzado en febrero de 2013 desde la base de las fuerzas aéreas en California. El satélite lleva dos sensores, OLI y el sensor de infrarrojos térmicos (TIRS) por sus siglas en inglés. Los productos de ambos sensores tienen una resolución de 30 m (Tabla 2) (USGS, 2020).

**Tabla 2.** Características de las bandas Landsat 8

| <b>Banda</b>               | <b>Longitud de onda <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>Resolución (m)</b> |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Banda 1- Ultra Azul        | 0,43 - 0,45                                      | 30                    |
| Banda 2- Azul              | 0.450 - 0.51                                     | 30                    |
| Banda 3- Verde             | 0,53 - 0,59                                      | 30                    |
| Banda 4- Rojo              | 0.64 - 0.67                                      | 30                    |
| Banda 5- NIR               | 0.85 - 0.88                                      | 30                    |
| Banda 6-SWIR               | 1.57 - 1.65                                      | 30                    |
| Banda 7-SWIR 2             | 2.11 - 2.29                                      | 30                    |
| Banda 8-Pancromatica (PAN) | 0,50 - 0,68                                      | 30                    |
| Banda 9- Cirrus            | 1.36 - 1.38                                      | 30                    |
| Banda 10- TIR 1            | 10.6 - 11.19                                     | 100 (30) *            |
| Banda 11- TIR 2            | 11.5 - 12.51                                     | 100 (30) *            |

Fuente: (USGS, 2020)

### **4.3. Metodología**

Esta investigación se llevó a cabo en cuatro partes fundamentales, que incluyen: 1) Resumen e identificación de datos de entrada de teledetección, así como la discretización de la calidad de requeridas y la descarga de imágenes de Landsat 8 2) El procesamiento y evaluación de los índices obtenidos como las imágenes satelitales así como, la temperatura de la superficie terrestre (TST); 3) Procesar un índice para evaluar áreas propensas a inundaciones, mediante indicadores de superficiales 4) Finalmente, la combinación de capas, se utilizará como instrumento de planificación a través de un Mapa de acción prioritario (PAM) para identificar las zonas con mayor requerimiento urbano en donde se pueda disponer de escurrimiento superficial de agua.

### **4.4. Elaboración de base de datos**

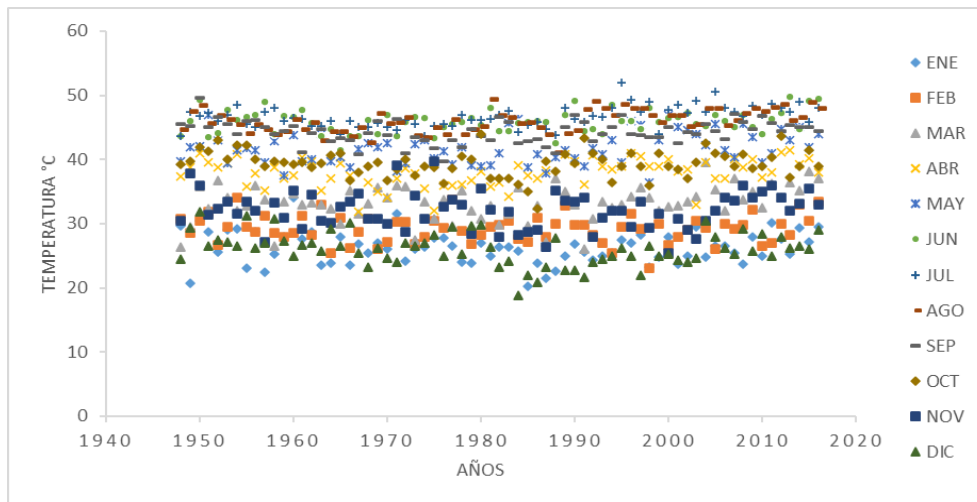
La base de datos de generada a partir de diversas fuentes, una de las limitantes en los países en desarrollo es la disponibilidad de información e instrumentación para la comprensión del medio físico, por lo que, exceptuando al análisis de precipitación y temperatura histórico, que se realizaron con estaciones meteorológicas locales, la base de datos se elaboró a partir de información de imágenes de satélite de alta resolución.

#### **4.4.1 Análisis histórico de temperatura**

Se tomaron los datos de temperatura (Figura 3) de la estación meteorológica N°25, ubicada al norte en la mancha urbana de la ciudad de Mexicali, para poder analizar el comportamiento histórico e identificar los meses más cálidos como referencia en la descarga de imágenes de Landsat 8. Los datos diarios fueron acumulados mensualmente desde el año 1950 al 2012 en una hoja de cálculo de Excel. Posteriormente se trabajó en la elaboración de una base de datos para desplegar la acumulación de días, meses o años gráficamente (Figura

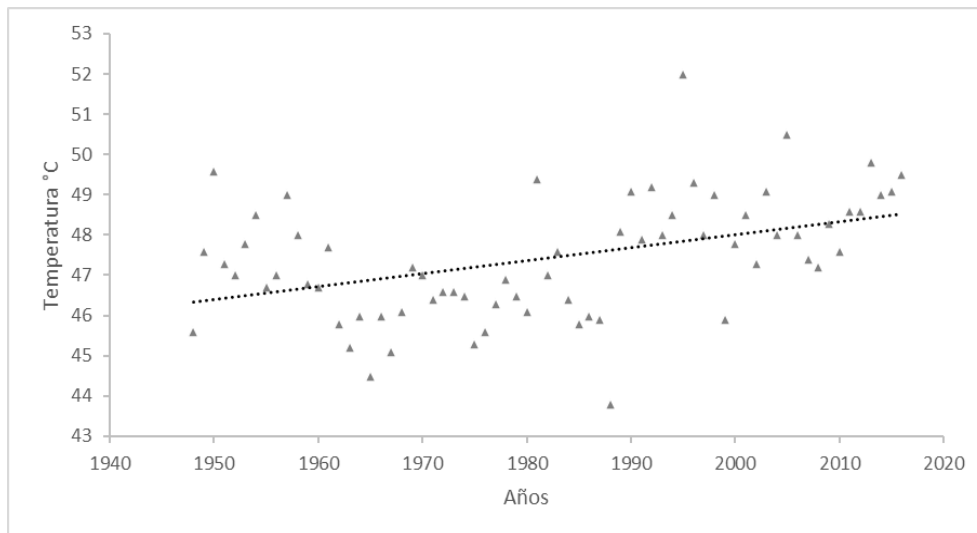
4) para analizar su tendencia, extraer máximos y mínimos de temperatura y poder determinar los riesgos a los que podría enfrentarse la ciudad de Mexicali y poder proponer estrategias para incrementar la resiliencia

**Figura 3.** Análisis histórico de temperatura 1960 a 2012.



Fuente: Propia a partir de datos de estaciones.

**Figura 4.** Temperaturas máximas acumuladas por año



Fuente: Propia a partir de datos de estaciones.

#### 4.4.2. Temperatura de la superficie terrestre

Por lo general, los valores de temperatura de la superficie terrestre (TST) obtenidos usando los registros de tiempo de esta variable en estaciones meteorológicas instaladas en lugares de interés (Olave-Solar, 2008), sin embargo, en muchas regiones de México, las redes de estaciones metrológicas son limitadas o en mal estado. La falta de datos se puede resolver estimando el TST calculado a partir de las bandas térmicas obtenidas por los sensores incorporados en los satélites. La temperatura de la superficie se obtuvo del procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8, que es una de las series Landsat de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) Mediante técnicas de Sistema de información geográfica (SIG) y Una rutina automatizada en GIS simultáneamente. Los datos de Landsat 8 están disponibles en las plataformas web del USGS (United States Geological Survey) Global Visualization Viewer: <https://glovis.usgs.gov/>. Para seleccionar las imágenes con la resolución temporal y espacial deseado y con un porcentaje de nubes menor al 20% que interfieran en par obtener una buena calidad de imagen durante el proceso, se elaboró una rutina de GEE, para la descarga de imágenes como se muestra en la figura 5

**Figura 5.** Base de datos de Landsat 8 en GEE

```
//Carga de la base de datos con filtros:  
  
var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')  
  .map(L8)  
  .filterDate('2019-06-01', '2019-08-31')  
  .filterBounds(geometry)  
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 20);  
print(col, 'col');
```

Fuente: propia a partir de rutina en GEE.

De acuerdo con el USGS, los datos de Landsat se pueden convertir a la radiación espectral de la parte superior de la atmósfera (TOA, por sus siglas en inglés) (USGS, 2020a) utilizando los factores de re-escalado de la radiación presentada en los valores de metadatos para el cálculo (Tabla 1), aplicando la fórmula:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde  $L\lambda$  es la radiancia espectral de TOA, ML representa el factor de re-escalado multiplicativo específico de banda de los metadatos,  $Q_{cal}$  es el valor de píxel del producto estándar cuantificado y calibrado y AL es el factor de re-escalado aditivo específico de banda de los metadatos.

En el presente estudio, la banda TIR 10 se utilizó para estimar la temperatura de brillo, y las bandas 4 y 5 se usaron para generar NDVI del área de estudio, con proyección cartográfica UTM, referenciada al elipsoide WGS84, en la zona 11N. utilizando los metadatos de las imágenes utilizadas mostrados en la tabla 3 para el promedio de imágenes los valores fueron categorizados por rango y establecidos como K1 y K 2(tabla 3).

**Tabla 3.** Ejemplo de metadatos de imagen Landsat 8 2019

| <b>Banda</b> | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b>    | <b>Valor</b> |
|--------------|-----------------|------------------|--------------|
| 10           |                 | Thermal Band     |              |
|              | K1              | Thermal constant | 774.8853     |



|      |                    |           |
|------|--------------------|-----------|
| K2   | Thermal constant   | 1321.0789 |
| ML   | RADIANCE_MULT_BAND | 3.34E-04  |
| Qcal | DN value of pixel  |           |
| AL   | RADIANCE_ADD_BAND  | 0.1       |

---

Fuente: de metadatos de imagen Landsat 8

Los datos de radiancia espectral se pueden convertir a la temperatura de brillo superior de la atmósfera (BT) utilizando los valores constantes térmicos en el archivo de metadatos siguiendo la fórmula:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Donde BT es la temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera en K,  $L\lambda$  es la radiancia espectral de TOA (vatios / (m<sup>2</sup> \* sr \*  $\mu$ m)), y; K1 y K2 son las bandas de infrarrojos térmicos (TIRS) 10 que se pueden encontrar en los metadatos archivo vinculado con la imagen de satélite. En GEE extraído de las imágenes del periodo seleccionado directamente de la banda 10 (Figura.6).

**Figura 6.** Extracción de la temperatura de la banda 10

```
//Extraccion de temperatrua de brillo (BT) de banda 10
var BT= image.select('B10').multiply(0.1);
Map.addLayer(BT, Parametro1, 'BT');
```

Fuente: Propia a partir de la rutina en GEE

Para una imagen de satélite determinada el cálculo de BT (Figura 7) puede ser calculado de la siguiente manera y el resultado sustituido en la ecuación de TST

**Figura 7.** Banda 10 para el cálculo de temperatura de brillo

```
//Calculo de temperatrua de brillo BT con Banda 10 u 11
var k1= ee.Number(774.8853);
var k2= ee.Number(1321.0789);
var L= ee.Number(0.1);
var ka=(k1.divide(L).add(1));
var Kb=ee.Number (Math.log(ka));
var BT= ee.Number (K2.divide(kb));
Map.addLayer(BT10,Parametro,'BT10');
```

Fuente: Propia a partir de la rutina en GEE

### 3.5.3 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés) se utilizó para identificar los tipos de cobertura del suelo del estudio de área y fue obtenido en el SIG aplicando la metodología de (USGS 2020b), y la formulación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde NIR es la banda 5 de infrarrojo cercano y RED es la banda roja visible 4 para Landsat-8 Operational Land Imager (OLI), con una longitud de onda de 0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$  y 0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$ , ambas bandas con una resolución de 30 m. Para la rutina en GEE se toman las bandas involucradas de la base de datos y se puede obtener siguiente la rutina de la figura 8.

**Figura 8.** Cálculo del NDVI en GEE

```
// Calculo del NDVI:  
{  
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');  
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']};  
print(ndvi, 'ndvi');  
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');  
}
```

Fuente: Propia a partir de la rutina en GEE.

#### 3.5.4 Estimación de la emisividad de la superficie terrestre.

El NDVI es esencial para calcular la emisividad ( $e$ ) y la vegetación proporcional ( $Pv$ ). Para ello, la emisividad de la superficie de la Tierra ( $e$ ), fue obtenida con las imágenes Landsat-8, y la ecuación presentada por (Sobrino J. A., 2000)

$$e = ev Pv + es (1 - Pv) + C$$

En donde la emisividad del suelo se define como  $es$ ; y  $ev$  la emisividad de vegetación. De ellos, se han identificado valores comunes utilizados para Landsat-8, incluyendo: agua (0.995), vegetación, 0.986 y suelo 0.972,  $C$  representa la rugosidad superficial (0.004 a 0.005) y  $Pv$  es la proporción de la vegetación, que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right)^2$$

Donde NDVImin y NDVImax, corresponden a los valores mínimos y máximos de NDVI.

Los valores entre 0.2 y 0.5 en el NDVI se consideran mezclas de la cobertura del suelo y la vegetación por lo que se aplica la ecuación con los factores de corrección de emisividad en GEE (Figura 9). Simplificando la ecuación de emisividad como:

$$e = 0.004 * Pv + 0.986$$

En donde,  $Pv$  es la proporción de la vegetación, y los valores constantes para Landsat 8.

**Figura 9.** Emisividad en GEE

```
//Estimación de Emisividad (EM)

var es= ee.Number(0.004);
var ey= ee.Number(0.986);
var EM=fv.multiply(es).add(ey).rename('EM');
Map.addLayer(EM, Parametro2, 'EM');
```

Fuente: Propia a partir de la rutina en GEE

Donde NDVImin y NDVImax, corresponden a los valores mínimos y máximos de NDVI, y posteriormente es sustituida en la ecuación de emisividad (Figura 10).

**Figura 10.** Extracción de Porción de vegetación

```
//Porcion de Vegetacion (PV)
{
var pv = ndvi.subtract(min).divide(max.subtract(min)).rename('PV');
print(pv, 'pv');
Map.addLayer(pv);
}
```

Fuente: Propia a partir de la rutina en GEE

### 3.5.5 La temperatura de la superficie terrestre

La temperatura de la superficie terrestre (TST) fue obtenida utilizando la banda 10 y la formulación presentada por (Stathopoulou, 2007).

$$LST = \frac{BT}{\left(1 + \left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) \ln e\right)}$$

Donde BT es la temperatura de brillo aparente en kelvin (K),  $\lambda$  es la longitud de onda media emitida por la banda 10, sin convertir a valores de radiancia, e es la emisividad de la superficie de la tierra calculada, y  $\rho$  tiene un valor de 1.4380 mk calculado como  $h(c / \sigma)$  en el cual,  $\sigma$  es la constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J / K), h es la constante de Plank (6.626

x 10<sup>-34</sup>) y c es la velocidad de luz (2.998 x 10<sup>8</sup> m / s) (Weng et al, 2004). Posteriormente puede hacer la conversión de la capa TST a grados Celsius. (Q. H. Weng, 2004).

Para aplicar el proceso en GEE la ecuación anterior se puede simplificar con la siguiente ecuación de acuerdo con (Anandababu, 2018) (Suraj Shah, 2018):

$$TST = (BT / (1 + (\lambda * BT / 1.438) * \ln(e)))$$

En donde,  $\lambda$  es longitud de onda media emitida (Tabla 4), BT es la temperatura de brillo y e es la emisividad de la superficie terrestre.

**Tabla 4.** Longitud de onda recomendada

| Autor           | $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------------|-----------------------------|
| (Markham, 1985) | 11.5                        |
| (Avdan, 2016)   | 10.898                      |

Fuente: (Markham, 1985) & (Markham, 1985).

TST Se asignan las variables a, b, v1, v2, v3 para simplificar el cálculo (Figura 11).

**Figura 11.** Estimación de TST

```
//LST Se asignan las variables a, b, v1, v2, v3
{
  var a= ee.Number(0.00115);
  var b= ee.Number(1.438);
  var c= ee.Number (1)
  var v1= ee.Number(BT.multiply(a).divide(b));
  var v2= ee.Number(Math.log(EM));
  var v3= ee.Number((v1.multiply(v2)).add(c));
  var LST= (BT.divide(v3)).rename('LST');
}
```

Fuente: Propia a partir de rutina de GEE.

#### **4.4.2. Intensidad de enfriamiento de parques**

Muchas mediciones basadas en el campo han encontrado que los parques urbanos son de 1–2 ° C, y a veces incluso de 5–7 ° C, más fríos que sus alrededores urbanos, formando una isla fría del parque, este indicador también se conoce como intensidad de enfriamiento del parque (Jusuf, 2007). y permite calcular el efecto de enfriamiento de los espacios verdes mediante el análisis de la diferencia entre la TST media del área de estudio y un parque o espacio verde que podría mitigar los efectos o TST e ICU. Este indicador permite a los tomadores de decisiones según (Li et al, 2020), evaluar la efectividad de los espacios.

$$IEP = \Delta T = T_u - T_p$$

Donde IEP es la intensidad resultante del efecto de enfriamiento de un parque (Park Cooling Intensity);  $T_u$  es la temperatura media del área urbana y;  $T_p$  es la temperatura media de un parque y su área circundante dentro de una zona de influencia de 500 m. Este procedimiento se aplicó a tres espacios verdes urbanos dentro del área urbana partir de la clasificación de cada uno de los tipos parques del IMIP.

#### **4.4.3. Zonas de inundación.**

Se identificaron las zonas susceptibles a inundación, las cuales se clasificaron de nulo a alto, con el índice de humedad topográfico (IHT), con el análisis de la morfología del terreno, en donde se consideró para efectos de captación del recurso hídrico las zonas con alta probabilidad de inundación como las zonas con mayor aportación para el mapa de acción prioritaria como fuente del recurso hídrico para las áreas verdes.

El índice de humedad topográfica (IHT) es un índice presentado por Beven y Kirkby (1979) para indicar cuantitativamente el equilibrio entre la acumulación de agua y las condiciones de drenaje.

$$\lambda = \ln (\alpha / \tan \beta),$$

En el que  $\alpha$  es la pendiente ascendente El área contribuyente por unidad de longitud de contorno y  $\tan (\beta)$  representa la pendiente de la capa freática. En el presente trabajo se utilizó una versión modificada y adaptada para la detección de zonas de inundación basada en un índice topográfico, la cual describe la tendencia de cada celda para acumular agua y se define en base a la fórmula:

$$IHT = \ln \ln \left( \frac{SCA}{\tan \alpha} \right)$$

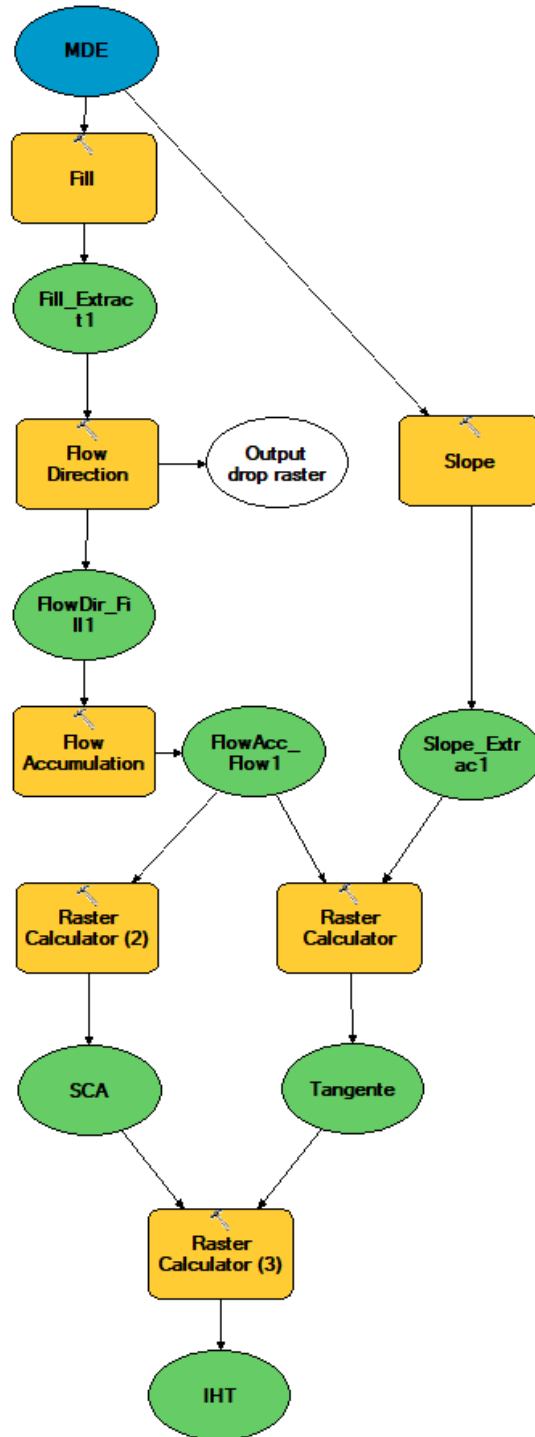
En donde SCA es el área de captación específica y  $\alpha$  es el ángulo de inclinación, su índice asume condiciones de estado estacionario y en condiciones espacialmente invariantes para infiltración y transmisividad. El índice se escala por el logaritmo natural.

La versión modificada del IHT permite identificar el tamaño y rutas de flujo, y por lo tanto zonas sujetas a inundación, este indicador está basado en el análisis morfológico del terreno y obtiene mediante una secuencia de análisis en Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) del instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI) obtenido con Lidar en este caso de una Índice Humedad de Topográfica resolución de 5 x 5m al cual se le realiza una corrección. Con el MDE corregido se obtiene el mapa de direcciones de flujo que el cual calcula la dirección que tomarían las masas de



agua superficial a lo largo de la superficie del territorio. El siguiente paso será obtener las zonas de acumulación de flujo, se deriva a través de interacciones de accidentes geográficos de escala fina, la automatización del proceso en Modelbuilder se muestra en la figura 12.

**Figura 12.** Cálculo de zonas de inundación con ModelBuilder






Fuente: Propia a partir de Modelbuilder.

### 4.4.3. Áreas verdes dentro de la mancha urbana

Se utilizó la superposición de capas de NDVI promedio obtenido con una rutina programada en GEE con un proceso de selección o filtros por fecha de junio a agosto y por cobertura de nubes menor al 10 % (Figura 13).

**Figura 13.** Rutina en GEE para NDVI

```
Imports (4 entries)   
▶ var l8: ImageCollection "USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1"  
▶ var geometry: Point (-115.46, 32.63)    
▶ var Vizl8: B4, B3 and B2 from 98 to 4438  
▶ var VizNDVI: nd from 0  

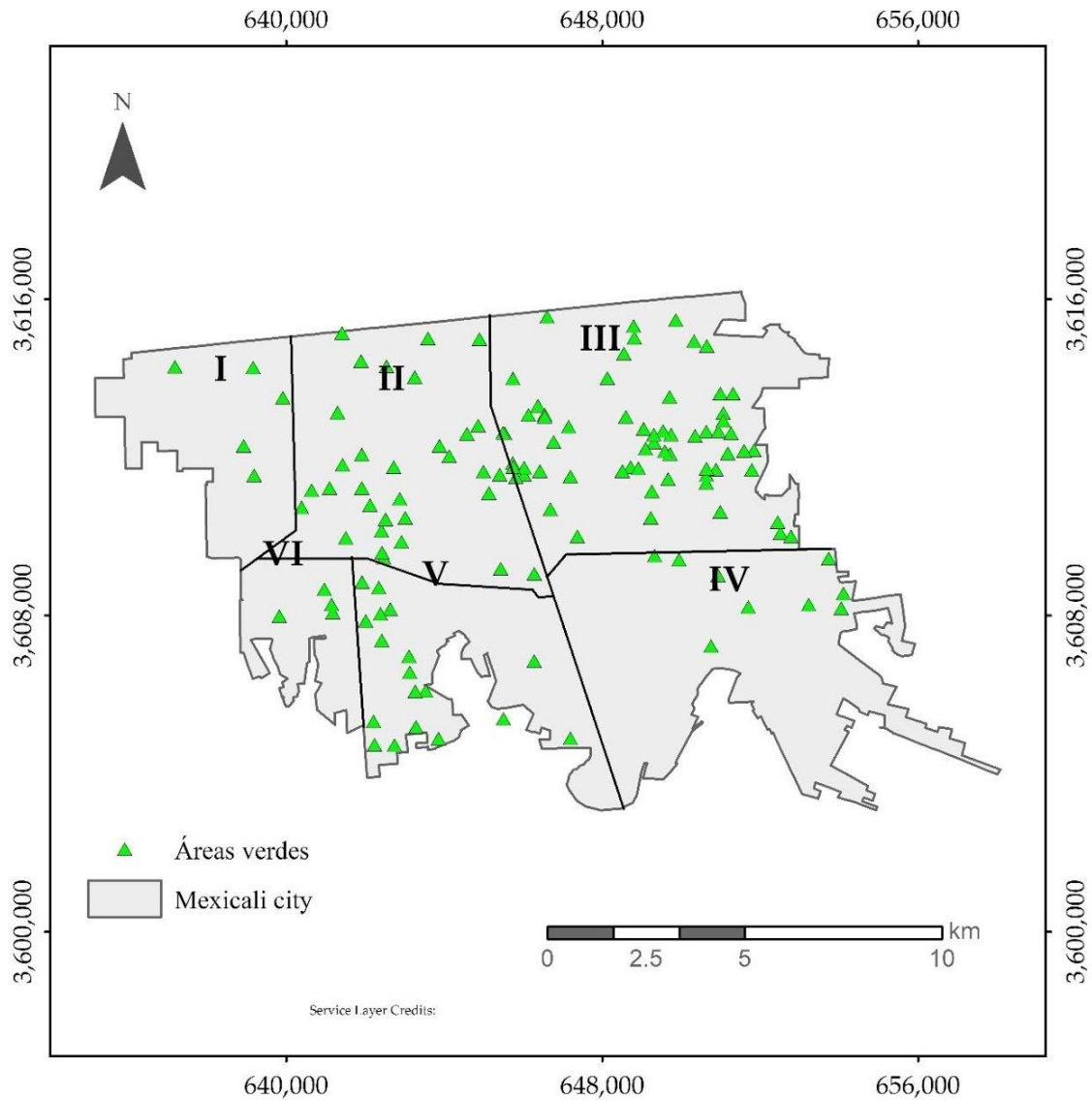

---

  
var imagen = l8.filterBounds(geometry)  
    .filterDate('2019-06-01', '2019-08-31')  
    .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 10)  
    .first();  
var ndvi = imagen.normalizedDifference(['B5', 'B4']);  
  
Map.addLayer(imagen, Vizl8, 'landsat 8');  
Map.addLayer(ndvi, VizNDVI, 'NDVI');  
Map.centerObject(imagen, 10)
```

Fuente: Propia a partir de rutina de GEE.

Con el promedio de las imágenes de NDVI se procedió comparar con una imagen de alta resolución de obtenida de Google Earth Pro georreferenciada en SIG con la ubicación de parques y áreas verdes en la mancha para posteriormente delimitarlos en una capa de parques y áreas verdes clasificados según su cobertura vegetal (figura 14).

**Figura 14.** Identificación de áreas verdes mediante superposición de capas



#### 4.5. Mapa de Acción Prioritaria

El mapa que identifica las zonas que requieren atención dentro de la mancha urbana se conforma de tres partes combinadas (Figura 15), las islas de calor urbana, las zonas propensas a inundación identificadas con el índice de humedad topográfico y la presencia de

vegetación disponible obtenida con el NDVI. Las primeras dos capas se reclasificaron del 1 al 5, en donde uno requiere la menor atención o nula y 5 la mayor. En cuanto al NDVI se reclasifico con el inverso del valor para tomar como valor de atención prioritaria aquellas zonas con poca o nula vegetación efectiva en la disminución de islas de calor (Tabla 5). Finalmente, para combinar los dos indicadores se utiliza la fórmula propuesta:

$$IC = TST + IHT + NDVI_0$$

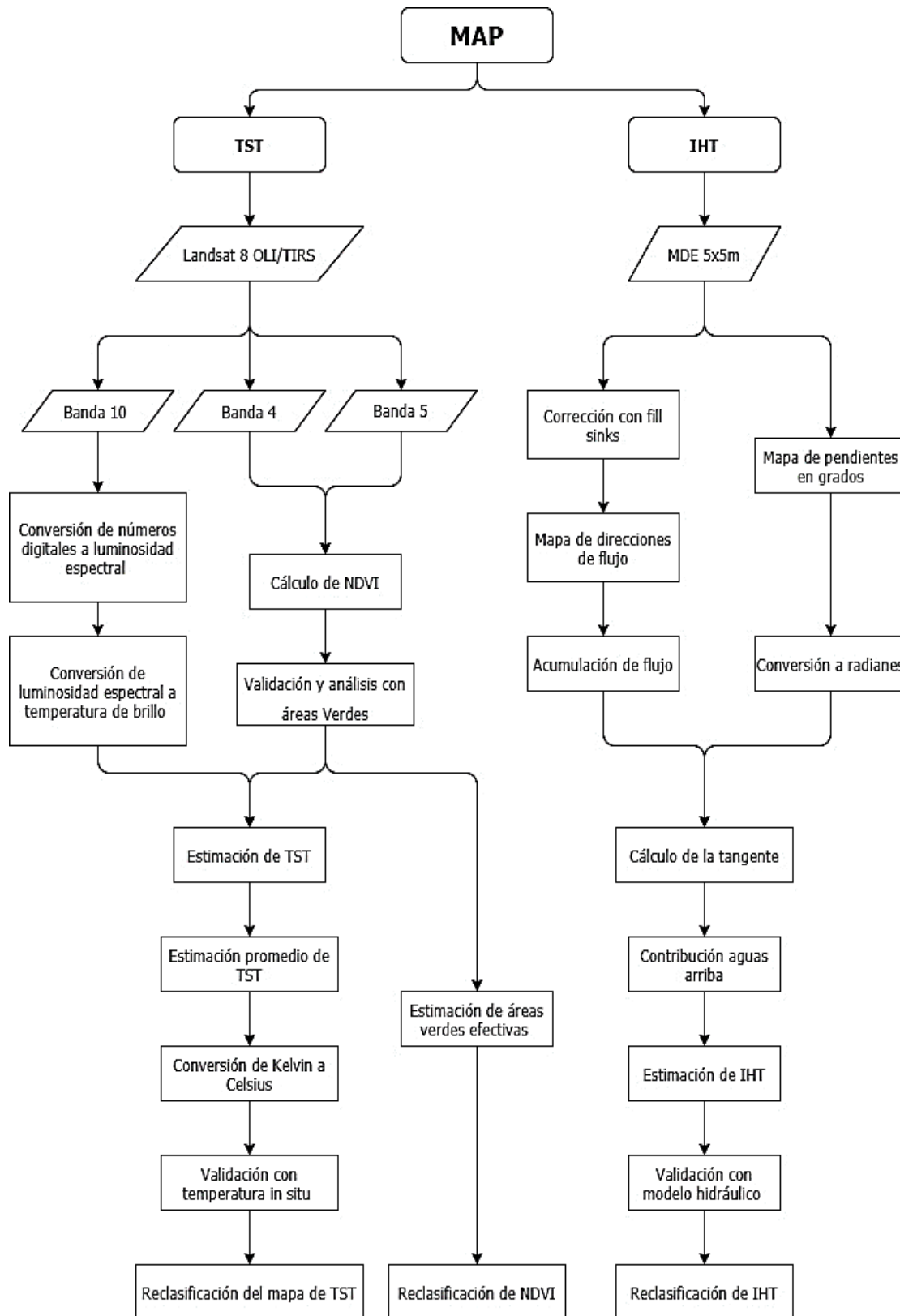
En donde IC es el índice combinado de las capas involucradas, TST es la temperatura de la superficie terrestre y  $NDVI_0$  inverso del índice de vegetación normalizada efectiva en el sitio de estudio debido a la aportación de cada una de las capas de información.

**Tabla 5.** Reclasificación de valores

| <b>Factor</b> | <b>Valor</b> | <b>Valor de reclasificación</b> | <b>Contribución</b> |
|---------------|--------------|---------------------------------|---------------------|
| TST (°C)      | 33-42        | 1                               | Muy baja            |
|               | 42-46        | 2                               | Baja                |
|               | 46-47        | 3                               | Media               |
|               | 47-49        | 4                               | Alta                |
|               | 49-54        | 5                               | Muy alta            |

|      |            |   |          |
|------|------------|---|----------|
| IHT  | 0.1-4      | 1 | Muy baja |
|      | 4-6        | 2 | Baja     |
|      | 6-8        | 3 | Media    |
|      | 8-14       | 4 | Alta     |
|      | 14-26      | 5 | Muy alta |
| NDVI | 0-0.05     | 5 | Muy alta |
|      | 0.05-0.08  | 4 | Alta     |
|      | 0.08-0.13  | 3 | Media    |
|      | 0.13-0.23  | 2 | Baja     |
|      | 0.23 -0.58 | 1 | My baja  |

Fuente: a partir de valores de imágenes de TST, IHT y NDVI

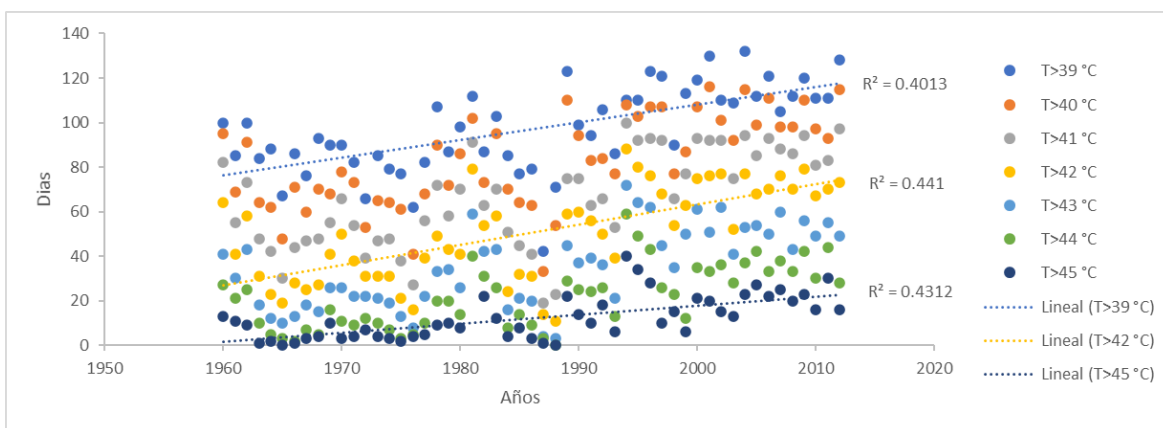


**Figura 15.** Diagrama de flujo del proceso combinado para MAP.

## 5. Resultados y Discusión

El análisis histórico de temperatura de la estación meteorológica en Mexicali con registro de 1960 a 2012 muestra un incremento considerable en los días cálidos con temperaturas superiores a los 39° C como se muestra en la figura 16.

**Figura 16.** Tendencia de incremento de días cálidos.



Fuente: a partir de datos de estaciones climatológicas.

Los productos resultantes del procesamiento de SIG consistieron en el mapeo y la distribución espacial del NDVI, TST y las áreas propensas a inundaciones identificadas y reclasificadas utilizando el TWI. Estos resultados se analizan como un índice individual, así como una herramienta de planificación combinada para identificar y ubicar áreas donde la implementación de espacios verdes es una prioridad para mitigar los impactos derivados de ICU e inundaciones.

### 5.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada

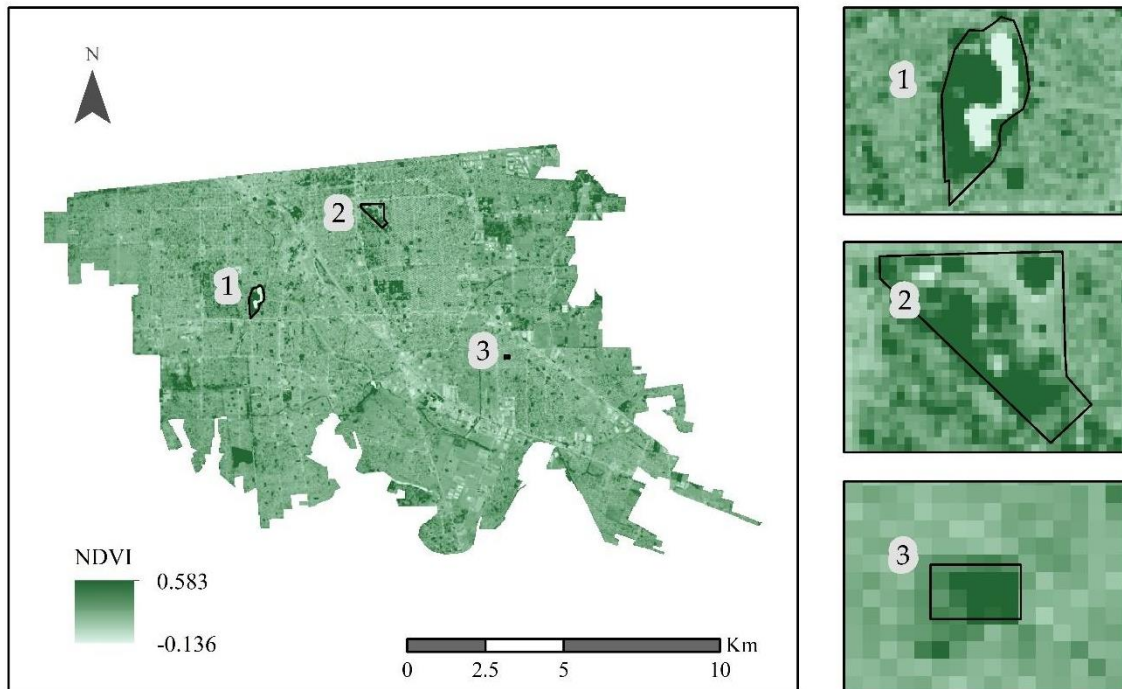
Los valores de NDVI (Figura 17) varían de 0 a 1. Los resultados muestran una falta de cobertura de vegetación interurbana. Los espacios verdes en total cubren un área de 1.85



km<sup>2</sup>, esto representa un 2.43m<sup>2</sup> por habitante. El análisis revela que más del 60% de la vegetación se encuentra en áreas residenciales. Sin embargo, no tienen un efecto significativo en la reducción de ICU. El área de vegetación efectiva dentro del área urbana fue de 0.97 km<sup>2</sup>, lo que representa 1.27 m<sup>2</sup> por habitante de área verde.

La tabla 6 muestra el total de espacios verdes clasificados como parques dentro del área urbana según el IMIP. En la tabla 6, los números 1 a 3 representan los parques seleccionados para abordar el efecto de enfriamiento de los espacios verdes dentro del área urbana. Estos fueron cuidadosamente seleccionados tratando de abordar las tres clasificaciones de parques y tratando de tener una distribución espacial adecuada.

**Figura 17.** Distribución espacial de NDVI dentro del área urbana e identificación del parque.



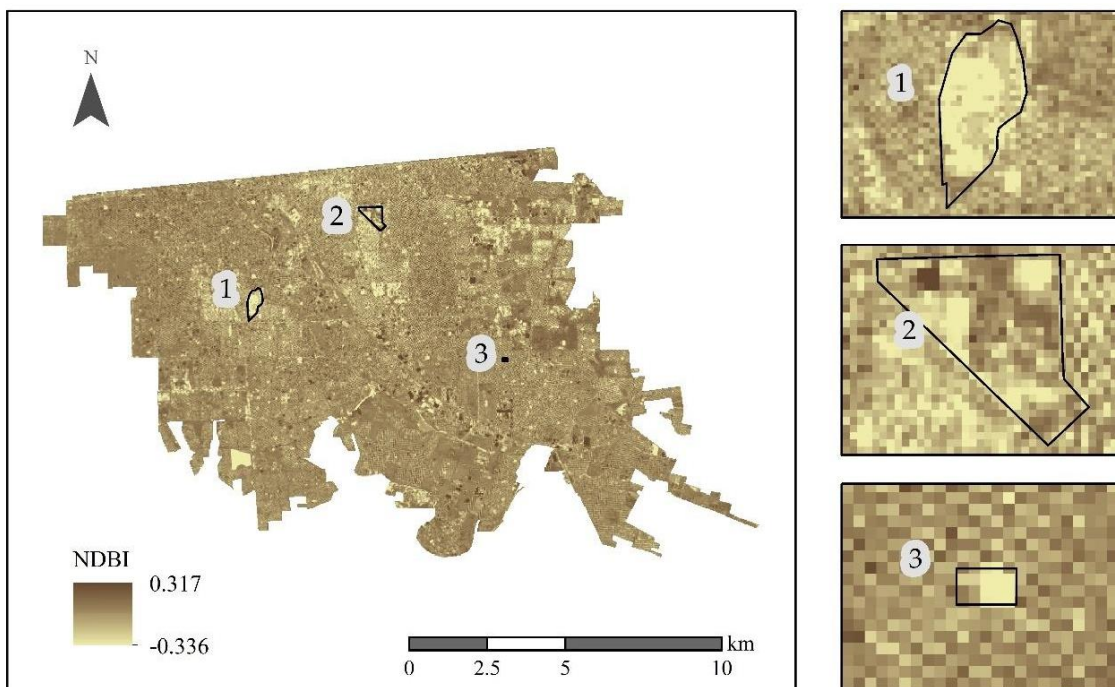
Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat-8

**Tabla 6.** Clasificación y cantidad de parques en el área urbana.

| ID | Clasificación        | Descripción                                 | Cantidad |
|----|----------------------|---|----------|
| 1  | Parque urbano        | Zona II, Vegetación densa y Cuerpos de agua | 1        |
| 2  | Parque de vecindario | Zona II, III y V, Vegetación moderada       | 15       |
| 3  | Jardín de vecindario | Todas las Zonas, Vegetación dispersa        | 299      |

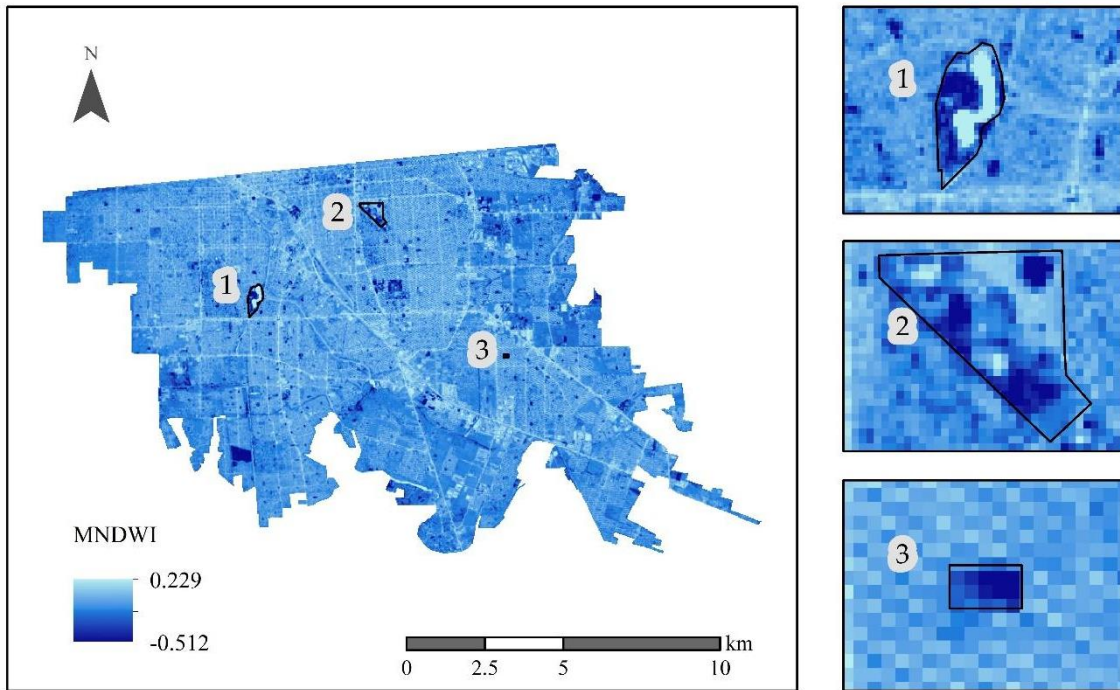
El valor medio general del NDBI (Figura 18) del estudio fue de 0.011 en cuanto a los valores mínimo y máximo, fueron -0.337 y 0.318 respectivamente. En cuanto a MNDWI (Figura 19), el valor medio fue -0.129, el máximo fue 0.291 y el mínimo fue -0.425. mayor. La correlación adicional se analiza en otra sección.

**Figura 18.** Distribución espacial del NDBI dentro del área urbana e identificación del parque.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat-8

**Figura 19.** Distribución espacial de MNDWI dentro del área urbana e identificación del parque.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat-8

Debido a la falta de información sobre las características del uso del suelo a una escala apropiada para la ciudad de Mexicali, se utilizó un NDVI reclasificado (Tabla 7) con la correlación de NDBI y MNDWI.

**Tabla 7.** clasificación de NDVI

| Clasificación | Rango de valor | Efecto de reducción |
|---------------|----------------|---------------------|
|---------------|----------------|---------------------|

|                      |            |          |
|----------------------|------------|----------|
| Agua                 | < 0.01     | Muy alto |
| Suelo sin vegetación | 0.01 – 0.1 | Muy Bajo |
| Vegetación dispersa  | 0.1 – 0.2  | Bajo     |
| Vegetación media     | 0.2 -0.4   | Medio    |
| Vegetación densa     | > 0.4      | Alto     |

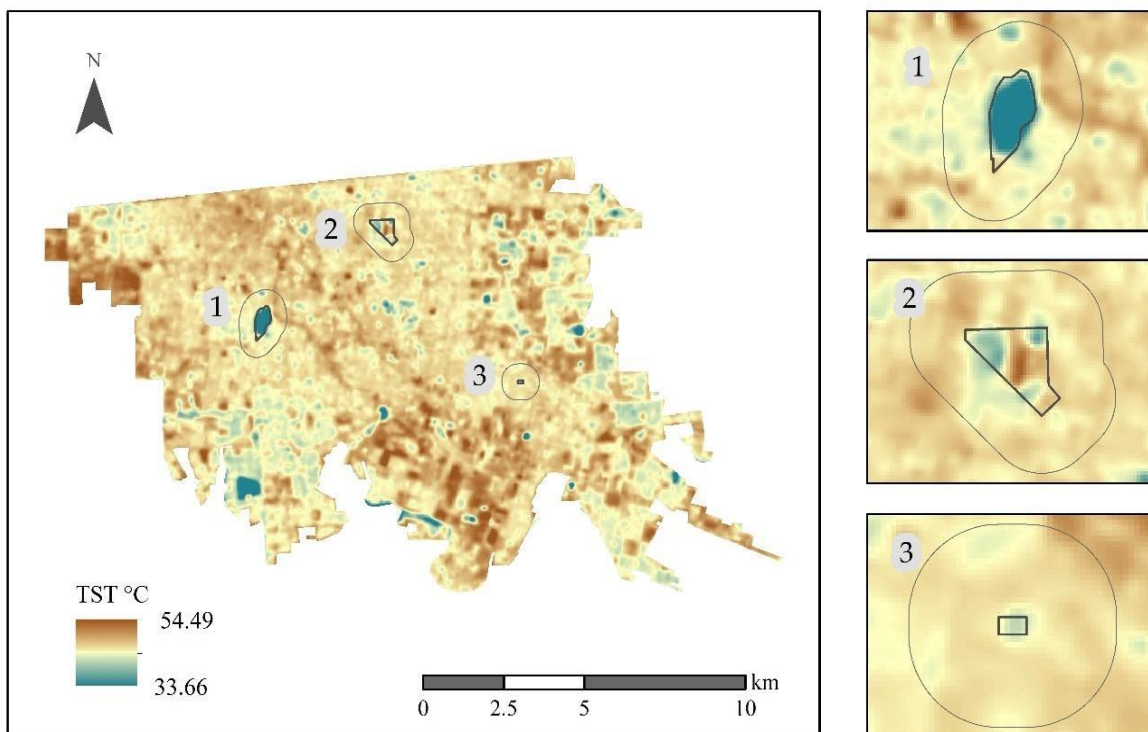
Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes 17, 18 y 19.

## 5.2. Temperatura de la superficie terrestre de la Tierra

LA TST (Figura 20) se calculó utilizando las imágenes correspondientes para julio y agosto de 2017, 2018 y 2019, se obtuvieron temperaturas que oscilaban entre 33 ° C y 54 ° C, donde las áreas con las temperaturas más altas se tomaron como valores prioritarios para PAM La temperatura media del estudio fue de 47.73 ° C. En la Figura 20 se puede apreciar fácilmente el efecto de enfriamiento de los espacios verdes, el punto frío más grande representado con azul en el mapa representa el único parque urbano de la ciudad, también es la asignación de un cuerpo de agua dentro del área urbana.

Aunque los grandes parques urbanos son escasos, las 3 áreas verdes de la ciudad se analizaron como áreas de mitigación de TST o ICU. El PCI (Tabla 8) se calculó para estas 3 áreas y un buffer de 500m. Estas áreas verdes pueden reducir efectivamente TST hasta 5.88 grados. Como se esperaba, el área de espacio verde juega un papel en los valores de PCI. En cuanto a la ID del parque 1, el cuerpo de agua también ayuda a aumentar su efecto de enfriamiento.

**Figura 20.** Resultados de la distribución espacial de la temperatura de la superficie terrestre.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat-8

**Tabla 8.** Superficie de parques y PCI

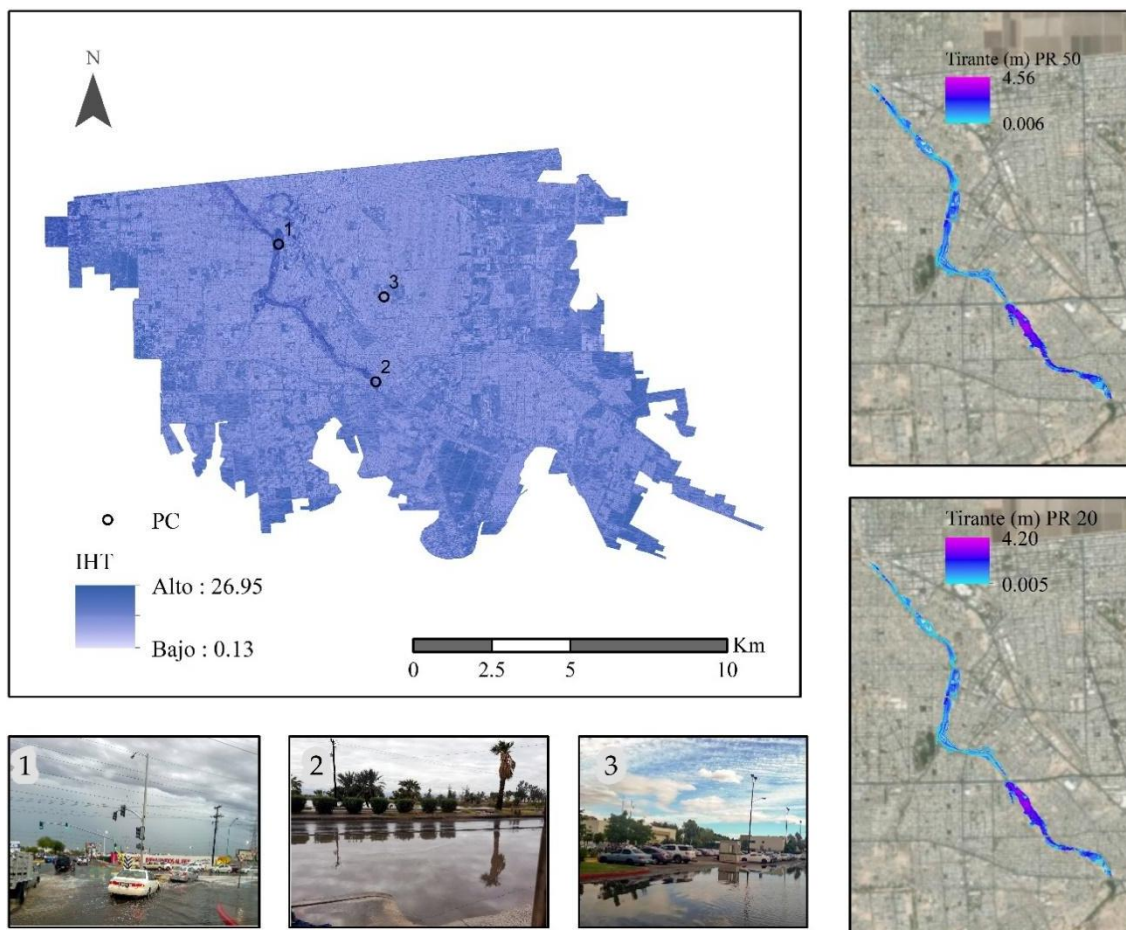
| ID | Área (ha) | Max °C | Min °C | Promedio TST | Promedio PCI |
|----|-----------|--------|--------|--------------|--------------|
| 1  | 32        | 47.95  | 33.88  | 40.23        | 5.88         |
| 2  | 42        | 47.54  | 43.53  | 45.21        | 2.11         |
| 3  | 111       | 46.79  | 45.35  | 45.91        | 1.19         |

Fuente: Elaboración propia a partir de imagen 19

### 5.3. Índice de humedad topográfica

Las áreas propensas a inundaciones se identificaron y clasificaron de ninguna a Muy alta (Figura 20), en función de la morfología del terreno, donde las zonas con alta probabilidad de inundación se consideraron las áreas con la mayor necesidad de espacios verdes para reducir el flujo de la corriente. y aumentar los tiempos de retención. Estas áreas fueron tomadas en consideración para el mapa de acción prioritario.

**Figura 20.** Zonas de inundación con TWI



Fuente: Elaboración propia a partir de modelo digital de elevación de INEGI, capa base de ESRI, datos de campo y fotografías propias

#### 5.4. Mapa de atención prioritaria

El mapa de atención prioritaria (Figura 21) se procesó y reclasificó (Tabla 9) a partir de la combinación de las capas mencionadas anteriormente. Las áreas de atención de alta prioridad cubren una superficie de 19.55 km<sup>2</sup> (Tabla 10). Estas áreas vulnerables representan un riesgo debido a las variables que impulsan el ICU y las inundaciones, sin embargo, la aplicación correcta de proyectos de infraestructura verde tiene el potencial de convertirse en un activo ambiental que ayudará a mitigar este fenómeno. La idea general es que, considerando que la escorrentía es alta en estas áreas, ICU y las inundaciones pueden controlarse y reducirse aprovechando el recurso hídrico de escorrentía diseñando una infraestructura verde adecuada en los sitios propuestos en el mapa de atención prioritario.

**Tabla 9.** Reclasificación de valores para MAP

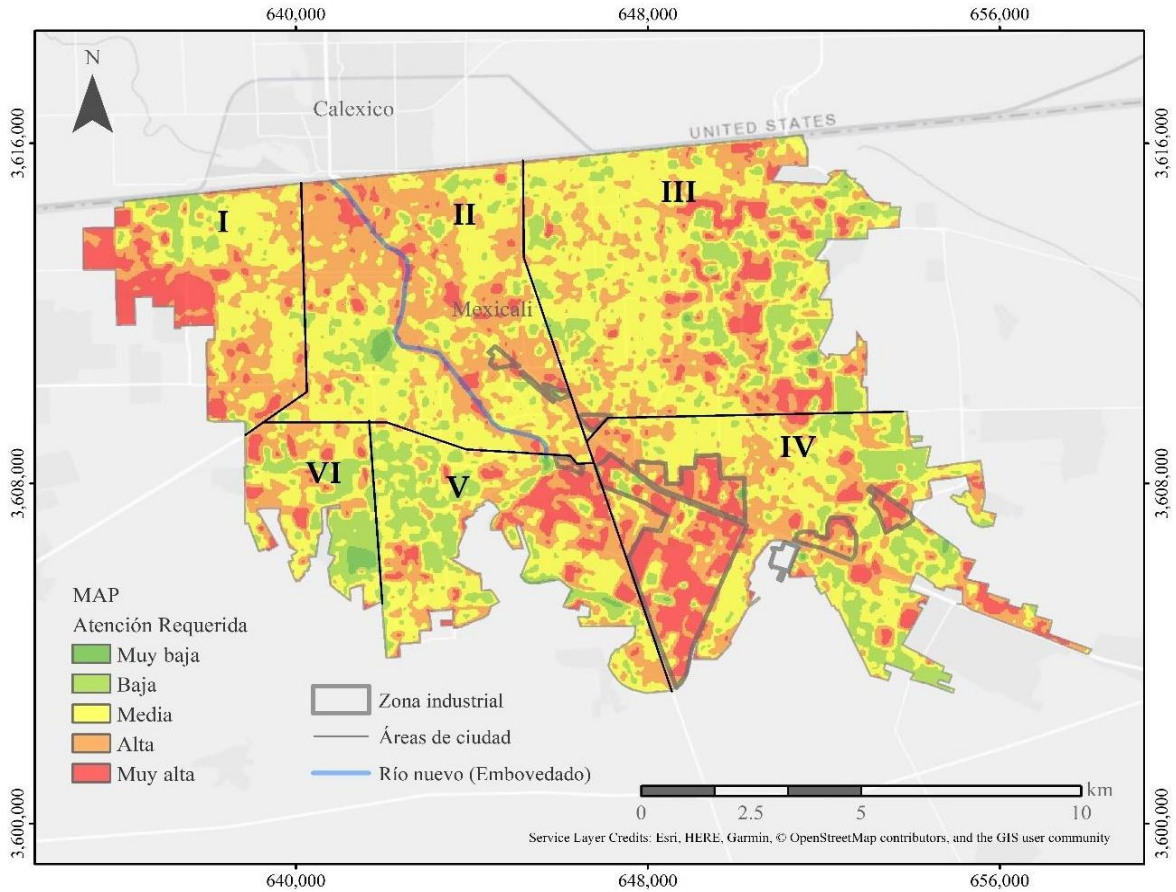
| <b>Factor</b> | <b>Valor</b> | <b>Valor reclasificado</b> | <b>Contribución</b> |
|---------------|--------------|----------------------------|---------------------|
| TST (°C)      | 33-42        | 1                          | Very low            |
|               | 42-46        | 2                          | Low                 |
|               | 46-47        | 3                          | Medium              |
|               | 47-49        | 4                          | High                |
|               | 49-54        | 5                          | Very High           |
| TWI           | 0.1-4        | 1                          | Very low            |
|               | 4-6          | 2                          | Low                 |

|      |            |   |           |
|------|------------|---|-----------|
|      | 6-8        | 3 | Medium    |
|      | 8-14       | 4 | High      |
|      | 14-26      | 5 | Very High |
| NDVI | 0-0.05     | 5 | Very High |
|      | 0.05-0.08  | 4 | High      |
|      | 0.08-0.13  | 3 | Medium    |
|      | 0.13-0.23  | 2 | Low       |
|      | 0.23 -0.58 | 1 | Very low  |

Fuente: Elaboración propia a partir de la combinación de los indicadores TEST, IHT, NDVI y capa base de ESRI



**Figura 21.** Mapa de atención prioritaria.



Fuente: Elaboración propia a partir de la combinación de los indicadores TEST, IHT, NDVI y capa base de ESRI

**Tabla 10.** área y porcentajes de la distribución especial de las zonas de atención.

| <b>Atención Requerida</b> | <b>Área (km2)</b> | <b>Porcentaje (%)</b> |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| Muy baja                  | 0.87              | 0.53                  |
| Baja                      | 22.71             | 13.72                 |
| Media                     | 68.43             | 41.35                 |
| Alta                      | 53.93             | 32.59                 |
| Muy alta                  | 19.55             | 11.81                 |
|                           | $\Sigma$ 165.49   | $\Sigma$ 100%         |

Fuente: Elaboración propia a partir de la figura 12

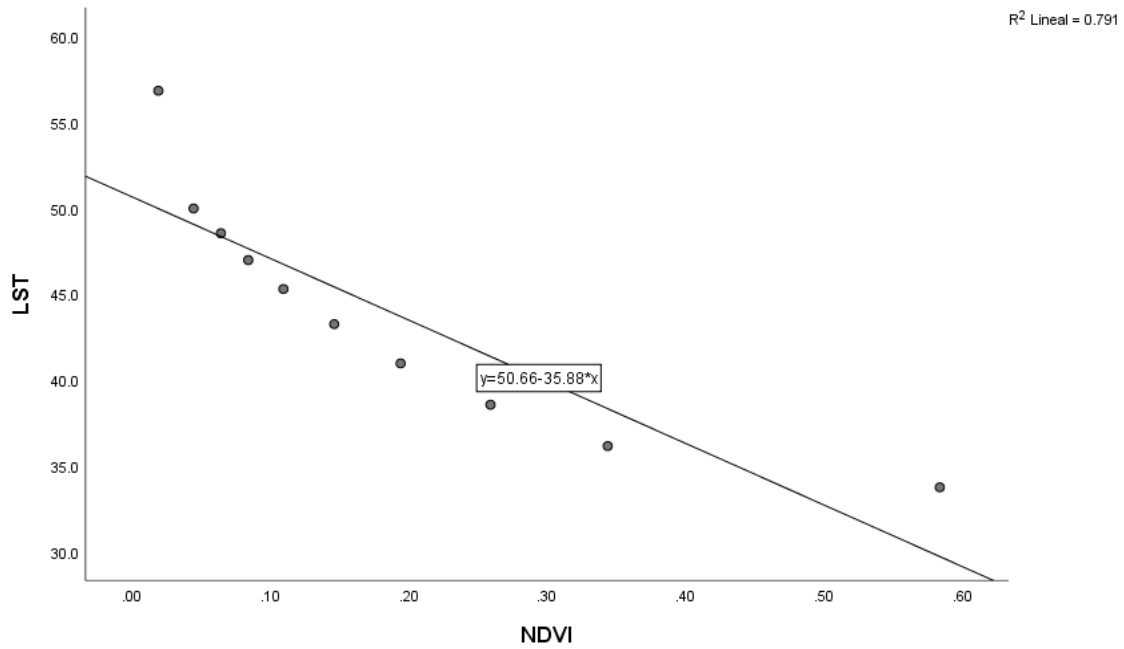
## **5.5. Análisis y validación**

La validación del procedimiento consistió en tres partes fundamentales para la comprensión del entorno y de su comportamiento durante la época de verano y eventos extremos. La cual consiste en la validación de las capas áreas efectivas de vegetación, la del mapa de TST y la validación de las zonas húmedas o propensas a acular encharcamientos, las cuales conforman el mapa de acción prioritaria

### **5.5.1. Validación del NDVI reclasificado**

Las áreas verdes efectivas se obtuvieron correlacionando el NDVI con su efecto en la temperatura. Existe una correlación negativa (Figura 22), la relación entre ambas variables indica la temperatura disminuye mientras el NDVI incrementa.

**Figura 22.** NDVI correlación con TST

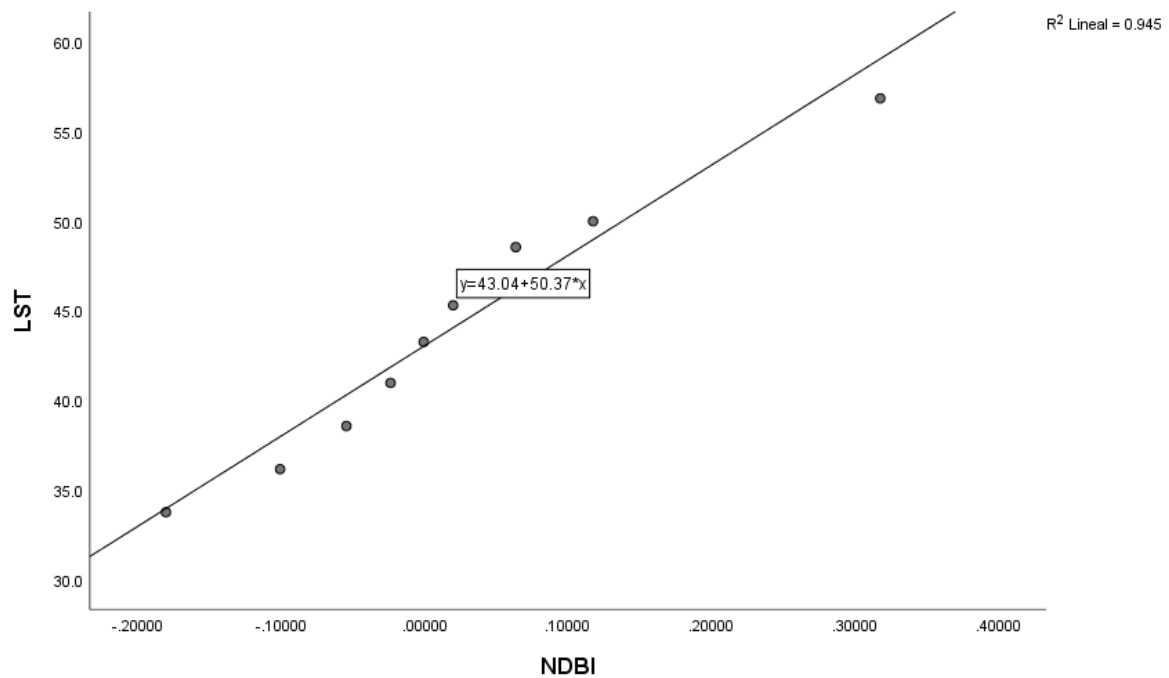


**Tabla 11.** Correlación de Pearson NDVI, TST

|             |                        | <b>TST</b> | <b>NDVI</b> |
|-------------|------------------------|------------|-------------|
| <b>TST</b>  | Correlación de Pearson | 1          | -.889**     |
|             | Sig. (bilateral)       |            | .001        |
|             | N                      | 10         | 10          |
| <b>NDVI</b> | Correlación de Pearson | -.889**    | 1           |
|             | Sig. (bilateral)       | .001       |             |
|             | N                      | 10         | 10          |

Del mismo modo se analizaron los resultados de TST en el área de estudio y su relación con las imágenes NDVI y NDBI (Figura 23). Estos resultados permiten corroborar los valores obtenidos de TST ya que, en áreas con alto NDVI, aumenta una correlación negativa. A medida que la cubierta vegetal es más alta o densa, el TST disminuye. Por el contrario, el NDBI mostró una correlación positiva, áreas donde el NDBI mostró altos incrementos de TST. Finalmente, el MNDWI (Figura 23) también mostró una correlación negativa, ya que los valores de TST se reducen a medida que el MNDWI es más alto.

**Figura 23.** Correlación TST y NDBI



**Tabla 12.** Correlación de Pearson TST y NDBI

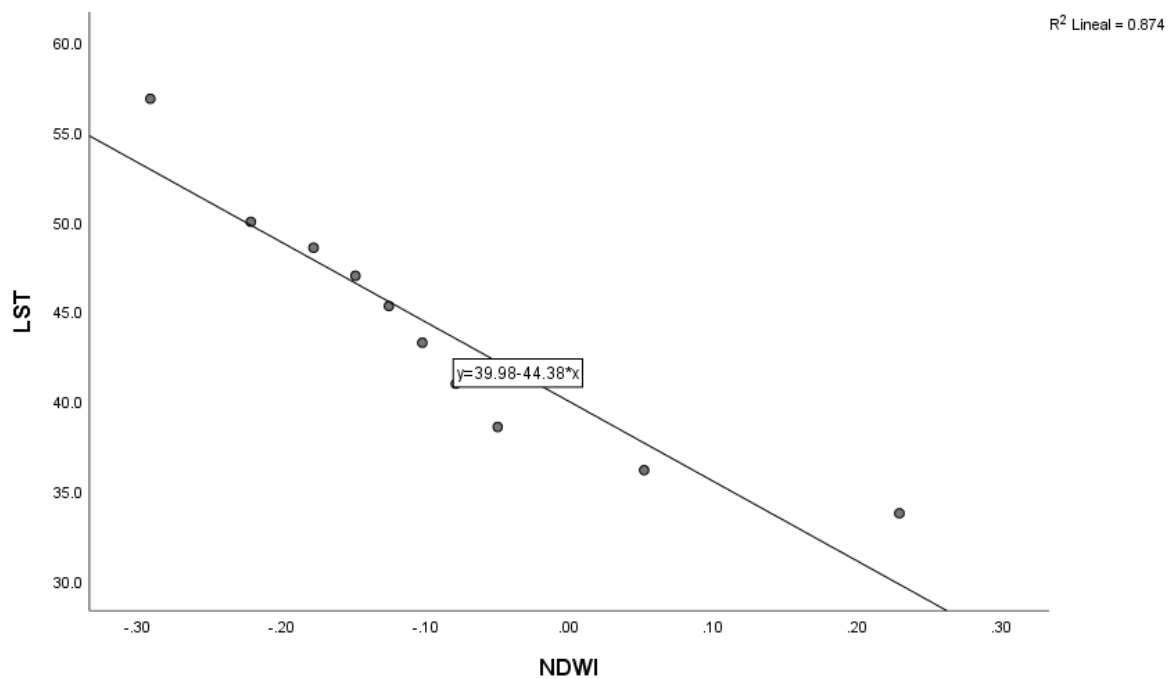
|     | TST                      | NDBI  |
|-----|--------------------------|-------|
| TST | Correlación de Pearson 1 | 972** |

|             |                        |        |      |
|-------------|------------------------|--------|------|
|             | Sig. (bilateral)       |        | .000 |
|             | N                      | 10     | 10   |
| <b>NDBI</b> | Correlación de Pearson | .972** | 1    |
|             | Sig. (bilateral)       | .000   |      |
|             | N                      | 10     | 10   |

Fuente: Elaboración propia

Existe una correlación positiva entre el NDBI y TST. Lo que indica que al incrementa el valor de NDBI incrementa la temperatura.

**Figura 24.** NDWI correlación con TST



**Tabla 13.** Correlación de Pearson TST y NDWI

|             |                        | <b>TST</b> | <b>NDWI</b> |
|-------------|------------------------|------------|-------------|
| <b>TST</b>  | Correlación de Pearson | 1          | .935**      |
|             | Sig. (bilateral)       |            | .000        |
|             | N                      | 10         | 10          |
| <hr/>       |                        |            |             |
| <b>NDWI</b> | Correlación de Pearson | .935**     | 1           |
|             | Sig. (bilateral)       | .000       |             |
|             | N                      | 10         | 10          |

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

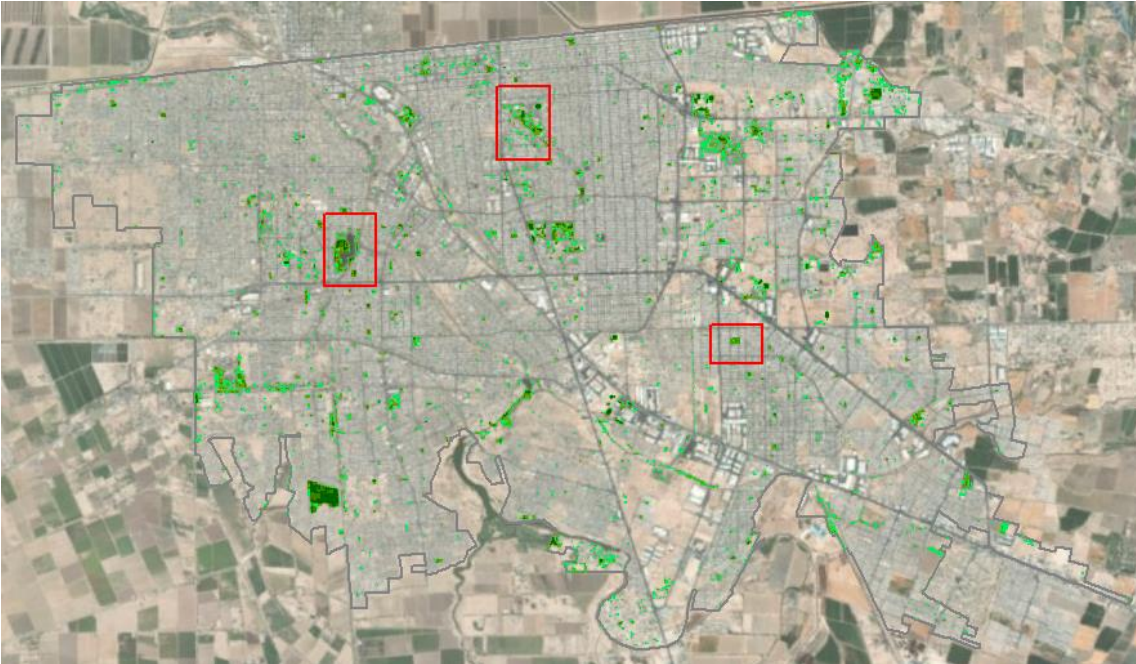
Fuente: Elaboración propia

Existe una correlación negativa de 0.935 por lo que indica que con la presencia de cuerpos de agua la temperatura disminuye.

### **5.5.2. Validación de mapa de áreas verdes**

Posteriormente las áreas verdes efectivas se pusieron en sobreposición de capas como se muestra en la figura 25 con una imagen de alta resolución de Google Earth y a su vez áreas verdes presentadas por el IMIP fueron corroboradas con la imagen, de las cuales se seleccionaron solamente áreas con vegetación en el promedio de NDVI de 2017 a 2019 como muestra de parque efectiva para la reducción de temperatura.

**Figura 25.** Validación de áreas verdes

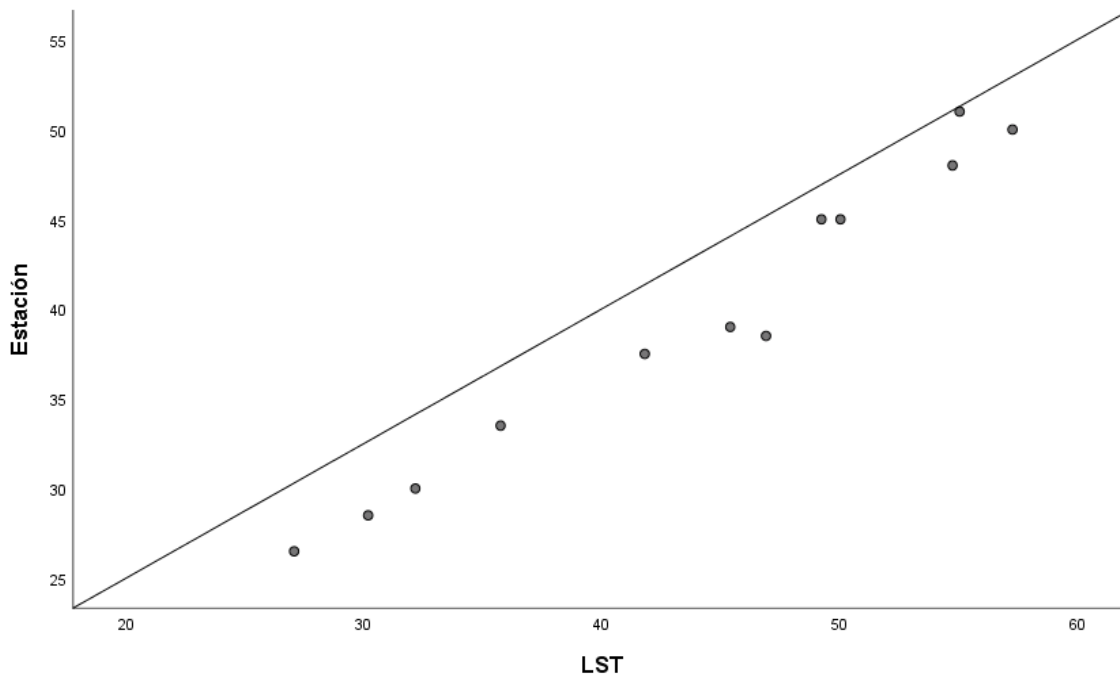


Fuente: Elaboración propia, a partir de NDVI y mapa de parques de IMIP mapa base de Google Earth.

### **5.5.3. Validación de TST**

La forma de validar los datos de percepción remota siempre parece ser con datos medidos en sitio, sin embargo, en este caso la falta de datos y equipo representa un reto aun mayor que la elaboración del proceso de validación, por lo que se optó por la validación de los datos medidos por las estaciones operadas por el SMN de temperaturas máximas durante el año 2017 y su correlación con la media mensual obtenida del cálculo de TST para el año 2017.

**Figura 26.** Correlación TST con estación en sitio.



**Tabla 14.** Correlación de Pearson TST y Estación.

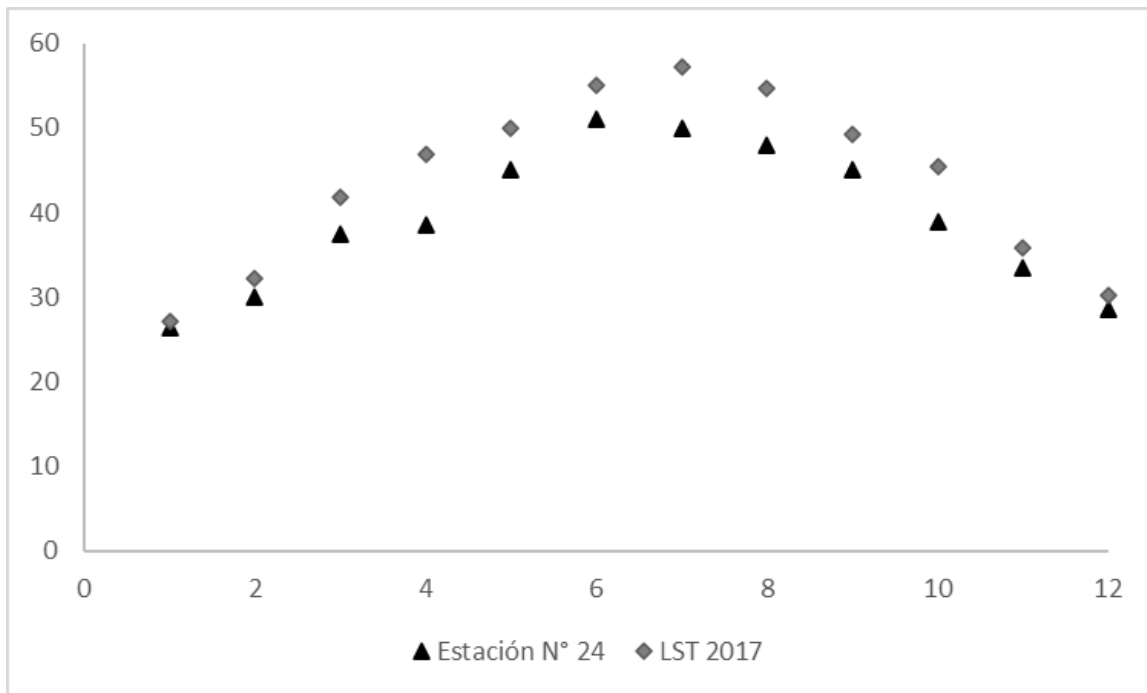
|                 |                        | <b>TST</b> | <b>Estación</b> |
|-----------------|------------------------|------------|-----------------|
| <b>TST</b>      | Correlación de Pearson | 1          | .985**          |
|                 | Sig. (bilateral)       |            | .000            |
|                 | N                      | 12         | 12              |
| <b>Estación</b> | Correlación de Pearson | .985**     | 1               |
|                 | Sig. (bilateral)       | .000       |                 |



\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Existe una correlación positiva alta, aunque como se muestra en la figura 27. las temperaturas de TST tienden a ser ligeramente sobrestimado durante la época de verano en comparación con los datos de la estación 5°C en promedio.

**Figura 27.** Temperatura máxima mensual de Estación y TST.



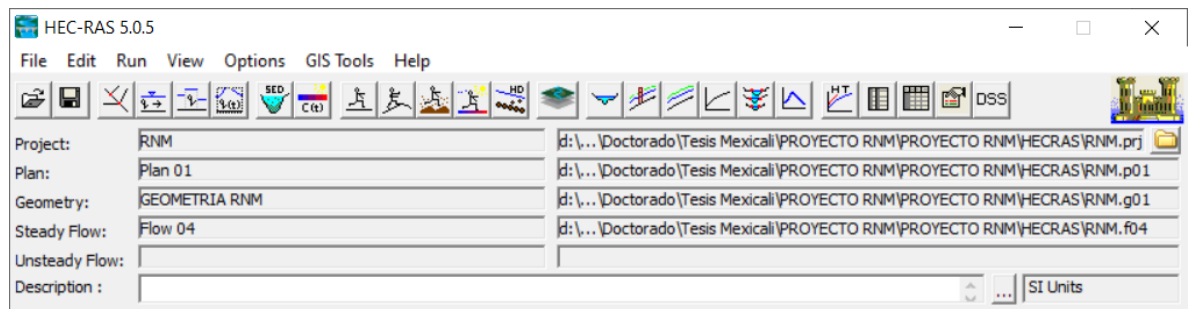
Fuente: Elaboración propia

#### 5.5.4 Validación de zonas de inundación

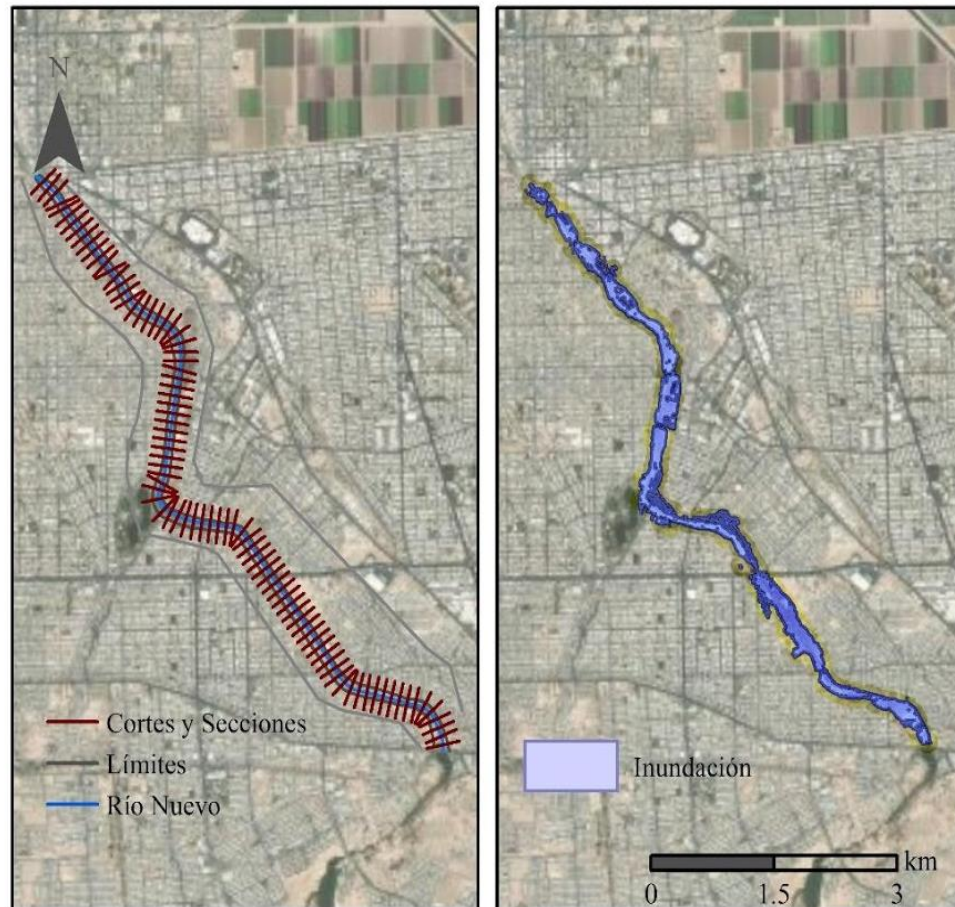
Para validar las zonas de inundación obtenidas con el TWI se tomó la sección embovedada del río nuevo para elaborar un modelo de inundación con HEC-RAS (Figura 28), los datos del modelo como secciones y morfología del terreno se trabajaron y se

visualizaron e identificaron las zonas de inundación, resultados con la herramienta HEC-GeoRAS (Figura 29) y el IHT se compararon para identificar las zonas de inundación (Figura 30) además estas zonas fueron supervisadas durante eventos de precipitación durante el año 2019.

**Figura 28.** Modelo de inundación en HEC-RAS



**Figura29.** validación de zonas de inundación con HEC-GeoRAS



**Figura 30.** comparación de zonas de inundación.



Fuente: Elaboración propia, a partir de IHT y modelo en HEC-RAS

El modelo de inundación con HEC-RAS se elaboró para un periodo de retorno de 20 y 50 años respectivamente y se identificaron las zonas con mayor tirante de hasta 4m de altura y se compararon visualmente con las 4 zonas identificadas en el TWI obteniendo las mismas zonas inundables a lo largo del embovedado del Rio Nuevo.

Los sitios de inundación se estuvieron monitoreando durante eventos de precipitación durante el año 2019, con lo cual se determinó que no es necesaria una precipitación extrema para generar encharcamientos y por lo tanto problemas de circulación vial entre otros como se muestra en la figura 31.

**Figura 31.** Muestra de zonas de supervisión



Fuente: Fotografías propias

## 6. Discusión

Las recomendaciones internacionales establecen que el área verde por habitante deberá ser como mínimo  $9 \text{ m}^2$  y un ideal de  $50 \text{ m}^2$  (Russo & Cirella, 2018), sin embargo, de acuerdo con los resultados dentro del área urbana de Mexicali, los espacios verdes representan solo  $2.43 \text{ m}^2$  por habitante, 73% por debajo de las recomendaciones mínimas. Lo que demuestra la necesidad del entorno urbano para aumentar los espacios dedicados a la instalación de parques urbanos e infraestructura verde que ayude a subsanar el déficit en áreas verdes que tiene la ciudad. Por lo tanto, la implementación de una herramienta de planeación urbana,

que permita la identificar la ubicación espacial de los sitios potenciales para la implementación de estos espacios, es una necesidad.

Debido a la falta de información de la distribución del uso de suelo a una escala adecuada o un inventario actualizado de las áreas verdes, se utilizó la técnica de reclasificación de los valores de NDVI, a partir de las capas de los indicadores NDBI y MNDWI. Este tipo de reclasificación ha sido aplicado previamente en diversas investigaciones, arrojando resultados positivos (Córdoba & Millan, 2013; Ogashawara & Bastos, 2012; Chen et al, 2006). Esto permitió calcular los valores de la cobertura de área verde en la zona urbana a pesar de las limitaciones.

Además, el cálculo de los indicadores obtenidos en esta investigación aportó mayor certeza a los resultados de TST, debido a las correlaciones que presentaron. El TST presenta una correlación positiva al NDBI, que refleja el impacto antropogénico de la infraestructura hacia la ICU. El MNDWI permitió identificar los cuerpos de agua interurbanos, estas zonas presentan una correlación negativa ante la TST, lo que significa que resultan ser las zonas que mayor aporte tienen al enfriamiento de la ICU. Estos resultados se han demostrado previamente en otras investigaciones (Sun et al, 2012; Córdoba & Millan, 2013; Zheng et al, 2018), lo que indica la correcta aplicación del TST como una herramienta para medir la ICU en zonas urbanas con pocos datos.

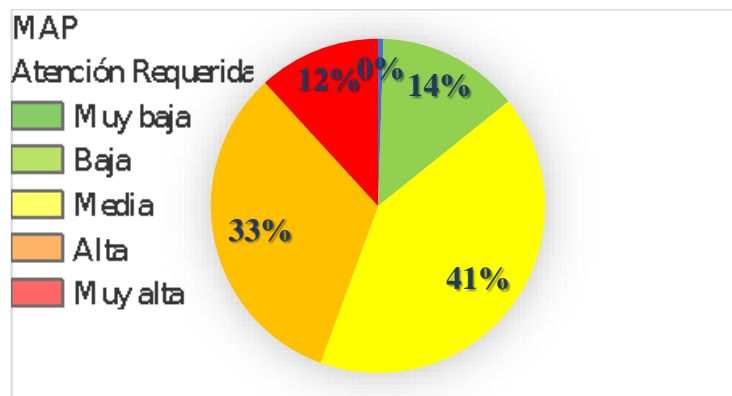
La implementación metodológica desarrollada en esta investigación, además de determinar la extensión de las áreas verdes actuales, permite evaluar su eficiencia en la mitigación de la ICU. En este sentido los resultados del PCI permiten evaluar la capacidad de enfriamiento de las áreas verdes evaluadas. En los resultados es posible observar que la intensidad del efecto de enfriamiento de las áreas verdes es mayor en el tipo parque urbano, posiblemente debido a una mayor superficie de cobertura vegetal, seguido del tipo parque de vecindario y por último el tipo de jardín vecinal. Sin embargo, es importante resaltar que la extensión de los espacios de área verde no es necesariamente la variable más sensible a los cambios en la intensidad de enfriamiento PCI. Estudios como el de Li et al, (2020) indican que factores relacionados con la forma del parque pueden alterar los niveles de enfriamiento. Taha (1997), establece que los niveles de reflectancia características de cada planta pueden generar variaciones a las tasas de enfriamiento del área verde. Dada la falta de información urbana, en el presente estudio no se evaluaron todas las características del área verde que generan cambios en el enfriamiento por lo que es una posible línea de investigación futura que puede aportar elementos encaminados establecer directrices de construcción de los espacios verdes en los entornos urbanos. Sin embargo, tomando en cuenta que en nuestra área de estudio el promedio de PCI varía de 5.88 en el caso del parque urbano a 2.11 en el jardín vecinal, podemos determinar que un factor clave en los entornos áridos son los elementos que conforman ese parque o área verde, como lo es en este caso el cuerpo de agua presente en el parque urbano.

Los resultados del análisis espacial del IHT coinciden con las zonas de mayor tirante en la comparación en HEC-RAS. Además, existe evidencia de inundaciones en los puntos críticos

con mayor IHT. Previamente estudios como el de Salazar et al 2018, ya han identificado estas zonas dentro de la mancha urbana, como áreas vulnerables a los efectos de inundación. El uso de este indicador presenta un doble beneficio como una herramienta aplicable en estos entornos para identificar zonas propensas a la inundación, así como para seleccionar sitios donde es posible aprovechar el recurso hídrico para implementar áreas verdes. Esto respaldado por estudios donde se ha comprobado su efectividad para identificar patrones donde se espera un mayor crecimiento de la vegetación (Luoto et al., 2002; Zinko et al., 2005).

En el mapa de atención prioritaria (MAP), de los 19.55 km<sup>2</sup> de áreas que requieren una atención prioritaria dentro de la clasificación “muy alta” la cual representa un 12 % de la superficie total urbana, gran parte de estas zonas se ubican coincidentemente con la zona industrial de la mancha urbana. Con esta evidencia es posible desarrollar a futuro iniciativas que incidan en la modificación de la normativa de construcción y edificación en zonas industriales, fomentando una mayor aportación de áreas verdes por metro cuadrado de construcción en estas zonas de la ciudad.

**Figura 32.** Porcentaje atención prioritaria.



Fuente: Propia a partir de MAP.



Lo anterior deja en manifiesto una interacción compleja de todos los elementos urbanos requeridos para incrementar la resiliencia urbana, por un lado, se encuentra la morfología, el uso de suelo y la actividad humana, lo que abre la posibilidad a realizar estudios de realizar estudios en estas líneas de investigación que complementen las características regionales actuales como datos de entrada para un modelo de mejora y, por otro lado se encuentran la adaptación de la infraestructura verde apropiada para la región, lo que daría espacio para diseños de ingeniería óptimos que involucren a la sociedad y la mejora de su calidad de vida.

### **6.1. Propuesta de manejo del escurrimiento superficial con áreas verdes**

Para la propuesta del plan de manejo del escurrimiento superficial se elaboró una calificación dividida por las zonas propuestas por el IMIP.

En términos generales la ciudad de Mexicali tiene problemas de encharcamientos e inundaciones en todas las zonas, sin embargo, las precipitaciones en Mexicali son escasas con apenas un promedio anual de 75 mm al año, sin embargo, debido al diseño urbano actual y a la falta de drenaje pluvial apropiado se genera diversos problemas, como caos vial, contaminación, entre otros.

Por otro lado, se puso en evidencia en este trabajo, las temperaturas cada vez serán más extremas por lo que, es pertinente tomar acciones y medidas para incrementar la resiliencia a tiempo y mejorar la calidad de vida. En este proyecto se toman en cuenta dos vulnerabilidades evidentes en la ciudad, la falta de áreas verdes y las inundaciones en eventos extremos.

En la literatura analizada en el capítulo de medidas de mitigación o de incremento de resiliencia se estudiaron los métodos de adaptación de diferentes ciudades como una recopilación de casos de estudio, encontrando cosas en común, en primer lugar, que países en desarrollo están realizando un gran esfuerzo y que se pueden realizar de manera eficiente y económica ajustándose a las medidas políticas y sociales de la región. Por otra parte, se manejan los conceptos de mitigación y de adaptación por separado, por lo que el camino que se tome para adaptar a la ciudad a enfrentar el calentamiento global debe de tomar una ruta acorde a sus capacidades.

Existe un área verde eficiente en la reducción de islas de calor en la ciudad de Mexicali, el bosque de la ciudad (Figura 32),

**Figura 32.** Bosque de la ciudad



Fuente: Fotografía propia

El bosque de la ciudad es el único considerado como parque urbano y cuenta con un cuerpo de agua de aproximadamente 10 ha y 20 de área verde vegetación densa inducida, lo cual resulta atractivo para el esparcimiento, casi como un oasis en medio del desierto.

Mantener parques con esas características tiene sus ventajas, así como sus debilidades, por lo que no se considera viable implementar más de un parque con estas dimensiones y características en la ciudad, pero si tomar las condiciones adversas que tiene la ciudad para convertirlas en una oportunidad de desarrollo. Por lo que se elaboró por zonas un plan de acción en base al mapa de acciones prioritarios de la ciudad como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Recomendaciones.

| <b>Zona</b> | <b>Características</b>                                    | <b>Recomendación</b>   |
|-------------|---|--|
| I           | -Baldíos<br><br>-Zona de inundación alta                  | -Parques con vegetación endémica y áreas inundables con depresión y flujo regulado de salida.  |
| II          | -Embovedado del Rio Nuevo<br><br>-Zona de inundación Alta | - Parque lineal.<br><br>-Sistema de humedales interconectados para la captación del escurrimiento.<br><br>-Sistema de drenaje urbano sostenible. |
| III         | -Zona con mayor concentración de áreas verdes.            | -Mantenimiento sostenible de áreas verdes con vegetación endémica.   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | -Incorporar áreas verdes a las áreas impermeables extensas (Estacionamientos, Centros comerciales, baldíos y otros).  |
| IV | -Zona industrial   | -Humedales como planta de tratamiento de aguas grises de la industria.<br><br>- Parques y zonas inundables.<br><br>-Jardines de esparcimiento regados con agua tratada aledañas a las naves industriales. |
| V  | -Extensas áreas sin vegetación   | -Humedales de tratamiento de agua agrícola.<br><br>-Parques con vegetación endémica regada con agua tratada mediante humedales.   |
| VI | -Extensas áreas sin vegetación y baldíos<br><br>-Zona de inundación alta | -incrementar áreas con árboles y arbustos endémicos.<br><br>-Parque inundable como control de escurrimiento superficial con salida controlada de flujo.   |

Fuente: Elaboración propia

Los planes de adaptación de áreas verdes deben incluir la adaptación de políticas específicas de desarrollo urbano en las que deben incluir, por ejemplo, planes de alcanzar los 10 m<sup>2</sup> por habitante de espacios verdes, distribuidos equitativamente por zonas, comenzando por las zonas que más lo requieren.

## **7. Conclusiones**

Dentro del área urbana conformada por una superficie de 165.68 km<sup>2</sup>, los espacios verdes representan solo el 1.11% de la superficie urbana (2.43 m<sup>2</sup> por habitante) de las cuales solo 1.27 m<sup>2</sup> es vegetación activa. La regulación municipal de Mexicali establece que las áreas verdes se consideran aquellas que están formadas por cualquier tipo de vegetación dentro de parques urbanos, jardines públicos, zonas de preservación ecológica y otras áreas análogas existentes, así como rotondas, calzadas, plazas, bulevares y panteones; sin embargo, se estima que el 60% de la vegetación total no es significativamente activa en la reducción de la isla de calor.

Es importante resaltar que a pesar de la falta de disponibilidad de un inventario actualizado de áreas verdes urbanas, la aplicación de indicadores provenientes de percepción remota como el NDVI, NDBI y MNDWI permitieron calcular la cobertura de área verde. Aunado a esto, las correlaciones de estos indicadores con la TST dan certeza de la aplicación de esta metodología en zonas con falta de información espacial de las áreas verdes. Sin embargo, es esencial a futuro monitorear las condiciones reales de las áreas verdes a través de la observación in situ con la finalidad de afinar los resultados de esta investigación.

Los efectos de enfriamiento de los parques analizados, de acuerdo con los resultados, se encuentran más relacionados a sus elementos internos que los constituyen que a la extensión de su superficie. Por lo anterior, se deja abierta una futura línea de investigación relacionada al análisis de los componentes internos de cada parque y su relación al enfriamiento, con la finalidad de encontrar un factor determinante en el diseño de espacios verdes para zonas áridas. Dadas las condiciones regionales, el factor del análisis del IHT toma un papel esencial en la determinación de zonas potenciales de aprovechamiento del escaso recurso hídrico para la conservación de los espacios verdes, esenciales en la mitigación de las ICU, además que ayudan a mitigar los impactos de las inundaciones.

Los resultados obtenidos del MAP y su herramienta de automatización del proceso pueden ser utilizados para establecer una estrategia de mejora en la eficiencia y calidad de las áreas verdes de la ciudad, así como la posibilidad de ser replicadas y aumentar los indicadores de calidad de vida en zonas urbanas con características similares. Esta investigación cumple con el objetivo de convertirse en una herramienta de planificación urbana disponible para diferentes ciudades de países en desarrollo, especialmente en regiones áridas y semiáridas, facilitando la visualización de áreas susceptibles en los espacios urbanos donde es posible mitigar el fenómeno de las islas de calor e inundaciones súbitas. Utilizando la metodología para el desarrollo del MAP, se posibilita a los gobiernos locales contar con instrumentos que faciliten la participación de la población en la toma de decisiones, lo que además de permitir una mejor inversión de los recursos públicos y privados, eventualmente conduce a mejores condiciones de vida de los habitantes de estos espacios urbanos y aumenta la resiliencia de

las ciudades a los fenómenos de ICU, inundaciones y estancamiento de agua en las vialidades.

### **7.1 Recomendaciones finales**

El seguimiento de este, al igual que otros trabajos de investigación, pueden contribuir a la mejora de la calidad de vida en regiones con climas extremos y adversos, es necesario que las autoridades tomen parte de estas acciones y que las políticas públicas se adapten y se apliquen como una necesidad social y de salud en beneficio de los habitantes de la ciudad de Mexicali.

En relación a lo anterior, el generar un mapa de acción prioritaria como herramienta de planeación urbana pretende facilitar una herramienta accesible para el desarrollo de proyectos locales a diferentes escalas, de manera que el usuario particular pueda involucrarse en la mejora de sus espacios de esparcimiento o en su hogar y que en conjunto con la participación ciudadana se forme una red de espacios verdes que contribuirán a la mejora de la calidad de vida, tomando como prioridades las zonas marcadas como altas en la zona urbana de la ciudad.

La automatización de la herramienta MAP y la identificación de islas de calor pretenden replicar el proceso con las capas de percepción remota con la herramienta de GEE para facilitar la identificación en áreas con características similares, sin embargo el modelo se limita a la ubicación de los sitios que requieren acciones por lo que el diseño de la infraestructura apropiada para el sitio identificado requiere de estudios de ingeniería especializados para poder captar y aprovechar el caudal y distribuirlo de manera apropiada para el tipo de vegetación.

En cuanto a la caracterización de áreas verdes, si bien cierto la captación del recurso hídrico y la distribución apropiada pueden mejorar la calidad de la vegetación e incrementar la cobertura vegetal, es importante considerar los espacios verdes como un entorno que se mimetice con la región y que permita la supervivencia de la especie vegetal, por lo que el desarrollo de infraestructura verde debe considerar plantas que se adapten a las condiciones y que no afecten la vegetación existente en la región.

## 8. Anexos

### Anexo 1. Frecuencia de temperaturas mayores de 39 grados

| Año  | T>39 °C | T>40 °C | T>41 °C | T>42 °C | T>43 °C | T>44 °C | T>45 °C |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1960 | 100     | 95      | 82      | 64      | 41      | 27      | 13      |
| 1961 | 85      | 69      | 55      | 41      | 30      | 21      | 11      |
| 1962 | 100     | 91      | 73      | 58      | 43      | 25      | 9       |
| 1963 | 84      | 64      | 48      | 31      | 18      | 10      | 1       |
| 1964 | 88      | 62      | 42      | 23      | 12      | 5       | 2       |
| 1965 | 67      | 48      | 30      | 19      | 10      | 3       | 0       |
| 1966 | 86      | 71      | 44      | 28      | 13      | 2       | 1       |
| 1967 | 76      | 60      | 47      | 25      | 18      | 7       | 3       |
| 1968 | 93      | 70      | 48      | 27      | 15      | 5       | 4       |
| 1969 | 90      | 68      | 55      | 41      | 26      | 16      | 10      |



|      |     |     |    |    |    |    |    |
|------|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 1970 | 90  | 78  | 66 | 50 | 26 | 11 | 3  |
| 1971 | 82  | 73  | 54 | 38 | 22 | 9  | 4  |
| 1972 | 66  | 53  | 39 | 31 | 22 | 12 | 7  |
| 1973 | 85  | 65  | 47 | 31 | 21 | 10 | 4  |
| 1974 | 79  | 64  | 48 | 31 | 19 | 7  | 3  |
| 1975 | 77  | 61  | 38 | 21 | 13 | 3  | 2  |
| 1976 | 62  | 41  | 27 | 16 | 8  | 5  | 4  |
| 1977 | 82  | 68  | 56 | 39 | 22 | 10 | 5  |
| 1978 | 107 | 90  | 72 | 49 | 33 | 20 | 9  |
| 1979 | 87  | 72  | 58 | 43 | 34 | 20 | 10 |
| 1980 | 98  | 86  | 70 | 41 | 26 | 14 | 8  |
| 1981 | 112 | 102 | 91 | 79 | 59 | 40 |    |
| 1982 | 87  | 73  | 63 | 54 | 42 | 31 | 22 |
| 1983 | 103 | 95  | 70 | 58 | 43 | 26 | 12 |
| 1984 | 85  | 70  | 51 | 24 | 16 | 8  | 4  |
| 1985 | 77  | 64  | 45 | 32 | 21 | 14 | 8  |
| 1986 | 79  | 63  | 41 | 31 | 20 | 9  | 3  |
| 1987 | 42  | 33  | 19 | 14 | 4  | 3  | 1  |

|      |     |     |     |    |    |    |    |
|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 1988 | 71  | 54  | 23  | 11 | 3  | 0  | 0  |
| 1989 | 123 | 110 | 75  | 59 | 45 | 29 | 22 |
| 1990 | 99  | 94  | 75  | 60 | 37 | 25 | 14 |
| 1991 | 94  | 83  | 63  | 56 | 39 | 24 | 10 |
| 1992 | 106 | 84  | 66  | 50 | 36 | 26 | 18 |
| 1993 | 86  | 77  | 53  | 39 | 21 | 13 | 6  |
| 1994 | 110 | 108 | 100 | 88 | 72 | 59 | 40 |
| 1995 | 110 | 103 | 92  | 80 | 64 | 49 | 34 |
| 1996 | 123 | 107 | 93  | 76 | 62 | 43 | 28 |
| 1997 | 121 | 107 | 92  | 68 | 45 | 26 | 10 |
| 1998 | 90  | 77  | 66  | 54 | 35 | 23 | 15 |
| 1999 | 113 | 87  | 77  | 63 | 50 | 12 | 6  |
| 2000 | 119 | 107 | 93  | 75 | 61 | 35 | 21 |
| 2001 | 130 | 116 | 92  | 76 | 51 | 33 | 20 |
| 2002 | 110 | 101 | 92  | 77 | 62 | 36 | 15 |
| 2003 | 109 | 92  | 75  | 52 | 41 | 28 | 13 |
| 2004 | 132 | 115 | 94  | 77 | 53 | 37 | 23 |
| 2005 | 112 | 99  | 85  | 68 | 54 | 42 | 27 |

|      |     |     |    |    |    |    |    |
|------|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 2006 | 121 | 111 | 93 | 70 | 50 | 33 | 22 |
| 2007 | 105 | 98  | 88 | 76 | 60 | 38 | 25 |
| 2008 | 112 | 98  | 86 | 70 | 43 | 33 | 20 |
| 2009 | 120 | 110 | 94 | 79 | 56 | 42 | 23 |
| 2010 | 111 | 97  | 81 | 67 | 49 | 30 | 16 |
| 2011 | 111 | 93  | 83 | 70 | 55 | 44 | 30 |
| 2012 | 128 | 115 | 97 | 73 | 49 | 28 | 16 |

**Anexo 2. Temperaturas máximas y mínimas en parques Mexicali**

| ID | Tipo                 | Área<br>(km2) | Coordenadas |        | T min.<br>(°C) | T max.<br>(°C) |
|----|----------------------|---------------|-------------|--------|----------------|----------------|
|    |                      |               | UTM         |        |                |                |
| 1  | Jardín de vecindario | 0.0042        | 64637       | 361330 | 44.84          | 47.76          |
|    |                      |               | 9           | 0      |                |                |
| 2  | Jardín de vecindario | 0.0022        | 64655       | 361308 | 43.89          | 46.85          |
|    |                      |               | 3           | 0      |                |                |
| 3  | Jardín de vecindario | 0.0018        | 64655       | 361302 | 43.23          | 46.99          |
|    |                      |               | 3           | 0      |                |                |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 4  | Jardín de vecindario | 0.0016 | 64926 | 361114 | 44.20 | 47.17 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 5  | Jardín de vecindario | 0.0037 | 64872 | 361175 | 44.91 | 46.93 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 6  | Jardín de vecindario | 0.0086 | 64972 | 361208 | 45.80 | 47.82 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 7  | Jardín de vecindario | 0.0088 | 65118 | 361210 | 43.96 | 45.98 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 8  | Jardín de vecindario | 0.0036 | 65127 | 361261 | 43.15 | 46.12 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 9  | Jardín de vecindario | 0.0042 | 65064 | 361265 | 43.53 | 46.49 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 10 | Jardín de vecindario | 0.0065 | 65094 | 361265 | 42.44 | 45.41 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 11 | Parque de vecindario | 0.0104 | 65065 | 361482 | 45.53 | 48.50 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 12 | Jardín de vecindario | 0.0030 | 65033 | 361493 | 44.60 | 47.12 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 13 | Jardín de vecindario | 0.0011 | 64543 | 360918 | 44.74 | 47.70 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 14 | Jardín de vecindario | 0.0042 | 64274 | 360472 | 45.70 | 48.05 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 15 | Jardín de vecindario | 0.0067 | 64221 | 360532 | 45.66 | 47.92 |
|    |                      |        | 9     | 0      |       |       |
| 16 | Jardín de vecindario | 0.0141 | 64661 | 361555 | 40.44 | 43.40 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 17 | Jardín de vecindario | 0.0032 | 64855 | 361462 | 44.47 | 46.73 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 18 | Jardín de vecindario | 0.0024 | 64931 | 361238 | 44.50 | 47.46 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 19 | Jardín de vecindario | 0.0020 | 64959 | 361215 | 43.62 | 46.45 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 20 | Jardín de vecindario | 0.0059 | 64851 | 361165 | 43.15 | 46.11 |
|    |                      |        | 9     | 0      |       |       |
| 21 | Jardín de vecindario | 0.0063 | 64933 | 360951 | 45.35 | 46.79 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 22 | Parque de vecindario | 0.0155 | 64995 | 360941 | 42.45 | 45.41 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 23 | Jardín de vecindario | 0.0054 | 65170 | 360821 | 44.74 | 47.70 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 24 | Parque de vecindario | 0.0118 | 65076 | 360722 | 43.16 | 46.13 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 25 | Jardín de vecindario | 0.0065 | 64386 | 360488 | 43.48 | 46.45 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 26 | Jardín de vecindario | 0.0084 | 64224 | 360473 | 44.61 | 46.96 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 27 | Jardín de vecindario | 0.0036 | 64329 | 360518 | 44.10 | 47.06 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 28 | Jardín de vecindario | 0.0081 | 63718 | 361429 | 42.25 | 45.21 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 29 | Jardín de vecindario | 0.0054 | 64247 | 360945 | 44.44 | 47.40 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 30 | Jardín de vecindario | 0.0058 | 64628 | 360684 | 43.79 | 46.76 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 31 | Jardín de vecindario | 0.0098 | 64720 | 360489 | 42.82 | 45.47 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 32 | Jardín de vecindario | 0.0050 | 65411 | 360855 | 43.22 | 46.19 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 33 | Jardín de vecindario | 0.0077 | 65406 | 360818 | 42.75 | 45.68 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 34 | Parque de vecindario | 0.0122 | 65323 | 360827 | 42.86 | 45.82 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 35 | Jardín de vecindario | 0.0031 | 65251 | 361008 | 42.07 | 45.04 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 36 | Jardín de vecindario | 0.0041 | 65374 | 360944 | 42.62 | 45.60 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 37 | Jardín de vecindario | 0.0069 | 65278 | 361000 | 42.28 | 44.93 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 38 | Jardín de vecindario | 0.0068 | 65093 | 360901 | 43.51 | 46.47 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 39 | Jardín de vecindario | 0.0051 | 65245 | 361036 | 43.65 | 45.77 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 40 | Jardín de vecindario | 0.0062 | 64813 | 361400 | 43.12 | 46.08 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 41 | Parque de vecindario | 0.0183 | 64882 | 361502 | 45.76 | 48.72 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 42 | Jardín de vecindario | 0.0134 | 64880 | 361532 | 43.93 | 46.90 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 43 | Jardín de vecindario | 0.0060 | 64987 | 361547 | 44.37 | 47.33 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 44 | Parque de vecindario | 0.0285 | 64720 | 361151 | 48.25 | 51.22 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 45 | Jardín de vecindario | 0.0121 | 63983 | 360798 | 45.21 | 47.17 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 46 | Jardín de vecindario | 0.0022 | 63919 | 361154 | 45.02 | 47.96 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 47 | Jardín de vecindario | 0.0053 | 63893 | 361229 | 43.97 | 46.93 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 48 | Jardín de vecindario | 0.0027 | 63916 | 361427 | 44.41 | 47.38 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 49 | Jardín de vecindario | 0.0079 | 64141 | 361514 | 45.36 | 47.80 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 50 | Jardín de vecindario | 0.0073 | 64254 | 361430 | 44.10 | 46.22 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 51 | Parque de vecindario | 0.0151 | 64490 | 361499 | 42.62 | 44.88 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 52 | Parque de vecindario | 0.0155 | 64613 | 361307 | 45.13 | 47.08 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 53 | Parque de vecindario | 0.0104 | 64715 | 361277 | 45.26 | 47.22 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |



|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 54 | Parque de vecindario | 0.0100 | 64669 | 361069 | 44.04 | 45.96 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 55 | Jardín de vecindario | 0.0053 | 64118 | 360807 | 42.55 | 45.51 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 56 | Jardín de vecindario | 0.0036 | 64115 | 360827 | 43.30 | 45.26 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 57 | Jardín de vecindario | 0.0099 | 64096 | 360866 | 43.84 | 46.80 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 58 | Jardín de vecindario | 0.0036 | 64151 | 360996 | 42.96 | 45.92 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 59 | Jardín de vecindario | 0.0036 | 64241 | 361014 | 43.42 | 45.62 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 60 | Jardín de vecindario | 0.0075 | 64292 | 360986 | 43.72 | 45.94 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 61 | Jardín de vecindario | 0.0069 | 64243 | 360959 | 44.76 | 45.94 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 62 | Jardín de vecindario | 0.0077 | 64192 | 360884 | 44.53 | 46.45 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 63 | Jardín de vecindario | 0.0064 | 64235 | 360870 | 44.61 | 45.96 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 64 | Jardín de vecindario | 0.0035 | 64264 | 360816 | 43.15 | 46.12 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 65 | Jardín de vecindario | 0.0046 | 64239 | 360804 | 43.99 | 46.05 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 66 | Parque de vecindario | 0.0102 | 64202 | 360786 | 43.65 | 46.62 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 67 | Jardín de vecindario | 0.0073 | 64242 | 360737 | 43.46 | 46.42 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 68 | Jardín de vecindario | 0.0049 | 64311 | 360696 | 43.49 | 46.45 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 69 | Jardín de vecindario | 0.0047 | 64354 | 360609 | 43.41 | 46.36 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 70 | Jardín de vecindario | 0.0074 | 64313 | 360656 | 42.59 | 45.55 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 71 | Jardín de vecindario | 0.0052 | 64327 | 360608 | 42.71 | 45.61 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 72 | Campo de Golf        | 0.6933 | 64550 | 360538 | 37.85 | 41.36 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 73 | Parque de vecindario | 0.0104 | 64628 | 360905 | 44.82 | 47.76 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 74 | Jardín de vecindario | 0.0035 | 64737 | 361000 | 44.79 | 47.37 |
|    |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 75 | Jardín de vecindario | 0.0029 | 64923 | 361047 | 44.56 | 47.52 |
|    |                      |        | 9     | 0      |       |       |
| 76 | Parque de vecindario | 0.0105 | 65099 | 361062 | 43.29 | 46.26 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 77 | Jardín de vecindario | 0.0068 | 65064 | 361135 | 45.55 | 48.51 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 78 | Jardín de vecindario | 0.0047 | 65179 | 361168 | 42.81 | 45.73 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 79 | Jardín de vecindario | 0.0053 | 65185 | 361218 | 43.39 | 46.35 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 80 | Jardín de vecindario | 0.0034 | 65159 | 361216 | 43.57 | 46.54 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 81 | Jardín de vecindario | 0.0020 | 65065 | 361155 | 44.23 | 47.21 |
|    |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 82 | Jardín de vecindario | 0.0031 | 65088 | 361169 | 43.46 | 46.42 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 83 | Jardín de vecindario | 0.0016 | 65064 | 361171 | 44.67 | 47.64 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |

|    |                      |        |       |        |       |       |
|----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 84 | Jardín de vecindario | 0.0034 | 65099 | 361361 | 43.38 | 46.34 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 85 | Jardín de vecindario | 0.0072 | 65131 | 361361 | 43.00 | 45.95 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 86 | Jardín de vecindario | 0.0043 | 65107 | 361312 | 41.95 | 44.91 |
|    |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 87 | Jardín de vecindario | 0.0041 | 65107 | 361292 | 43.30 | 45.31 |
|    |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 88 | Parque de vecindario | 0.0111 | 64967 | 361145 | 42.05 | 45.01 |
|    |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 89 | Jardín de vecindario | 0.0060 | 64891 | 361172 | 42.95 | 45.88 |
|    |                      |        | 9     | 0      |       |       |
| 90 | Jardín de vecindario | 0.0030 | 64910 | 361221 | 44.68 | 47.65 |
|    |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 91 | Jardín de vecindario | 0.0055 | 64975 | 361257 | 43.62 | 46.58 |
|    |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 92 | Jardín de vecindario | 0.0036 | 64954 | 361266 | 43.40 | 46.03 |
|    |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 93 | Jardín de vecindario | 0.0040 | 64931 | 361257 | 44.26 | 47.22 |
|    |                      |        | 6     | 0      |       |       |

|     |                      |        |       |        |       |       |
|-----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 94  | Jardín de vecindario | 0.0028 | 64860 | 361302 | 43.06 | 46.02 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 95  | Jardín de vecindario | 0.0028 | 64905 | 361272 | 43.18 | 46.15 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 96  | Jardín de vecindario | 0.0088 | 65035 | 361254 | 44.05 | 47.02 |
|     |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 97  | Parque de vecindario | 0.0189 | 64971 | 361352 | 40.58 | 43.54 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 98  | Jardín de vecindario | 0.0091 | 64130 | 361313 | 44.78 | 47.75 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 99  | Parque de vecindario | 0.0191 | 64190 | 361443 | 42.98 | 45.94 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 100 | Jardín de vecindario | 0.0777 | 64325 | 361403 | 41.09 | 44.06 |
|     |                      |        | 8     | 0      |       |       |
| 101 | Jardín de vecindario | 0.0441 | 64359 | 361501 | 47.89 | 50.85 |
|     |                      |        | 6     | 0      |       |       |
| 102 | Parque de vecindario | 0.3467 | 64574 | 361399 | 43.53 | 47.54 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 103 | Jardín de vecindario | 0.0043 | 64486 | 361280 | 45.26 | 47.36 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |

|     |                      |        |       |        |       |       |
|-----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 104 | Jardín de vecindario | 0.0014 | 64413 | 361203 | 42.66 | 44.53 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 105 | Jardín de vecindario | 0.0052 | 64388 | 361229 | 44.36 | 47.32 |
|     |                      |        | 9     | 0      |       |       |
| 106 | Jardín de vecindario | 0.0020 | 64513 | 361109 | 45.73 | 47.75 |
|     |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 107 | Jardín de vecindario | 0.0063 | 64678 | 361239 | 43.93 | 46.09 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 108 | Parque de vecindario | 0.0363 | 64458 | 361259 | 49.17 | 52.13 |
|     |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 109 | Parque de vecindario | 0.0162 | 64554 | 361260 | 43.02 | 45.99 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 110 | Jardín de vecindario | 0.0000 | 64549 | 361262 | 43.99 | 46.06 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 111 | Jardín de vecindario | 0.0066 | 64603 | 361156 | 42.22 | 45.18 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 112 | Jardín de vecindario | 0.0090 | 64603 | 361174 | 42.08 | 45.60 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 113 | Jardín de vecindario | 0.0031 | 64573 | 361185 | 41.53 | 46.58 |
|     |                      |        | 8     | 0      |       |       |

|     |                      |        |       |        |       |       |
|-----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 114 | Jardín de vecindario | 0.0150 | 64582 | 361149 | 41.92 | 44.89 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 115 | Jardín de vecindario | 0.0174 | 64575 | 361175 | 39.43 | 42.39 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 116 | Parque de vecindario | 0.1841 | 64642 | 361165 | 43.13 | 46.09 |
|     |                      |        | 7     | 0      |       |       |
| 117 | Jardín de vecindario | 0.0026 | 64500 | 361164 | 43.73 | 46.69 |
|     |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 118 | Jardín de vecindario | 0.0129 | 64541 | 361156 | 42.80 | 45.43 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 119 | Jardín de vecindario | 0.0052 | 64039 | 361073 | 44.53 | 46.68 |
|     |                      |        | 5     | 0      |       |       |
| 120 | Jardín de vecindario | 0.0148 | 63992 | 361350 | 47.19 | 49.71 |
|     |                      |        | 3     | 0      |       |       |
| 121 | Jardín de vecindario | 0.0051 | 64273 | 361175 | 43.71 | 46.67 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 122 | Jardín de vecindario | 0.0045 | 64302 | 361047 | 44.24 | 47.21 |
|     |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 123 | Jardín de vecindario | 0.0045 | 64252 | 361043 | 43.42 | 46.06 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |

|     |                      |        |       |        |       |       |
|-----|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 124 | Jardín de vecindario | 0.0060 | 64288 | 361095 | 42.66 | 45.62 |
|     |                      |        | 4     | 0      |       |       |
| 125 | Jardín de vecindario | 0.0093 | 64213 | 361079 | 41.82 | 44.79 |
|     |                      |        | 0     | 0      |       |       |
| 126 | Parque de vecindario | 0.0132 | 64192 | 361207 | 41.22 | 43.85 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 127 | Parque de vecindario | 0.0155 | 64065 | 361116 | 44.41 | 46.92 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 128 | Jardín de vecindario | 0.0057 | 64110 | 361122 | 43.10 | 46.05 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |
| 129 | Parque de vecindario | 0.0118 | 64143 | 361181 | 43.27 | 45.92 |
|     |                      |        | 2     | 0      |       |       |
| 130 | Parque urbano        | 0.3204 | 64192 | 361122 | 33.88 | 47.95 |
|     |                      |        | 1     | 0      |       |       |

## **Productos y aportaciones a la ingeniería**

### **Artículos como primer autor**

Saiz-Rodríguez, J. A., Lomeli Banda, M. A., Salazar-Briones, C., Ruiz-Gibert, J. M., & Mungaray-Moctezuma, A. (2019). Allocation of Groundwater Recharge Zones in a Rural and Semi-Arid Region for Sustainable Water Management: Case Study in Guadalupe Valley, Mexico. *Water*, 11(8), 1586.



Saiz-Rodríguez, J. A., Torres, S. A. M., Valencia, A. C., Rodríguez, R. S., & Hernández, J. A. S. (2017). Elaboración de un modelo digital de elevaciones de alta resolución de la cuenca experimental torre Rayón, Sonora. *EPISTEMUS*, 11(22), 13-19.

### **Artículos como coautor**

Saiz Rodríguez, R., Aguirre López, G. L., Rodríguez, J. C., Watts Thorp, C. J., Saiz Rodríguez, J. A., Ochoa Granillo, A., & Saiz Hernández, J. A. (2017). Estimación de evapotranspiración con imágenes de PROBA-V de un cultivo de sandía en la costa de Hermosillo, Sonora, México. *Terra Latinoamericana*, 35(4), 301-308.

Marcelo Antonio Lomeli Banda, Carlos Salazar Briones, Alejandro Mungaray Moctezuma, José Mizael Ruíz Gibert, Juan Alejandro Saiz Rodríguez. (2019) identificación de los periodos de sequía y caracterización de su intensidad en una cuenca semiárida al noroeste de México con el apoyo de datos remotos. *Revista Aristas* ISSN 2007-9478, Vol.7.

### **Ponencias**

Rodríguez J. C.; Saiz-Rodríguez J. A.; Lizárraga-Celaya C.; López Avendaño J. E.; Yopez-González E.; Ochoa-Meza A.; Rodríguez-Casas J.; Paz-Pellat F. y Watts-Thorp C. Los agroecosistemas ¿funcionan como sumidero de carbono?, En el IX Simposio Internacional del Carbono en México celebrado en Álamos, Sonora del 16 al 18 de mayo de 2018

Saiz-Rodríguez Juan Alejandro Una vista de la UNISON con fotogrametría de alta resolución de bajo costo. Marco de la semana cultural de la división de ingeniería del 5 al 9 de noviembre de 2018

Saiz-Rodríguez J.A. Ponente 6to foro de resultados de investigación 2018, 12 de octubre de 2018

Saiz-Rodríguez J.A. Ponente, Islas de Calor y temperaturas extremas en Hermosillo, Sonora, México. Décimo séptima semana cultural de la división de ingeniería de 04 al 08 de noviembre de 2019

### **Capítulos de Libro**

Rodríguez J. C.1; Saiz-Rodríguez J. A.2; Lizárraga-Celaya C.1; López-Avendaño J. E.3; Yopez-González E.4; Ochoa-Meza A.1; Rodríguez-Casas J.1; Paz-Pellat F.5 y Watts-Thorp C.1 (2018) Los agroecosistemas ¿funcionan como sumidero de carbono? Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México.

### **Referencias**

(s.f.).

Sutton Council. (20 de Marzo de 2020). *Evidence Base by Topic*. Obtenido de [https://www.sutton.gov.uk/info/200464/planning\\_policy/1660/evidence\\_base\\_by\\_topic/12](https://www.sutton.gov.uk/info/200464/planning_policy/1660/evidence_base_by_topic/12)

Aguilar-Quintanar, V. &. (2019). Evaluación de centralidades en la planeación territorial sustentable: Mexicali, México. *Proyección*, (25), 88-112.

Aguilar-Quintanar, V., & Camacho, O. L. (2019). Evaluación de centralidades en la planeación territorial sustentable: Mexicali, México. *Proyección*, (25), 88-112.

Ahima, R. S. (2020). Global warming threatens human thermoregulation and survival. *The Journal of Clinical Investigation*, 130(2).

- Alghamdi, A. &. (2019). Assessing Riyadh's Urban Change Utilizing High-Resolution Imagery. *Land*, 8(12), 193.
- Anandababu, D. P. (2018). Estimation of land surface temperature using Landsat 8 data. *International Journal of Advance Research, Ideas, and Innovations in Technology*, 4(2), 177-186.
- Anding, D., & Kauth, R. (1970). Estimation of sea surface temperature from space.
- Authority Greater London. (2011). Managing risks and increasing resilience. *The Mayor's climate change adaptation strategy*, ISBN 978-1-84781-469-2.
- Avdan, U. &. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*.
- Ballinas, M. a. (2016). The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *J. Environ.*
- Bren d'Amour, C. R., & Creutzig, F. S. (2016.). Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 160.
- Bush. (2001). *The White House*. Obtenido de El presidente Bush habla sobre el cambio climático global: <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2001/06/20010611-2.html>
- Carmen, N. B. (2016). Volume reduction provided by eight residential disconnected downspouts in Durham, North Carolina.. *Journal of Environmental Engineering*., 142(10), 05016002.

- Casillas-Higuera, A. G.-C.-N. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, BC, México. *Información tecnológica*, 25(1), 139-150.
- Chen, X. L. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), 133-146.
- Cleugh, H. L. (2007). Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environmen*, 106, 285-.
- Cornelis, J. &. (2004). Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 69, 385–401.
- Di Salvo, C., Pennica, F., Ciotoli, G., & Cavinato, G. (2018). A GIS-based procedure for preliminary mapping of pluvial flood risk at metropolitan scale. *Enviromental Modelling and Software*.
- Dige, G. (2015). Infraestructura verde: una vida mejor mediante soluciones naturales. *Agencia europea de medio ambiente*.
- Dunbabin, J. S. (1992). Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals. *Science of the Total environment*, 111(2-3), 151-168.
- Dvorak, B. (2011). Comparative analysis of green roof guidelines and standards in Europe and North America. *Journal of Green building*, 6(2), 170-191.

- EPA. (6 de Septiembre de 2019). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de Heat Island Cooling Strategies: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-cooling-strategies>
- EPA, U. (17 de Abril de 2020). *Heat Island Effect*.. Obtenido de Available online: <https://www.epa.gov/heat-islands>
- ESA. (20 de Enero de 2020). *sentinel missions*. Obtenido de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>
- Escobedo, F. V. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science & Policy*, 14, 1219.
- Fahy, B. B. (2019). Spatial analysis of urban flooding and extreme heat hazard potential in Portland, OR. *International journal of disaster risk reduction*, 39, 101117..
- Foley, T. P., Wolf, A. M., Henriquez, P., Sandoval, F., & Rogstad, A. (2019). Low Income Urban Forestry Program in Tucson, Arizona, USA, *Cities, and the Environment (CATE): Vol. 12, Vol. 12: Iss. 2, Article 2*.
- Gago, E. J.-T. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758.
- García Cueto O. R., T. M. (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B. C., México. *Atmosphere*, 22(4), 349-365.
- GARCÍA-CUETO, O. R.-O.-M. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México, and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.

- García-Cueto, O. R.-O.-M. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, BC, México, and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.
- Greenbelt Foundation. (2017). Green Infrastructure Guide for Small Cities, Towns and Rural Communities.
- Grimm, N. F. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–760.
- Haaland, C. &. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban forestry & urban greening*, 14(4), 760-771.
- Hall, J. W. (2005). National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Natural Hazards*, 36(1-2), 147-164.
- Han, J. Y. (2014). Urban impacts on precipitation. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 50, 17–30.10.1007/s13143-014-0016-7.
- Harris, D. C. (2010). Charles David Keeling and the story of atmospheric CO2 measurements. *anal. Chem.*
- Hopkins, K. G. (2015). Type and timing of stream flow changes in urbanizing watersheds in the Eastern US. *Elementa: Science of the Anthropocene*.
- Howard, L. (1820). The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis;. *W. Phillips: Cambridge*, Volume 1.
- Howard, L. (1833). Climate of London Deduced from Metrological Observations. *Harvey and Dorton Press, London*, vol. 1..

- Huff, F. A. (1972). Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis. *J. Appl. Meteor*, 823–842.
- Huff, F. A. (1986). Urban hydrological review. *Bull.Amer. Meteor. Soc*, 703–712.
- Huong, H. T. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379.
- Imhoff, M. L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote sensing of environment*, 114(3), 504-513.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 151)*. *Ipcc*. Geneva, Switzerland: [Core Writing Team, R.K. Pachauri, and L.A. Meyer (eds.).
- IPCC. (2018). Calentamiento global de 1,5°C. *Resumen para responsables de políticas*, 32 p.
- IPCC. (27 de Junio de 2019). Obtenido de [https://archive.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)
- Ishimatsu, K. I. (2017). Uso de jardines de lluvia para la gestión de aguas pluviales en el diseño y la planificación urbana. *Ingeniería paisajística y ecológica*, 13 (1), 205-212.
- Jana, B. K. (2010). Accumulation of carbon stock through plantation in urban area. In B. K. Jana, & M. Majumder (Eds.), *Impact of climate change on natural resource management*, pp. 281–294.

- Jenkins, K. S. (2017). Assessing surface water flood risk and management strategies under future climate change: Insights from an Agent-Based Model. *Science of the Total Environment*, 595, 159-168.
- Jiménez, L. N. (2020). Cumplimiento de la política de cambio climático en las entidades federativas de México. *Sociedad y Ambiente*, (22), 48-71.
- Jimenez-Munoz JC, C. J. (2009). Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 47:339–349.
- Jiménez-Muñoz, J. C. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. I. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10), 1840-1843.
- Jusuf, S. W. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat, Int.* 31 (2),232–242.
- Kim, M. R. (2018). Residents' perception of informal green space—A case study of Ichikawa City, Japan. *Land*, 7(3), 102.
- Kristin Rypdal, S. E. (2006). IPCC INTRODUCTION TO THE 2006 GUIDELINES. *National Greenhouse Gas Inventories*, Capitulo 1 <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>.
- Lee, K., Kim, Y., Sung, H., Ryu, J., & Jeon, S. (2020). Trend Analysis of Urban Heat Island Intensity According to Urban Area Change in Asian Mega Cities. *Sustainability*, 12, 112.



- Lei, M. N.-P. (2008). Effect of explicit urban land surface representation on the simulation of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India.. *Atmosph.*
- Li, H. W. (2020). Mapping and Analyzing the Park Cooling Effect on Urban Heat Island in an Expanding City: A Case Study in Zhengzhou City, China.. *Land*, 9(2), 57.
- Li, H., Wang, G., Tian, G., & Jombach, S. (2020). Mapping and Analyzing the Park Cooling Effect on Urban Heat Island in an Expanding City: A Case Study in Zhengzhou City, China. *Land*, 9(2), 57.
- Liang, B. &. (2008). Multiscale analysis of census-based land surface temperature variations and determinants in Indianapolis, United States. *Journal of Urban Planning and Development*, 134(3), 129-139.
- Libecap, G. D. (2002). “Rain follows the plow” and dryfarming doctrine: the climate information problem and homestead failure in the Upper Great Plains, 1890–1925. *The Journal of Economic History*, 62(1), 86-120.
- Lin, C. Y. (2011). Impact of the urban heat island effect on precipitation over a complex geographic environment in northern Taiwan.. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(2), 339-353.
- Lindsay R, D. L. (10 de Diciembre de 2019). *Global Temperature*. Obtenido de Climate Change: Global Temperature.: <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Liu, H. &. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis. *Environmental monitoring and assessment*, 144(1-3), 199-219.

- Mancino, M. M. (2018). Marginación y costos de inundación en el Estado de México, México. *Investigaciones Geográficas*, 69), 91-106.
- Manso, M. & -G. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy, Reviews*, 41, 863-871.
- Markham, B. L. (1985). Spectral characteristics of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 697 – 716.
- Martinez-Austria, P. &. (2017). Temperature and heat-related mortality trends in the Sonoran and Mojave Desert region. *Atmosphere*., 8(3), 53.  
<https://doi.org/10.3390/atmos8030053>.
- Martinez-Austria, P., & Bandala, E. (2017). Temperature and heat-related mortality trends in the Sonoran and Mojave Desert region. *Atmosphere*, 8(3), 53.
- Meng, W. G. (20017). Urban effects and summer thunderstorms in a tropical cyclone affected situation over Guangzhou city. *Science in China. Series D: Earth Sciences*, 50, 1867–1876.
- Miller, H. R. (2013). Users, uses, and Dale, A., Quattrochi, D., Luvall, J.C. (Eds.),. *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processing. CRC Press*, pp. 257-282.
- Mote, T. L. (2007). Radar signatures of the urban effect on precipitation distribution: A case study for Atlanta, Georgia. *Geophys. Res*, 34.
- NASA. (18 de enero de 2017). Obtenido de NASA, NOAA Data Show 2016 año más cálido registrado a nivel mundial: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally>

- NASA. (14 de Noviembre de 2019). Obtenido de Global Warming from 1880 to 2018: [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/139/video-global-warming-from-1880-to-2019/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/video-global-warming-from-1880-to-2019/)
- NASA. (15 de enero de 2020). Obtenido de Los análisis de la NASA y la NOAA revelan el segundo año más cálido registrado en 2019: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record>
- NASA. (1 de marzo de 2020). *Global Climate Change*. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/faq/19/what-is-the-greenhouse-effect/>
- NASA. (18 de enero de 2020). *MODIS*. Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- Neufeldt, H. J. (2010). Climate policy and inter-linkages between adaptation and mitigation (*. Cambridge University Press*, pp. 3-30.
- Oke, T. (1973). City size and the urban heat island. *Atmos. Environ*, 7, 769–779.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769-779.
- Olave Solar, C. S. (2008). Thermal variability in the northeastern area of Brunswick Peninsula, Magallanes, Chile, using Landsat data. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, pp. 5-12.
- Olave-Solar, C. S. (2008). Thermal variability in the northeastern area of Brunswick Peninsula, Magallanes, Chile, using Landsat data. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, Vol. 36(2), pp. 5-12.

- Peterson, T. C. (2008). The myth of the 1970s global cooling scientific consensus. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(9), 1325-1338.
- Polliotto, G. A. (2019). IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL CRECIMIENTO URBANO. *El caso de los barrios cerrados en la ciudad de Salta*.
- Q. H. Weng, D. S. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies,”. *Remote Sensing of Environment*, vol. 89, no. 4, pp. 467–483.
- Qin, Z. K. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International journal of remote sensing*, 22(18), 3719-3746.
- Ran, J. & -B. (2016). Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure. *Environment and Urban Systems*, 57, 68-79.
- Rasul, A. B. (2017). A review on remote sensing of urban heat and cool islands. *Land*, 6(2), 38.
- Ren, Y. W. (2011). Relationship between vegetation carbon storage and urbanization: A case study of Xiamen, China. *Forest Ecology and Management*, 261, 1214–1223.
- Rosenzweig, C. S. (2011). Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network. *Cambridge University Press*.
- Roy, D. P. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote sensing of Environment*, 145, 154-172.

- Sadek, M. &. (2019). Low-Cost Solution for Assessment of Urban Flash Flood Impacts Using Sentinel-2 Satellite Images and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Ras Ghareb City, Egypt. *Advances in Civil Engineering*.
- Salazar-Briones, C. H.-A.-M.-L.-P. (2018). Hydrological and hydraulic modeling of an intra-urban river in a transboundary basin using a regional frequency analysis. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(4).
- Samuels, P. G.-C. (2009).: Language of Risk–Project Definitions (Second Edition). *FLOODsite report number T32-04-01*, 55.
- Scharenbroch, B. C. (2016). Tree species suitability to bioswales and impact on the urban water budget. *Journal of environmental quality*, 45(1), 199-206.
- Schleussner, C. R. (2016). Características científicas y políticas del objetivo de temperatura del Acuerdo de París. *Nature Climate Change*, 6 (9), 827-835.
- SEMCOG. (2008). Southeast Michigan Council of Governments. *Low impact development manual for Michigan: A design guide for implementors and reviewers*.
- Sen, S., Roesler, J., Ruddell, B., & Middel. (2019). Cool Pavement Strategies for Urban Heat Island Mitigation in Suburban Phoenix, Arizona. *Sustainability*, 11, 4452.
- Shabecoff, P. (24 de Junio de 1988). Global Warming Has Begun, Expert Tells Senate. *The New York Times*.
- Shepherd, J. M. (2005). A review of current investigations of urbaninduced rainfall and recommendations for the future.. *Earth Interact.*, 9.

- Sobrino J, L. Z. (1994.) Improvements in the split-window technique for land surface temperature determination. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 32:243–253.
- Sobrino JA, L. Z. (1996). Multi-channel and multiangle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *Int J Remote Sens*, 17:2089–2114.
- Sobrino, J. A. (1993). Theoretical split-window algorithms for determining the actual surface temperature.. *Il Nuovo Cimento C*, 16(3), 219-236.
- Sobrino, J. A. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21(2), 353–366.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/014311600210876>.
- Stanley A. Chagon, e. (1990). Precipitation changes in fall, winter, and spring caused by st. louis. *Journal of applied meteorolog*, p.126.
- Stathopoulou, M. &. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 81(3), 358-368.
- Streutker, D. R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 282-289.
- Sun, R., & Chen, L. (2017). Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification. *Ecosystem Services*, 23, 38-46.
- Suraj Shah, R. S. (2018). Satellite Imagery Based Observation of Land Surface Temperature of Kathmandu Valley. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 7, issue 82, ISSN: 2251-8843.

- Tallis, M. T.-S. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments.. *Landscape and Urban Planning*, 103, 129–138.
- Tan, J. Z. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75-84.
- Toronto. (1 de Febrero de 2020). ‘Greening’ Surface Parking Lots. Obtenido de <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/design-guidelines/greening-surface-parking-lots/>
- Torres Ramírez, B. (2019). La participación de México en la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. *Foro internacional*, 59(3-4), 1179-1219.
- UN, U. N. (10 de diciembre de 2019). *Climate Change*. Obtenido de What is the Kyoto Protocol: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)
- United Nations. (Dicembre de 2018). *The speed of urbanization around the world*. Obtenido de [https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-PopFacts\\_2018-1.pdf](https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-PopFacts_2018-1.pdf)
- USGS. (14 de octubre de 19). *Misiones Landsat*. Obtenido de [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/product-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=3#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/product-information?qt-science_support_page_related_con=3#qt-science_support_page_related_con)
- USGS. (10 de enero de 2020). *Misiones Landsat*. Obtenido de Landsat 8: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

- Villanueva-Solis, J. (2017). Urban Heat Island Mitigation and Urban Planning: The Case of the Mexicali, B. C. Mexico. *American Journal of Climate Change*, 6, 22-39. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61002>.
- Wang, Y. D. (2018). Temporal and spatial variation relationship and influence factors on surface urban heat island and ozone pollution in the Yangtze River Delta, China. *Science of the Total Environment*, 631, 921-933.
- Wilbanks, T. J. (2007). Integrating mitigation and adaptation as responses to climate change: a synthesis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 957-962.
- Wong NH, J. S. (2011). Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption. *Solar Energy*, 85:57–71..
- Wong, E. (2005). Green roofs and the U.S. *Environmental Protection Agency's heat island reduction initiative*, Canada.
- Wong, E. (2005). Green roofs and the U.S.." Canada. *Environmental Protection Agency's heat island reduction initiative*.
- World Bank. (2010). *Mexico leading the agenda on mitigation and adaptation to climate change*. World Bank. Obtenido de D.C.: World Bank Group: <http://documents.worldbank.org/curated/en/854951467986373963/Mexico-leading-the-agenda-on-mitig>
- World Bank. (2014). *Bajemos la temperatura*. Washington, DC: World Bank.
- Woznicki, S. A. (2018). Effectiveness of landscape-based green infrastructure for stormwater management in suburban catchments. *Hydrological Processes*, 32(15), 2346-2361.



- Xu, Z., FitzGerald, G., Guo, Y., Jalaludin, B., & Tong, S. (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A Systematic review and meta-analysis. *Environ. Int.*, 89–90, 193–293..
- Yao, R. W. (2017). Investigation of Urbanization Effects on Land Surface Phenology in Northeast China during 2001–2015. *Remote. Sens.*, 9.
- Yao, R. W. (2018). Interannual variations in surface urban heat island intensity and associated drivers in China. *Journal of environmental management*, 222, 86-94.
- Yin, S. S. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 159, 2155–2163.
- Zhang, Y. &. (2018). Impacts of land cover transitions on surface temperature in China based on satellite observations. *Environmental Research Letters*, 13(2), 024010.
- Zhou, D. B. (2018). Remote sensing of the urban heat island effect in a highly populated urban agglomeration area in East China. *Science of the Total Environment*, 628, 415-429.
- Zhou, D. Z. (2014). Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. *Remote Sens. Environ*, 152, 51–61.

