



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

---

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

**“DISPONIBILIDAD, DENSIDAD Y  
ACCESIBILIDAD DEL ÁREA VERDE  
PÚBLICA EN LA ZONA URBANA DE  
QUERÉTARO”**

**T E S I S**

Para obtener el título de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presenta:

**ANA KAREN GODÍNEZ RAMÍREZ**

Director de Tesis:

**DRA. MICHELLE FARFÁN GUTIERREZ**

Co Asesor de Tesis:

**DRA. AYESA MARTÍNEZ SERRANO**

**Guanajuato, Gto. Mayo 2021**

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>5</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. ANTECEDENTES.....</b>	<b>9</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>10</b>
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>9. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XIX la población urbana suponía el 2% del total de la población mundial. En 2005 ese porcentaje ya superaba el 50% (Hurtado, 2010). Ante los hechos que la mitad de la humanidad vive actualmente en ciudades, de que esta tendencia seguirá al alza y de que para la mayoría de las personas el futuro será urbano, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015 aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. Entre los objetivos planteados está el objetivo número 11, referente al de las ciudades y comunidades sostenibles, para las cuales se define una serie de metas con la finalidad de contrarrestar los efectos nocivos de vivir en ellas, entre los que se encuentran la contaminación del aire, la generación de islas de calor por falta de espacios verdes, por mencionar algunos. Dado que las áreas verdes públicas urbanas (mencionadas en adelante como AVPU a lo largo del texto) contrarrestan estos efectos nocivos (cita) el objetivo 11.7 de dicha agenda plantea que para el año 2030, se debe proporcionar acceso universal a áreas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad. Es en este sentido que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que debe existir una provisión mínima de 9m<sup>2</sup> de AVPU por habitante, localizados dentro de una distancia de 15 minutos caminando desde casa para que éstas brinden un apropiado bienestar a los habitantes de las ciudades (WHO, 2012).

Las AVPU, definidas como cualquier área vegetada como parques, cementerios, bosques urbanos o lotes particulares (Bastian *et al.* 2012), juegan un papel fundamental en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y del ambiente en las ciudades (Baycan-Levent y Nijkamp, 2009) ya que se ha comprobado que pueden mantener un aprovisionamiento constante de servicios ecosistémicos con los cuales disminuir los problemas relativos a la escasa calidad de vida de los ambientes urbanos (McPherson, *et al.* 2015; Andersson, *et al.* 2014). Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios obtenidos por las personas de las AVPU (Constanza *et al.*, 1997; MEA 2005). Los servicios

ecosistémicos pueden ir desde los más simples como lo puede ser la regulación del microclima, purificación del aire, etc., hasta los que son más complejos como los de carácter psicológico, espiritual y de salud, como las sensaciones de paz, relajación y bienestar emocional al tener un contacto más cercano con la naturaleza (Vásquez, 2016).

Para que las AVPU aporten la mayor parte de la serie de beneficios que se les reconocen, deben tener ciertas características como: 1) cantidad (suficiencia), 2) disponibilidad (porcentaje de AVPU/hab) y 3) accesibilidad (que las personas puedan llegar a las AVPU recorriendo poca distancia).

Algunos autores han realizado inventarios espaciales de AVPU y a partir de éstos han desarrollado y evaluado una serie de indicadores que han permitido conocer cuál es su situación en distintas ciudades. Por ejemplo, en el tema de disponibilidad, se ha cuantificado el AVPU para el caso de algunas ciudades mexicanas mediante el uso de sistemas de información geográfica y han llegado a la conclusión de que existe una inadecuada disponibilidad de AVPU per cápita producto de la mala planeación urbana (Mata, 2019; Ruiz-Luna et al., 2019; Peña-Salmon et al., 2014; Meza y Moncada, 2010). Otra serie de estudios se han orientado adicionalmente a estimar el porcentaje de AVPU por habitante (densidad de área verde por habitante), es decir, su oferta para el uso público y también lo han relacionado a condiciones de precariedad social y urbana (Morales-Cerdas et al., 2018) o a su distribución por unidad político-administrativa (Checa-Artasu, 2016). Sin embargo, un aspecto que ha sido poco estudiado es el referente a la accesibilidad de estos espacios para las personas porque es tan importante contar con plazas y parques en la ciudad como lo es que éstos se encuentren cerca de las personas. Por ello, no solo importa cuántos metros cuadrados de áreas verde pública existen por cada habitante, sino la distancia que se debe recorrer para acceder a ellas. Torres (2018), identificó las zonas con mayor y menor accesibilidad a jardines de la población en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Los resultados muestran que la accesibilidad potencial a jardines se encuentra en función de la distancia al centro fundacional de la ciudad, con altos

valores de accesibilidad en la zona céntrica del municipio de Toluca lo cuales van disminuyendo hasta llegar a las periferias.

En el presente estudio utilizamos herramientas de análisis espacial implementadas en los sistemas de información geográfica (SIG), con el objetivo de: 1) estimar la disponibilidad de AVPU (porcentaje), 2) su densidad (superficie de AVPU/ por habitante) y finalmente, 3) analizar la accesibilidad a las AVPU (en metros de distancia de acceso) para los habitantes de la Zona urbana de Querétaro.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 Objetivo general

Analizar las áreas verdes públicas urbanas (AVPU) en términos de su disponibilidad, densidad y accesibilidad en la zona urbana de la zona metropolitana de la ciudad de Querétaro.

### 2.2 Objetivos particulares

- Elaborar dentro de un Sistema de Información Geográfica la cartografía de las áreas verdes urbanas de la zona urbana de la zona metropolitana de Querétaro escala 1:1000.
- Determinar la disponibilidad, densidad y accesibilidad del área verde pública urbana a nivel de manzana y AGEB por habitante para la zona urbana de Querétaro.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Importancia de las áreas verdes públicas y servicios ecosistémicos que proveen

En este trabajo vamos a definir un área verde pública urbana como una superficie cubierta de vegetación, natural o inducida, en la que es posible desarrollar diversas actividades de recreación entre las personas que las visiten. En el 2010, la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial realizó un estudio de las áreas verdes urbanas llamado *“Presente y futuro de las Áreas Verdes y Arbolado*

*en la Ciudad de México”, en este trabajo se presenta la definición de los espacios verdes urbanos que se adapta a este trabajo, “espacio verde urbano se consideran a todos aquellos elementos vegetales de porte arbóreo ubicados en cajetes sobre aceras y vía pública y al interior de predios privados, generalmente situados de manera espaciada” (PAOT, 2010).*

Las AVPU se encargan de proveer servicios sociales y ecológicos, y lo hacen en función de su distribución, superficie y accesibilidad (Reyes, 2010).

Debido a que las tasas de urbanización han aumentado exponencialmente desde pasada la segunda mitad del siglo XX, las AVPU son cada vez más importantes como espacios de interacción social y con la naturaleza, y se ha documentado el impacto positivo en la salud de las personas que acuden a dichos espacios.

De este modo es importante señalar los diferentes beneficios ecosistémicos que se obtienen al contar con espacios verdes públicos de calidad dentro de las ciudades.

Las AVPU reducen los impactos que las actividades urbanas generan, así mismo, mejoran la calidad del aire, reducen niveles de CO<sub>2</sub>, reducen contaminación por ruido y proporcionan un hábitat a la vida silvestre de las zonas aledañas (Sorensen et al., 2000). Las áreas verdes de gran tamaño contribuyen más efectivamente a la regulación de las inundaciones ocasionadas por la acumulación del agua de lluvia, ya que mantiene una alta permeabilidad del suelo y su capacidad de infiltración (Sorensen et al., 2000). Entre mayor tamaño, más densa y saludable sea la cobertura vegetal del AVPU, funcionará mejor y, en consecuencia, aumentará la calidad de los servicios ecosistémicos que provea (Romero et al., 2001). Es importante resaltar que la vegetación presente en las AVPU de gran tamaño ayuda a la regulación de la temperatura y que también cuenta con la capacidad de capturar material particulado y así ayudar con la calidad del aire en la zona. Además de los beneficios concretos antes mencionados, los beneficios sociales de las áreas verdes públicas urbanas se encuentran directamente relacionados con la salud pública, la recreación, paisajismo y bienestar general, especialmente beneficia a la población más vulnerable de la zona que interactúa con estas áreas.

Por lo tanto, se puede concluir que las AVPU constituyen uno de los mecanismos que coadyuvan a la sostenibilidad de las ciudades y por lo tanto son de suma importancia para el desarrollo óptimo de las mismas (Pérez-Medina, 2013).

En el 2015, se llevó a cabo la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo sostenible en Nueva York, esta reunión dio como resultado el documento llamado *“Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”*. En dicho documento se desarrollan 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) cuyo fin es, a grandes rasgos, detener el cambio climático. El objetivo 11 de esta agenda lleva por nombre *“Ciudades y Comunidades Sostenibles”* en el cual se plantea la necesidad de tener ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ONU, 2015). Para fines de este trabajo, se centró en la meta 11.7 del ODS que dice *“De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.”*

Por esto es importante la conservación y mejoramiento de áreas verdes públicas urbanas, para el cumplimiento de la meta del objetivo de desarrollo sustentable que propone la ONU.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mejor conocida como FAO, describe los servicios ecosistémicos como *“...la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad...”*. De este modo, los servicios ecosistémicos inciden directamente sobre la salud y el bienestar de las poblaciones cercanas a las áreas verdes públicas que cuentan con servicios ecosistémicos de calidad. En la tabla 2 se puede observar que este conjunto de servicios ecosistémicos y culturales impactan directamente a la población aledaña a las AVPU (Vásquez, 2016).

Entre los diversos servicios ecosistémicos y culturales que brinda un AVPU, podemos encontrar los siguientes:

*Tabla 1 Servicios ecosistémicos y culturales que brindan las Áreas Verdes Públicas*

<b><i>Ecosistémicos</i></b>	<b><i>Culturales</i></b>
Regulación de la temperatura	Recreación
Purificación del aire	Paisajismo
Reducción de ruido	Integración social
Refugio de especies nativas	Bienestar mental y físico de personas
Espacios para recreación y bienestar social	Inclusión social
Contacto con la naturaleza	Estructura de la ciudad

### **3.2 Disponibilidad, densidad y accesibilidad a las AVPU**

Existe una relación directa entre la superficie y el área de influencia y aprovechamiento de las áreas verdes. Las áreas verdes muy grandes pueden encontrarse aisladas y en menor número, a diferencia de parques o pequeñas áreas con vegetación que se encuentran dispersas al interior de la ciudad, es por ello que es importante considerar la accesibilidad sobre la base de la red vial a una distancia tal que se pueda acceder en un tiempo no superior a 10 o 15 minutos de caminata (Coles y Bussey, 2000; Handley et al., 2003).

Los índices de áreas verdes corresponden a la cuantificación que permiten una mejor explicación y apreciación de la cantidad disponible y su distribución espacial, sin embargo, estos no entregan información acerca de la accesibilidad de dichas áreas, ni tampoco de su distribución al interior de la ciudad.

El tamaño y distribución de las áreas verdes públicas es muy importante al momento de analizarlas, si existen áreas verdes de gran tamaño, significa que existirá una mayor diversidad y riqueza de especies vegetales, y por lo tanto, una mayor cantidad de fauna nativa y en consecuencia se conserva la biodiversidad local (Díaz y Armesto, 2003). Analizando desde un punto de vista social, un mayor

tamaño de áreas verdes representa que una cantidad mayor de diversos grupos sociales, como son niños, jóvenes y adultos realicen diversas actividades de ocio y recreación y con eso, una integración social más extensa (Sorensen et al., 1998). En términos de disponibilidad, la organización mundial de la salud (OMS) propone que por cada habitante debería existir como mínimo  $9\text{m}^2$  de área verde. Sin embargo, este indicador no contiene información acerca de la accesibilidad ni de su distribución dentro del área de estudio.

La accesibilidad a un área verde pública se entiende, como la distancia promedio que un ciudadano tiene que recorrer desde su lugar de residencia hasta la zona verde más cercana. La Agencia Europea Ambiental recomienda que las personas deben tener acceso a un área verde a una distancia de no más de 15 minutos caminando (EEA, 1995), es importante que esta distancia sea lo más corta posible.

#### 4. ANTECEDENTES

En el contexto nacional, se ha demostrado que las AVPU son de gran importancia en la consolidación de ciudades, en el año 1986, en la ciudad de México, lo que antes de conocía como el Distrito Federal, se reportó  $0.3\text{m}^2$  de área verde por habitante y en este estudio se consideraron parques, jardines, camellones y glorietas (Guevara Sada y Moreno Casasola, 1986).

En 2009 se realizó otro estudio en la Ciudad de México por parte de la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial en el que se determinó la superficie que ocupan, en las que comprenden; los parques, áreas verdes situadas en los camellones y aceras, el arbolado concentrado en parques y jardines de uso de público, según este trabajo la superficie registrada de áreas verdes existentes tenía una superficie de  $12.94\text{ m}^2/\text{habitante}$ . (PAOT, 2010).

En 2012, Lara López realizó estudios de análisis de las AVPU en la ciudad de Morelia, en el estado de Michoacán, concluyó que solamente el 6.4% de las AVPU en la ciudad de Morelia son áreas verdes de calidad, y que estas áreas verdes de calidad se encuentran mayoritariamente en la parte central de la ciudad y luego disminuyen hacia la periferia.

Por último, Torres et al. en el 2018, identificaron las zonas con mayor y menor acceso a parques y jardines en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, los resultados muestran que la accesibilidad potencial manifiesta un gradiente desde la zona céntrica del municipio de Toluca que disminuye hacia la periferia. A continuación, se presenta una síntesis de los diversos estudios que se han realizado previos con respecto a áreas verdes públicas urbanas y la estimación de áreas verdes en relación con su proporción por habitantes en la República Mexicana (Tabla 2).

*Tabla 2. Estudios previos de Áreas Verdes Públicas.*

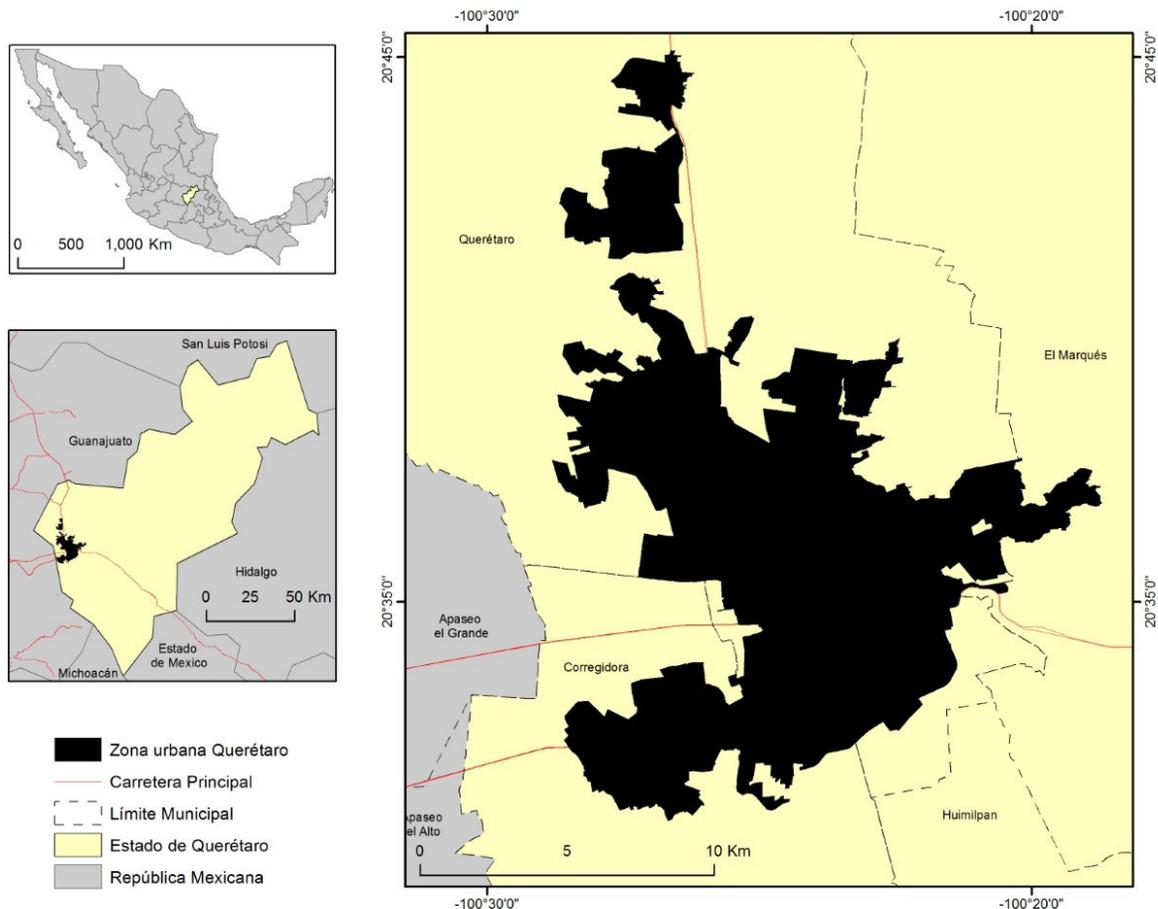
*Fuente: elaboración propia.*

<b>Autores</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Estimación de área verde por habitante (m<sup>2</sup>/habitante)</b>
Guevara Sada y Moreno Casasola (1986)	Ciudad de México	0.3
PAOT (2010)	Ciudad de México	12.94
Lara López (2012)	Morelia, Michoacán	N/A
Torres (2018)	Zona metropolitana del Valle de Toluca	N/A

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo de tesis se llevó a cabo en la zona urbana de la Zona Metropolitana del Estado Querétaro, cuya capital lleva el mismo nombre. Se encuentra localizado cerca de los límites con el estado de Guanajuato, colinda al norte con el estado de San Luis Potosí, al oeste con el estado Guanajuato, al este con el estado de Hidalgo y al sur con los estados de México y Michoacán. Cuyas coordenadas centrales son 20°35'17" N, 100°23'17" W (Figura 1). Su altitud es de 1,824msnm y se encuentra constituido por varias localidades conurbadas, entre las que destacan: 5 del municipio de Corregidora (181,684 habitantes), Huimilpan (38,295 habitantes), 1 del municipio de El Marqués (156 275 habitantes) y 14 de Querétaro (878 931 habitantes). Según el Censo Nacional de Población y Vivienda

de 2015, el total de población de la **zona urbana** del estado de Querétaro corresponde a 1,216,890 habitantes. El total de la **zona metropolitana** del estado de Querétaro corresponde a 1,255,185 habitantes, (INEGI,2016).



*Figura 1 Mapa de ubicación de la zona urbana de Querétaro, en la región del bajo, México.*

Para este estudio, cada una de las áreas urbanas se definieron con los límites de las áreas geoestadísticas básicas urbanas AGEBs (INEGI, 2018) y manzanas que cubrían las áreas urbanizadas donde se encuentran las ciudades seleccionadas. Para el estado de Querétaro, quedan comprendidas en los municipios de Querétaro, Corregidora, El Marqués y Humilpan. Los datos de localidades y número de habitantes descritos en esta sección se obtuvieron a través de un geoproceso de selección por ubicación, utilizando el programa ArcGIS 10.3, con base en los datos del Censo General de Población y Vivienda 2010.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Generación de la cartografía del espacio verde público urbano

La propuesta metodológica se basa en el empleo del software de sistema de información geográfica (SIG), ARCGIS® versión 10.3, que es ampliamente utilizado en la actualidad por su capacidad de gestión de datos, para realizar operaciones de análisis o elaboración de cartografías, así facilitar el intercambio, actualización y monitoreo en torno a la dinámica de un territorio. La cartografía de las áreas verdes urbanas se elaboró mediante la interpretación visual en pantalla del mapa base de imágenes de muy alta resolución espacial de la empresa Digital Globe del del año 2017. El mapa base está constituido por mosaicos formados mediante compuestos de color verdadero derivados de las imágenes originales, de modo que sus bandas no pueden ser usadas para realizar procedimientos de clasificación automatizada. Se delimitaron los polígonos que corresponden a los espacios verdes públicos urbanos, a una escala 1:1000 para la zona urbana dentro de la zona metropolitana de Querétaro. El procedimiento de clasificación interdependiente ha demostrado brindar una alta fiabilidad para discriminar áreas de vegetación en contextos de coberturas heterogéneas (Flamenco-Sandoval et al., 2007; Mas y Flamenco Sandoval, 2011). A continuación, se define la categoría cartografiada de espacio verde público urbano:

- A) Área verde pública urbana (AVPU): todo aquel espacio arbolado que pertenezca o sea mejorado por el municipio. Estas incluyen parques, glorietas, camellones, espacios entre distribuidores viales, reservas municipales como bosques urbanos, y terrenos propiedad del estado.

La etapa de revisión que se llevó a cabo sirvió para minimizar los errores de delimitación, evitar omisiones o inclusiones de áreas que no cumplan con los criterios antes descritos. Principalmente se centró en verificar la geometría de los polígonos, revisión de la topología, recolocar vértices en caso de ser necesario, delimitar áreas que hayan sido omitidas y, en caso de duda sobre el tipo de cubierta, se usaron las imágenes de mayor resolución de *Google Earth*.

Etapas de la elaboración de la cartografía:

1. Delimitación: Corresponde a la digitalización vectorial de los polígonos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.
2. Revisión y clasificación: Una vez concluida la digitalización se realizará la verificación de los polígonos y la clasificación de los mismos llenando la base de datos correspondiente (tabla de atributos).

## 6. 2 Criterios de delimitación

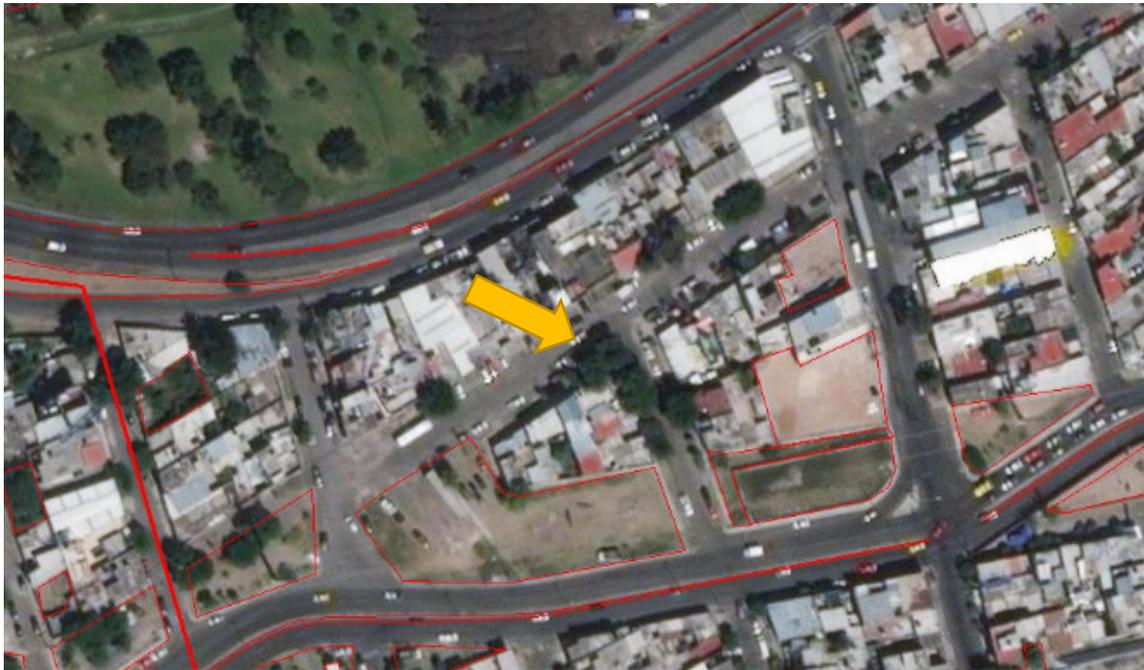
Teniendo como base la capa *Basemap Imagery Esri*, la capa de AGEBS urbanos 2016 (INEGI) sirve como guía para delimitar el área a digitalizar. La delimitación de los polígonos se realizó en la capa de digitalización proporcionada previamente utilizando la capa base a escala: 1:1,000 (puede ser mayor en caso de requerir más detalle, pero nunca será menor a 1:1,000). La información sobre camellones y áreas verdes de INEGI sirvió como referencia y en caso de que la geometría concuerde con la imagen podrán ser añadidos a la capa de digitalización.

Para facilitar el proceso de delimitación (y posteriormente clasificación) en caso de áreas contiguas el criterio de delimitación será el atributo de público o privado. Siendo así que públicas o privadas (sin importar si son verdes o permeables) contiguas se toman como una sola sin importar la división predial (pequeñas bardas o divisiones). Ejemplos de lo anterior son, terrenos sin construcción, patios, jardines, etc. (Figura 2).



*Figura 2. Ejemplo de áreas permeables privadas contiguas y como se construye el polígono en estas (flecha amarilla)*

Se debe tener especial cuidado con las copas de árboles que simulan una cobertura permeable cuando no es así. Ejemplo de lo anterior son grupos y árboles solitarios que se encuentran en calles, y avenidas, a estos no se les dibuja un polígono (Figura 3). En caso de dudar debido a la resolución de la imagen verificar con *Google Earth* o *Google Maps Street View*.



*Figura 3. Ejemplo de un grupo de árboles que no debe ser incluido en los polígonos (flecha amarilla)*

En esta etapa la prioridad es digitalizar las áreas para posteriormente asignar una categoría por lo que la presencia, cantidad y distribución de arbolado no debe de influir en el criterio de delimitación.

### **6.3 Criterios de revisión y clasificación**

La etapa de revisión que se llevó a cabo sirve para minimizar los errores de delimitación, evitar omisiones o inclusiones de más. Principalmente se centra en verificar la geometría de los polígonos, recolocar vértices en caso de ser necesario, delimitar áreas que hayan sido omitidas y corroborar dudas con imágenes de

mayor resolución (*Google Earth*). Fueron programadas algunas reuniones presenciales o vía Skype con los asistentes de investigación de CENTROMET para resolver las dudas que surjan y homologar en la medida de lo posible los criterios de delimitación y revisión.

Con el fin de homologar el trabajo y minimizar errores humanos en la tabla de atributos se compartió en una *geodatabase* la cual dentro de sus propiedades ya tendrá creados los dominios los cuales serán vinculados a las columnas de la tabla

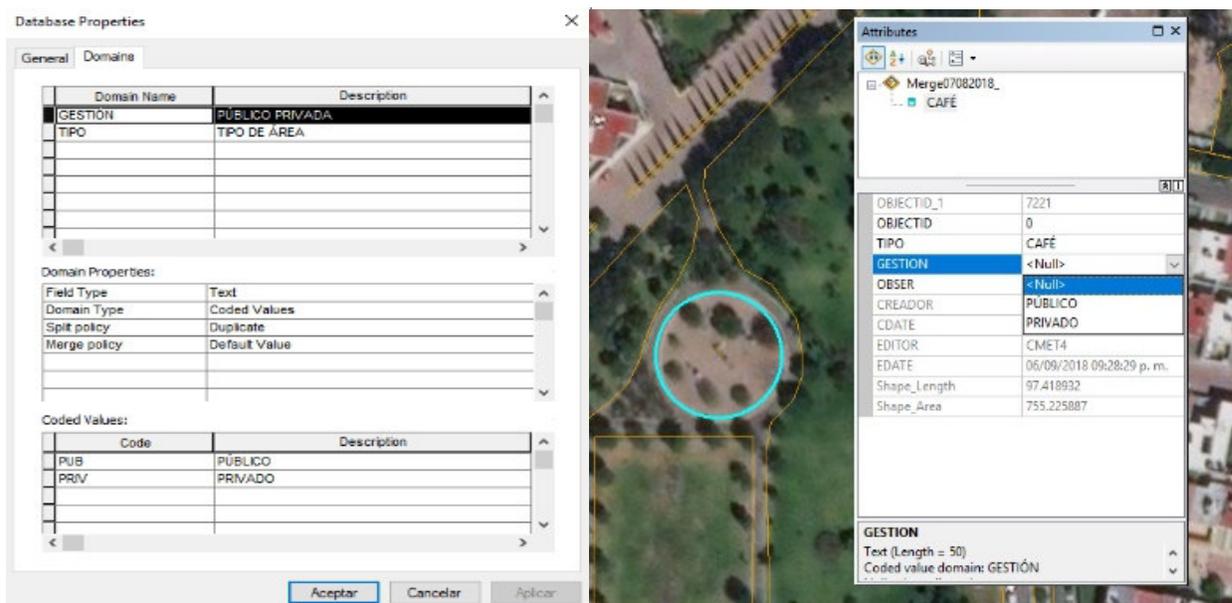


Figura 4. Ejemplo de la geodatabase a utilizar y sus dominios.

#### 6.4 Provisión de área verde pública urbana

La proporción del espacio verde es la métrica más comúnmente utilizada para referirse a su disponibilidad dentro de un vecindario (Hag, 2011). Consiste en calcular la cantidad (número y/o superficie) de espacios verdes dentro de una ciudad o sus secciones para proporcionar un agregado de la prestación del espacio verde a un cierto número de residentes, es decir, usuarios potenciales (Nicholls, 2001). En este sentido, se estimó el indicador de densidad del EVU, el cual ha sido ya empleado en otro estudio de espacios verdes urbanos para la ciudad de Santiago de Chile (Reyes-Peacke and Figueroa, 2010).

a) *Indicador de Cantidad.*

- Densidad de áreas verdes pública urbana: Es necesario calcular la superficie urbana por cada manzana, para cada zona urbana en estudio, en este caso, Querétaro y los polígonos de los espacios verdes públicos obtenidos mediante SIG.

$$Davpu = \frac{Sevpu}{SManz}$$

Donde:

*Davpu*: Densidad de área verde pública urbana.

*Savpu*: Superficie de área verde pública urbana por manzana.

*SManz*: Superficie de la manzana.

*b) Indicador de disponibilidad.*

-Área verde pública urbana por habitante: En este caso es necesario tener la variable de población total, que se toma del Censo del 2010 a nivel de AGEB.

$$AvpuHab = \frac{Savpu}{Hab}$$

Donde:

*AvpuHab*: área verde pública urbana por habitantes.

*Savpu*: Superficie del área verde pública urbana.

*Hab*: Cantidad de habitantes en total.

### **6.5 Accesibilidad a los espacios verdes públicos urbanos: una aproximación desde el análisis de redes**

Existe una relación directa entre la superficie, el área de influencia y el aprovechamiento de las áreas verdes. Las áreas verdes muy grandes pueden encontrarse aisladas y en menor número, a diferencia de parques o pequeñas áreas con vegetación que se encuentran dispersas al interior de la ciudad, es por ello que se debe considerar la accesibilidad sobre la base de la red vial, debido a su aproximación al patrón de desplazamiento de los habitantes, en valoración a una distancia tal que se pueda acceder en un tiempo no superior a 10 o 15 minutos de caminata (Coles y Bussey, 2000; Handley et al., 2003).

Distancia de accesibilidad a las áreas verdes: mediante herramientas de análisis espacial implementadas en los SIG se generó un polígono de influencia de 300 metros de radio en torno al centroide de cada una de las áreas verdes. La accesibilidad a las áreas verdes se obtuvo mediante el módulo *Network Analyst* de ArcGis® 10.5. En *Network Analyst*, se puede medir en términos de tiempo de viaje, distancia o cualquier otra impedancia de la red. En este trabajo se consideró la distancia de recorrido máximo de 300 metros, medidos desde el centroide de cada manzana, a través de la red de vialidades en la ciudad. La distancia fue definida con base en el estándar de accesibilidad de áreas verdes propuesto por English Nature y por la Agencia de Medio Ambiente de la Unión Europea. English Nature establece que ... “las personas no deben vivir a una distancia superior a 300 metros de un área verde natural, de al menos 2 hectáreas de superficie” ... (Handley *et al.*, 2003, p. 15). Por su parte la Agencia de Medio Ambiente de la Unión Europea señala que las personas deben vivir como máximo a 900 metros de un área. Sin embargo, la mayoría de las áreas verdes en las zonas de estudio tienen un tamaño menor al definido por dichas agencias. Por lo tanto, el estándar base aplicado fue el siguiente: mantener la distancia de 300 metros propuesta por English Nature y considerar la reducción del tamaño mínimo del área verde para tener en cuenta a partir de 9 m<sup>2</sup>. Posteriormente, se estableció el porcentaje total de habitantes residentes dentro del radio que asegura el acceso peatonal.

### **6.5 Evaluación de fiabilidad cartográfica**

La metodología usada para la evaluación de la fiabilidad cartográfica es una adaptación de la propuesta por Stehman en 1996 y por Kryloy *et al.* (2019) y siguiendo las recomendaciones de Olofsson *et al.* (2013, 2014) y Stehman & Czaplewski (1988). Los datos fueron colectados independiente utilizando dos fuentes. Primero, usando imágenes de *Google Maps* en el sitio. En total, 640 sitios fueron seleccionados al azar utilizando un enfoque de muestreo aleatorio estratificado. Utilizando la clasificación *Digital Globe*, se seleccionaron al azar 320 polígonos de los 1650 polígonos de espacio verde mapeados (aproximadamente el 20% del total). Se seleccionaron aleatoriamente 320 sitios adicionales dentro del

área de estudio donde no se mapearon espacios verdes, según el mapa del Área Metropolitana de Querétaro. Los sitios seleccionados se interpretaron visualmente utilizando imágenes in situ de *Google Map* y, cuando estaba disponible, observaciones directas en el campo. Registramos si el sitio era o no un espacio público verde o no.

Se generó una matriz de confusión ajustada por área (Card, 1982; Stehman, 1996; Olofsson et al., 2014) para calcular 1) la precisión general expresada por el coeficiente de acuerdo de Kappa; 2) la proporción de píxeles correctamente asignados; y 3) la precisión del usuario y del productor para cada clase. Finalmente, se calcularon los coeficientes de Kappa por clase (Stehman, 1996).

## 7. RESULTADOS

Los indicadores calculados permitieron conocer la cantidad y la distribución espacial de las AVPU al interior de la zona urbana de la zona metropolitana de Querétaro. Se estimó una superficie total de 688.289 ha de área verde pública urbana, en la cual, el área verde pública mínima es de 20.64 m<sup>2</sup> y el área verde pública máxima es de 98,184 m<sup>2</sup>, estas corresponden a una glorieta y a un parque público respectivamente, se analizaron un total de 4269 polígonos que representan la cartografía final de la zona urbana de la zona metropolitana del estado de Querétaro. Presentamos el mapa de los espacios verdes públicos (Figura 5) , dicho mapa tuvo una fiabilidad cartográfica de 82.83%, con precisiones de productor y de usuario de 80.50% y 83.57% respectivamente, de acuerdo con el análisis anteriormente descrito.



### 7.1 Disponibilidad de Área Verde Pública Urbana a nivel de manzana.

Se observa que de un total de **828,079** personas que viven en el área de estudio, solamente alrededor de **40,574** personas habitan en manzanas con el 10% de superficie de áreas verdes públicas y **61,767** habitan en lugares con al menos entre **1%** y **9%** de áreas verdes públicas. Por lo tanto, se observa que la mayor cantidad de habitantes se encuentra dentro de la categoría de muy baja a baja densidad de área verde pública urbana.

*Tabla 3. Disponibilidad de Áreas Verdes Públicas (porcentajes) por manzanas en Querétaro.*

<b>Categorías</b>	<b>Rangos de Porcentaje de superficie de área verde pública (clasificación método cuantiles)</b>		<b>Cantidad De Población</b>	<b>Cantidad De Manzanas</b>
Densidad Nula	0		725 738	9462
Densidad muy baja	0.01	2.53	29 569	207
Densidad Baja	2.54	6.44	20 474	207
Densidad Media	6.45	12.89	21 102	208
Densidad Alta	12.90	27.03	18 484	209
Densidad Muy Alta	27.04	100	12 712	208
Total			828 079	10 501

En relación con el indicador de densidad del AVPU para el interior de la zona metropolitana de Querétaro se encontró que una gran cantidad de la población habita dentro de las categorías de nula a baja y solamente alrededor de **96,137** personas lo cual, representa aproximadamente el **11.06%** de la población total, que cuentan con una disponibilidad alta en superficie del espacio verde público con más de **10 m<sup>2</sup>/hab.**

Presentamos la distribución de la densidad de AVPU para la zona metropolitana de Querétaro a nivel manzana, en donde se puede observar que la mayor parte de las manzanas tienen poco o nulo valor de densidad de AVPU y pocas manzanas con presencia de entre el 40 y 100% de la cobertura verde (Figura 6).

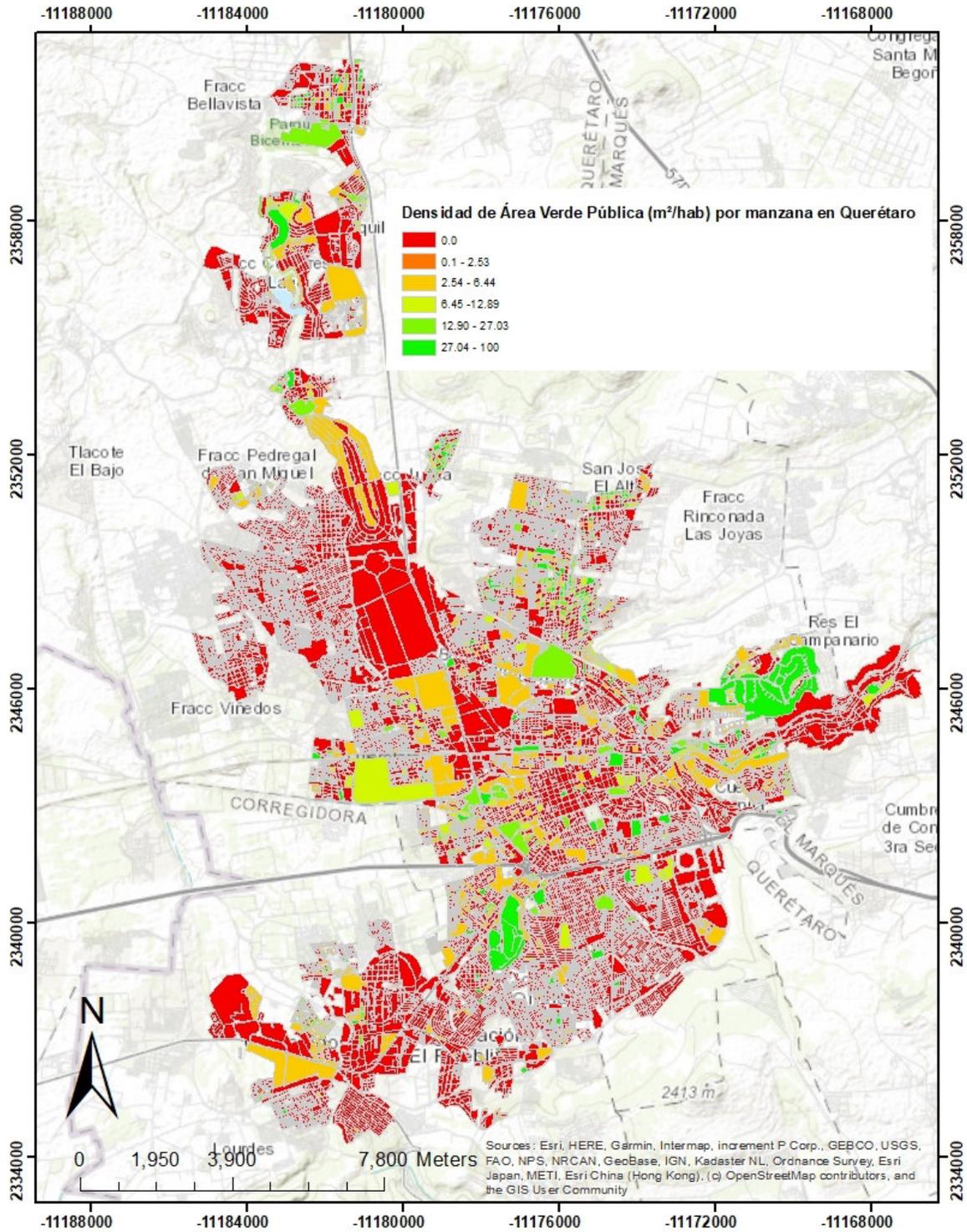


Figura 6. Mapa de la densidad de AVPU por manzanas para la zona urbana de Querétaro

Haciendo un análisis más detallado gracias a las imágenes satelitales obtenidas en *Google Earth*, en la figura 7 se puede apreciar una zona que cae dentro de la categoría de *Densidad Nula* de acuerdo con el análisis de disponibilidad de áreas verdes públicas por manzanas, en la que se observa la poca disponibilidad de las antes mencionadas y al momento de hacer una comparación con la figura 8 en la que se aprecia un área que cae dentro de la categoría *Densidad Media*, se observa que son dos escenarios totalmente diferentes, en las zonas con pocas o nulas áreas verdes se ven descuidadas, por otro lado, en la zona con densidad media se observan muchos espacios verdes pero no todos son áreas verdes públicas, muchas son espacios verdes de domicilios particulares y que no tienen acceso al público.



*Figura 7. Colonia Benito Juárez, Qro., con densidad nula de área verde pública y predominan los lotes baldíos.*



*Figura 8. Colonia Colonias del Bosque, área con media densidad de espacios verdes públicos urbanos y con áreas verdes privadas al interior de los domicilios.*

## **7.2 Disponibilidad de área verde pública urbana por AGEB**

Por otro lado, la disponibilidad de AVPU por AGEB para la zona urbana de Querétaro cuenta con 5,488,549.03 m<sup>2</sup> de área verde, lo que equivale a una densidad de áreas verdes de 0.04 m<sup>2</sup> con respecto de la superficie total y 6.6 m<sup>2</sup> de área verde disponible por habitante.

*Tabla 4. Disponibilidad de Áreas verdes por habitantes (m<sup>2</sup>/Hab) por AGEB de Querétaro.*

<b>Categorías</b>	<b>Superficie de espacio verde público (Clasificación método cuantiles)</b>		<b>Cantidad De Población</b>	<b>Cantidad De AGEBs</b>
Disponibilidad Nula	0		165 578	100
Disponibilidad muy Baja	0.01	2.00	349 187	111
Disponibilidad Baja	2.01	6.00	150 368	60
Disponibilidad Media	6.01	10.00	66 809	26
Disponibilidad Alta	10.01	99.00	87 570	55
Disponibilidad Muy Alta	99.01	4956. 03	8 567	11
Total			828 079	363

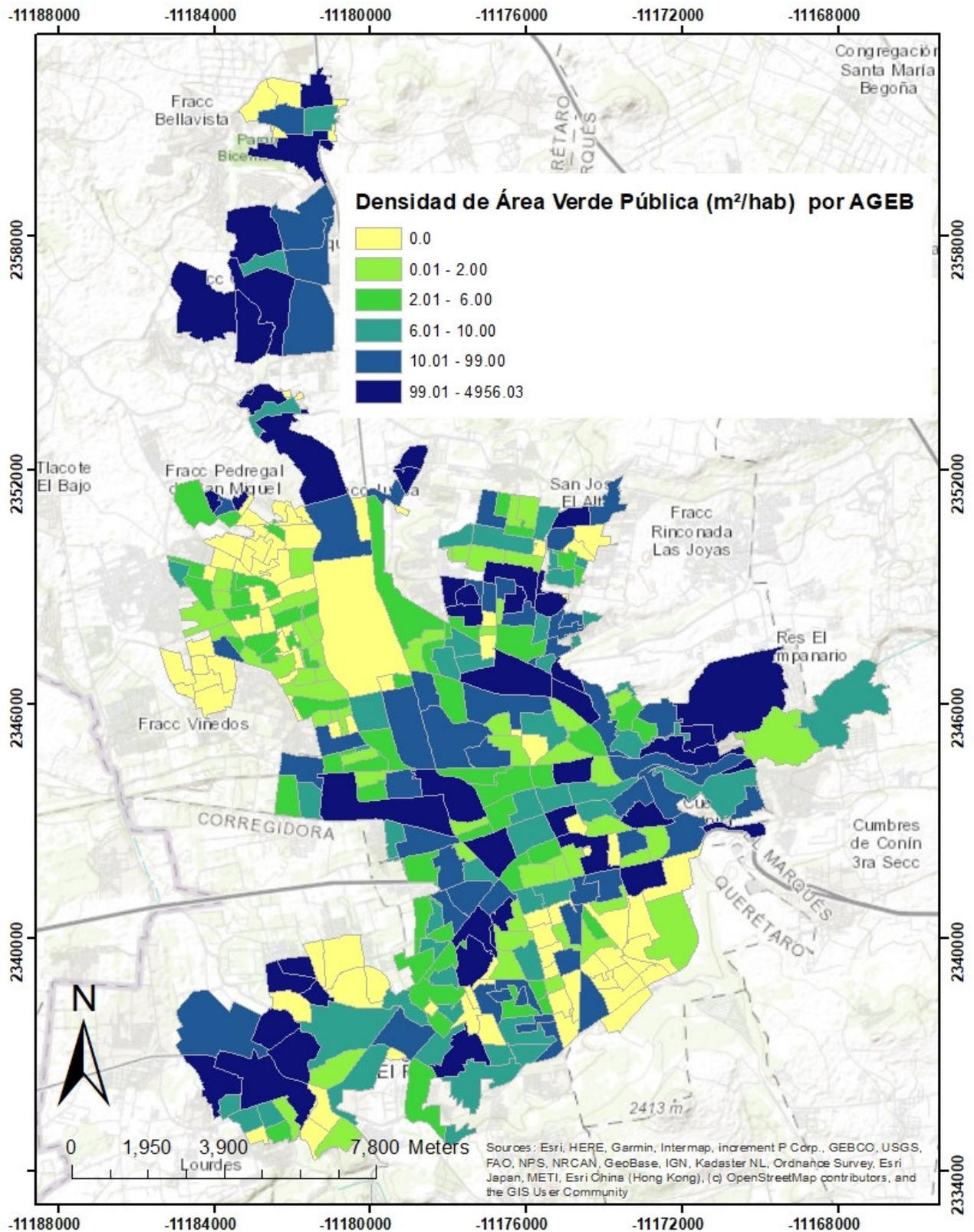


Figura 9. Mapa de distribución de áreas verdes públicas por AGEB

De acuerdo con el análisis de AVPU por AGEB (Figura 9), se puede observar que un gran número de AGEBs se encuentran dentro de la categoría de *Densidad Muy Baja* de área verde, lo que representa un gran problema al momento de querer brindar servicios ecosistémicos que sean de beneficio para la población, en la figura 10 se puede observar una imagen satelital obtenida de *Google Earth* y que cuenta con escasas áreas verdes públicas. En contraste con las AGEBs que cuentan con una cantidad mayor de espacio verde público y que brinda servicios ecosistémicos a la población aledaña, como se muestra en la figura 11.



Figura 20. Centro de Huimalpan, Qro., zona con baja densidad de áreas verdes públicas.



Figura 11. Colonia El Campanario, área con una alta densidad de área verde pública.

### Accesibilidad a las áreas verdes públicas urbanas por manzanas en el interior de la zona metropolitana de la ciudad de Querétaro.

Se observa que existe un total de 400,523 habitantes que se encuentran fuera del rango de distancia de 300 metros de accesibilidad a un área verde.

Tabla 5. Distancia de accesibilidad AVPU (300m) al interior de la zona metropolitana de Querétaro.

<b>Distancias (análisis área de servicio-longitud m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cantidad de Población</b>	<b>Cantidad de Manzanas</b>
0 – 100	56 416	654
101 – 200	214 039	1 244
201 – 300	237 333	998
Total	507 788	2 896
Total (manzanas)	908 311	20 716

El análisis de accesibilidad indica que existe un potencial de aprovechamiento considerable de los beneficios directos e indirectos de las AVPU para los habitantes locales, ya que especialmente en función del desplazamiento de los habitantes hacia estas áreas verdes públicas un total del 56% de los habitantes del área de estudio. Hablando de densidad global de AVPU en Querétaro es de 0.4m<sup>2</sup>.

Haciendo referencia a la disponibilidad de área verde, se usó como indicador un promedio entre 9 y 10 m<sup>2</sup> de área verde pública por manzana, para la zona de estudio la población que vive bajo este promedio de área verde pública es sumamente baja, el 11.6% del total de su población, 96,137 habitantes y todo esto hace referencia a una baja disponibilidad de espacios verdes públicos urbanos, se contrasta con el análisis de accesibilidad, debido a que, a pesar de que más de la mitad de la población en ambas ciudades en un rango accesible de los espacios verdes públicos, estas áreas verdes se encuentran por debajo en términos de superficie del área recomendada a nivel internacional, por lo que no se asegura que son espacios verdes que aporten lo suficiente a los servicios ecosistémicos o ambientales a la población.

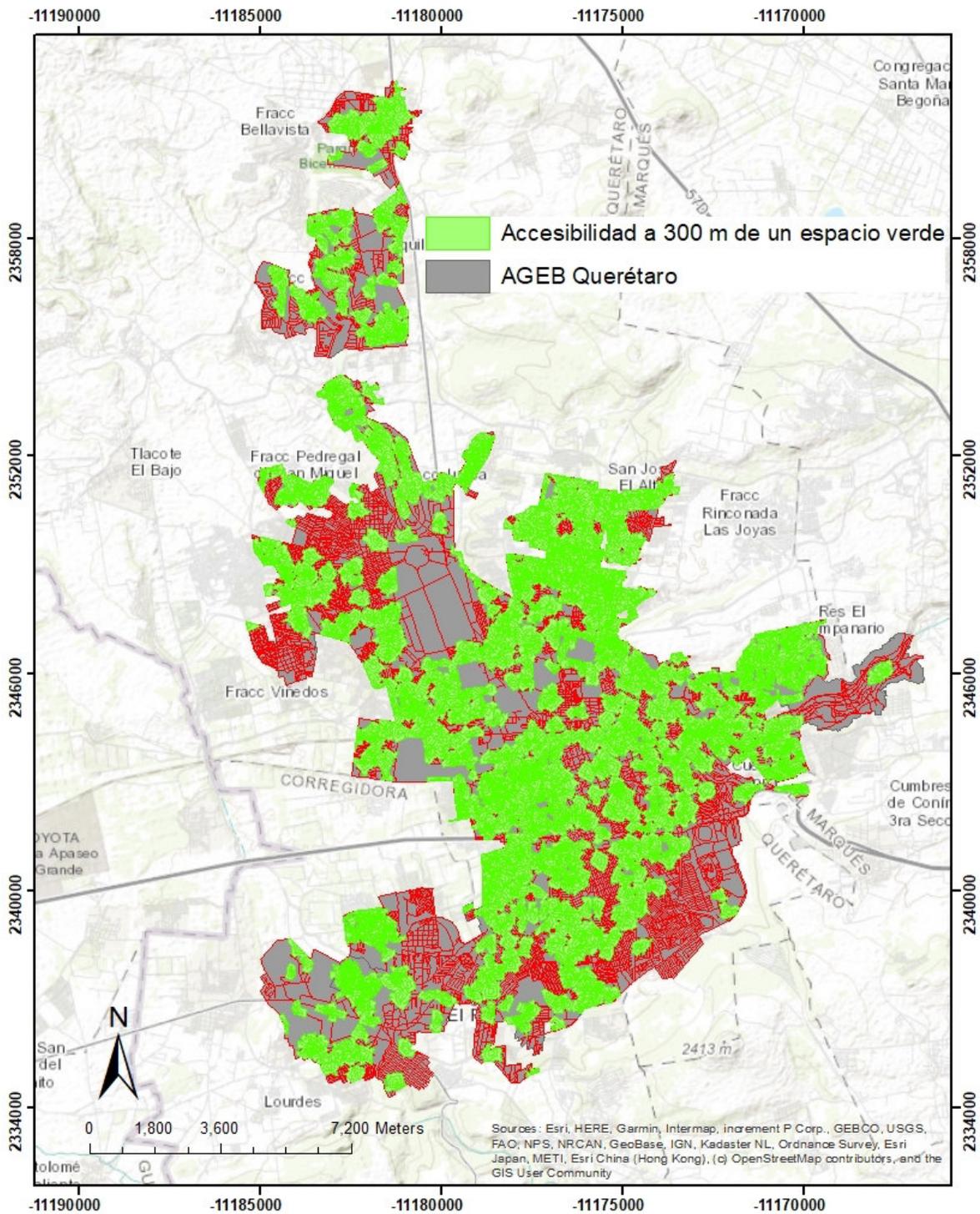


Figura 12. Mapa de accesibilidad a una distancia de 300 metros por manzana dentro de la zona urbana de la zona metropolitana de Querétaro.

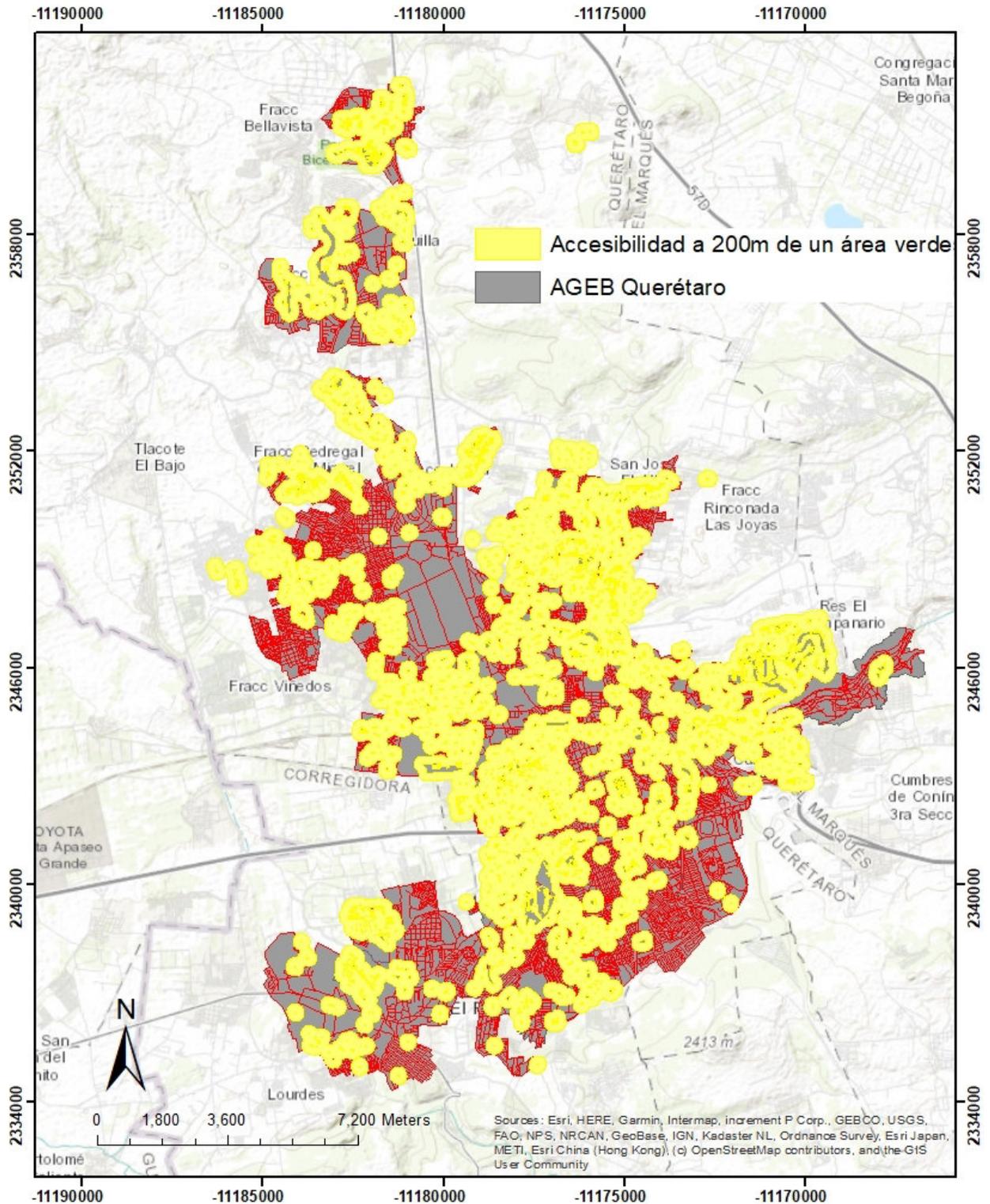


Figura 13. Mapa de accesibilidad a una distancia de 200 metros por manzana dentro de la zona urbana de la zona metropolitana de Querétaro.

## 8. DISCUSIÓN

Desde una perspectiva territorial, esta aproximación de análisis de la configuración de AVPU urbano en términos de su cantidad, disponibilidad y accesibilidad en relación con la población que la habita permite mostrar una falta de planeación en el crecimiento urbano para las ciudades al interior de la zona metropolitana de Querétaro. Esto tiene como consecuencia la carencia de dichos espacios en relación con la población asentada y por tanto una disminución en su calidad de vida y bienestar mental.

Estos resultados se suman a los ya reportados para otras zonas urbanas importantes del país como la Ciudad de México en donde se estimó, en un trabajo pionero en el tema de los espacios verdes urbanos, por Guevara y Moreno (1986) una superficie de 2.3m<sup>2</sup> de área verde por habitante, considerando parques, jardines, camellones y glorietas. En contraparte, en otras ciudades del mundo se han dictado normativas al respecto de la superficie de espacio verde por habitante más allá de los establecidos por la OMS. Por ejemplo, el Plan Regional de Nueva York postuló once metros cuadrados de espacios verdes por persona; el London County Plan calculó dieciséis metros cuadrados y el Plan de Extensión de París, una superficie de 17 metros cuadrados por habitante (Maya y Aguilar, 2010).

## 9. CONCLUSIÓN

Los resultados presentados por este estudio demuestran la baja disponibilidad y accesibilidad a Las AVPU al interior de la zona urbana de la zona metropolitana de Querétaro. Es necesario e importante tomar en cuenta esta metodología y aplicarla en una mayor cantidad de espacios urbanos de México y así conocer la extensión real de esta problemática. Se necesita promover la implementación de estudios sobre AVPU a mayor profundidad y así poder realizar una reorganización de las políticas públicas de ordenamiento territorial urbano y en conjunto poder crear espacios adecuados y aptos para el desarrollo social y territorial urbano. De esta manera se podrá alcanzar un crecimiento sostenible y ordenado del territorio. La cartografía generada en este estudio es un resultado valioso que contribuye en la mejora de la gestión urbana al interior de la zona metropolitana de Querétaro,

para poner en contexto a sus habitantes acerca de la calidad de su ambiente urbano.

## REFERENCIAS

- Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C., & Gren, Å. (2014). Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. *Ambio*, 43(4), 445-453.
- Bastian, O., Haase, D., y Grunewald, K. (2012). Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological Indicators*, 21, 7–16.
- Baycan-Levent, T., Vreeker, R., & Nijkamp, P. (2009). A multi-criteria evaluation of green spaces in European cities. *European Urban and Regional Studies*, 16(2), 193-213.
- Borja, J. & Muxí, Z. (2000). Urbanismo vs espacio público, en: *El espacio público, ciudad y ciudadanía*, Barcelona, Editorial Electa, 21-32.
- Checa-Artasu, M. (2016). Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21. Recuperado de <http://revistes.ub.edu/index.php/b3w/article/view/26339/0>
- Coles, R. W., & Bussey, S. C. (2000). Urban forest landscapes in the UK—progressing the social agenda. *Landscape and urban planning*, 52(2-3), 181-188.
- De la Barrera, F., Reyes-Paecke, S., y Banzhar, E. (2015). Indicators for green spaces in constrasting urban settings. *Ecological Indicators* 2016. p.212-219.

- FAO. (1996). Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.
- Figueroa Aldunce, I. M., & Reyes, S. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. Distribution, extent and accessibility of green spaces in Santiago de Chile. *EURE*, 36(109), 89-110.
- Flamenco-Sandoval, A., Martínez Ramos, M., y Masera, O.R. (2007). Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*, 138, 131-145.
- Guevara, S., & Moreno, P. (1986). áreas verdes de la zona metropolitana de la ciudad de México. *Atlas de la Ciudad de México*, 231-236.
- Gutiérrez, V.J. (Coord.). (2004). *Perspectivas del medio ambiente en México*. GEO México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Handley, J., Pauleit, S., Slinn, P., Barber, A., Baker, M., Jones, C., & Lindley, S. (2003). Accessible natural green space standards in towns and cities: a review and toolkit for their implementation. *English nature research reports*, 526.
- Hurtado, G. J. (2010). La urbanización del mundo. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 111, 41-55.
- Huizar, H. (2012). Evaluación de los parques de Tijuana desde un enfoque de justicia ambiental (Tesis de maestría en administración integral del ambiente no publicada). El Colegio de la Frontera Norte, México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2011). Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI, México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=Microdatos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2018). Marco Geoestadístico, febrero 2018. Archivo vectorial. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463526636>
- Kazmierczak A. y Carter J. (2010). Adaptation to Climate Change Using Green and Blue Infrastructure. A Database of Case Studies. GRaBS EU, 2010. Recuperado de: <http://www.grabs-eu.org/casestudies.php>.
- Lara-López, L., (2012). Calidad, funcionalidad y accesibilidad de las áreas verdes de la ciudad de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mata Balderas, E. (2019). Caracterización y evaluación espacial de las áreas verdes urbanas en el municipio de Apodaca, N.L. proyecto de intervención para obtener el título de Especialista en Gestión e Impacto Ambiental. Universidad Veracruzana. Recuperado de <https://www.uv.mx/pozarica/egia/files/2014/12/2019-Elizabeth-Mata-Balderas.pdf>
- Mas, J.F. y Flamenco Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. GeoTrópico. NS-5(1), 1-24.
- Maya, J. O. M., y Aguilar, M. D. C. M. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales, 14.

- Meza, M.C., y Moncada, J.O. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 14. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/ScriptaNova/article/view/200037>
- Morales-Cerdas, V., Piedra Castro, L., Romero Vargas, M. & Bermúdez Rojas, T. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66, 1421-1435
- Moreno, A. (2018). Urban sprawl, environmental justice and equity in access to green spaces in the metropolitan area of San Luis Potosí, Mexico. En W. Leal, R. Noyola-Cherpitel, P. Medellín-Milán y V. Ruiz (Eds.), *Sustainable development research and practice in Mexico and selected Latin American countries*. Cham, Suiza: Springer Publishing AG. 499-516.
- PROCURADURÍA AMBIENTAL Y DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL D.F. (2010). *Presente y futuro de las Áreas Verdes y del arbolado de la Ciudad de México*. Editorial Ekilibria. Ciudad de México.
- Nicholls, S. (2001). Measuring the accessibility and equity of public parks: A case study using GIS. *Managing leisure*, 6(4), 201-219.
- Peña-Salmón, C., Leyva-Camacho, O., Rojas-Caldelas, R., Alonso-Navarrete, A., & Iñiguez-Ayón, P. (2014). The identification and classification of green areas for urban planning using multispectral images at Baja California, Mexico. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 611-621.
- Reyes-Paecke, S., y Figueroa Aldunce, I. M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), 89-110.

- Ruiz-Luna, A., Bautista Bautista, R., Hernández-Guzmán, R., & Camacho-Valdez, V. (2019). Uneven distribution of urban green spaces in a coastal city in northwest Mexico. *Local Environment*, 24, 458-472.
- Torres L. A. (2018). Accesibilidad a jardines en la zona metropolitana de Toluca. Centro de Planeación Estratégica y Prospectiva Política, S.C. Recuperado de: <https://ceplan.com.mx/accesibilidad-a-jardines-en-la-zona-metropolitana-de-toluca/>
- Vásquez, A., (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. p.63-86.
- World Health Organization. (2012) Health Indicators of sustainable cities in the Context of the Rio+20 UN Conference on Sustainable Development. Recuperado de [https://www.who.int/hia/green\\_economy/indicators\\_cities.pdf](https://www.who.int/hia/green_economy/indicators_cities.pdf)