

# IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES Y SU POTENCIAL COMO SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN PACHUCA DE SOTO, HIDALGO

Contreras-López, Christopher<sup>a,b</sup>, González-Fuentes, Héctor Manuel<sup>a</sup> y López-De Juambelz, Rocío<sup>b</sup>

<sup>a</sup> División de Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, Mixquiahuala, Hidalgo, México, 42700.

<sup>b</sup> Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México 04510. [ccontreras@itsoeh.edu.mx](mailto:ccontreras@itsoeh.edu.mx)

Recibido 05 de noviembre 2018; aceptado 09 de agosto 2019

*Palabras clave:*  
Sistema de áreas verdes,  
Servicios ambientales, Suelos

**RESUMEN.** *En la actualidad es muy difícil concebir el desarrollo de una ciudad sin planificación e implementación de infraestructura verde, definida como toda superficie cubierta de vegetación natural o inducida en bienes del dominio público; sin embargo, esto significa que es necesario ver a las áreas verdes como espacios que entregan múltiples beneficios sociales, ecológicos y económicos denominados servicios eco-sistémicos, y que, por lo tanto, son un eje estratégico para el desarrollo urbano. Bajo esta perspectiva, la infraestructura verde ayudaría, por una parte, a mantener sanos a los ecosistemas cercanos a la urbanización, que ésta misma fue deteriorando y por otra, ofrece múltiples beneficios asociados al bienestar humano, además de sustentabilidad ambiental. En este sentido, se analizó al municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo, en donde primero se detectaron áreas selladas, definidas como aquellas que se encuentran cubiertas por algún tipo de estructura o infraestructura urbana y después, las áreas verdes existentes, todo a partir de la utilización e integración de la información obtenida a través de mapas cartográficos e imágenes de satélite, herramientas que permitieron calcular el porcentaje de superficie sellada y áreas verdes en metros cuadrados por habitante que tiene el suelo urbano para comparar esta última, contra la normativa existente a nivel municipal, estatal, nacional e internacional. La mayoría de resultados obtenidos por Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas, se encuentran por debajo de cualquier norma, lo que lleva a la necesidad de elaborar políticas y propuestas para el incremento y la mejora de la atención de los espacios destinados para áreas verdes que fomenten la rehabilitación urbana, la integración social y la recuperación de ecosistemas. Por último, se identificaron algunos servicios eco-sistémicos que las áreas verdes existentes y las áreas no selladas proporcionan al caso de estudio y que deberían incorporarse a las políticas y gestión de estos espacios.*

*Key words:*  
Green area system,  
Environmental services,  
Soils

**ABSTRACT.** *Nowadays it is difficult to conceive the urban development without planning and consequent implementation of green infrastructure, defining it, as any surface which is covered with natural or induced vegetation in public domain assets, however, this means to consider the green areas as spaces that deliver multiple social, ecological and economic benefits, called eco-systemic services, and that, therefore, are a strategic axis for urban planning. Under this perspective, the green infrastructure could help, on the one hand, to keep the ecosystems that are close to urbanization, healthy and, on the other, it can offer multiple benefits associated with human well-being, in addition, to environmental sustainability. In this context, we analyzed "Pachuca de Soto, Hidalgo", first, the sealed areas were detected, defining them, as those which are covered by some sort of structure or infrastructure, and then, there were identified the existing green areas; this was possible, using and integrating the information provided by cartographic maps and satellite images, this tools allowed to calculate the percentage of sealed surface and the green areas in square meters per person that has the urban land to compare this values against existing regulations at the local, state, national and international levels. Most of the results obtained by Urban Basic Geostatistics Areas (AGEB) are lower than any standard, it leads to the need of developing policies and proposals that stimulate growth and improvement in the attention of the spaces destined for green areas that promote urban rehabilitation, social integration and the recovery of close ecosystems. Finally, some of the eco-systemic services that existing green areas and sealed areas, provide to case study, were identified and must get incorporated into the public policies and management of these spaces.*

## INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas son lugares donde los procesos ecológicos encuentran espacio en contextos urbanos<sup>1</sup>, entendiendo que los procesos

ecológicos son: el ciclo del agua, los ciclos de nutrientes, el flujo de energía y la dinámica de las comunidades. Sin embargo, algunas otras aproximaciones definen a las áreas verdes como

espacios bien delimitados en los que el hombre manipula y modela a la naturaleza para adaptarla a sus propios fines, ya sean éstos, productivos, estéticos recreativos o simbólicos<sup>2</sup>. Desde el punto de vista jurídico, según la Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004, son todas las superficies cubiertas con vegetación natural o inducida, localizada en bienes del dominio público, como parques y jardines, plazas ajardinadas o arboladas, jardinerías, zonas con cualquier cubierta vegetal en la vía pública, alamedas y arboledas, promontorios, cerros, colinas, elevaciones y depresiones orográficas, pastizales naturales y áreas rurales de producción forestal, agroindustrial o que presten servicios ecoturísticos, zonas de recarga de mantos acuíferos y demás zonas análogas<sup>3</sup>; la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) no toma en cuenta a las áreas verdes en su Sistema Normativo de Equipamiento Urbano y únicamente las coloca como un elemento que deben tener los sistemas de equipamiento, en los subsistemas del Tomo V, Recreación y Deporte<sup>4</sup>; en esta normativa solamente se menciona cuántos metros cuadrados les corresponde a los espacios verdes, que en la mayoría de los subsistemas es un componente a considerar de un 5 y hasta un 10% de la superficie total del terreno.

En la actualidad, así como es difícil concebir la planeación y desarrollo de una ciudad sin infraestructura y servicios tales como agua potable o alcantarillado, debe ser también indispensable la planeación, inversión e implementación de áreas verdes que pueden ofrecer tanto beneficios sociales como ecológicos e inclusive económicos. Esto implica un cambio en la forma en que los gobiernos y la población conciben los espacios verdes y su planificación<sup>5</sup>, ya que se deben dejar de ver a las áreas verdes como tierras vacantes sin urbanizar y a la espera de serlo, para verlos como una tipología de uso por sí misma que entrega múltiples beneficios sociales, económicos y ecológicos y por lo tanto, debe ser un eje estratégico en el desarrollo urbano.

Esta visión se apoya en la definición conceptual de la sustentabilidad como una cadena trófica, donde los ecosistemas están a la base y sostienen al capital natural, social y al ambiente construido<sup>6</sup>. Bajo esta perspectiva, los sistemas de áreas verdes ayudarían a mantener ecosistemas viables y los beneficios asociados al bienestar humano y la sustentabilidad

ambiental. En este sentido, se puede definir a los sistemas de áreas verdes como una red interconectada de espacios verdes que conservan las funciones y valores de los ecosistemas naturales y provee beneficios asociados a la población humana<sup>5</sup>. Por lo que es posible intentar reconciliar al crecimiento urbano, bienestar social y protección ambiental, enfatizando los servicios eco-sistémicos provistos por los espacios verdes en y para las ciudades tales como, regulación climática, purificación del aire, reducción de ruido, refugio de especies, aumento de biodiversidad, provisión de espacios para la recreación y contacto con la naturaleza.

Como ya se mencionó, los servicios eco-sistémicos son todos aquellos beneficios, tanto tangibles como intangibles, que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas naturales o modificados<sup>7</sup>. Estos constituyen uno de los factores determinantes en la formación y establecimiento de las sociedades humanas que garantizan el bienestar social. En ausencia de servicios eco-sistémicos, la vida como la conocemos dejaría de existir y por ello, el valor que tienen es incuestionable<sup>8</sup>. Los servicios eco-sistémicos se clasifican en servicios de provisión, de regulación y culturales, además de servicios de soporte necesarios para mantener a los otros tres servicios<sup>7</sup>.

El suelo es un servicio de soporte y en ambientes urbanos el suelo no urbanizado contribuye a la filtración del agua, reduce los niveles de escorrentía y evita las inundaciones. Para que el suelo pueda preservar sus funciones es necesario garantizar su contacto con el agua, la vegetación y el aire del entorno, conservando las propiedades que regulan su calidad, condición que tiende a perderse a medida que avanzan los procesos de urbanización. Los servicios ambientales que provee el suelo son poco valorados en las zonas urbanas, básicamente se concibe al suelo como soporte de construcciones e infraestructura, lo que favorece a prácticas para su aislamiento o sellamiento, dando origen a problemas de encharcamientos, inundaciones, pérdida de biodiversidad, déficit en la recarga de acuíferos, entre otros<sup>9</sup>.

Por otra parte, el suelo con una cubierta vegetal no sufre de erosión y las raíces amarran al suelo, además de que los tallos disminuyen la rapidez de la

corriente de agua superficial, igualmente protege al suelo de las gotas de lluvia, que aumentan la erosión si no hay una cubierta vegetal<sup>10</sup>. La cubierta vegetal de las áreas verdes urbanas es demasiado importante para la estabilización del suelo y que éste proporcione más beneficios a la calidad de vida de los seres humanos.

Los procesos de urbanización de las ciudades y en específico la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo, conllevan una seria degradación ecológica, consistente en la pérdida de vida silvestre, deforestación, erosión, y contaminación del agua y el aire, desequilibrio de los mantos freáticos y eliminación y fragmentación de los ecosistemas existentes. El crecimiento acelerado de la ciudad de Pachuca ha tenido poca previsión, en cuanto a la contribución de los suelos y las áreas verdes, al bienestar de la población, generando espacios sellados que se definen como todos aquellos que se encuentran cubiertos por algún tipo de estructura o infraestructura, como edificaciones de tipo habitacional, comercio, equipamiento, industrial o mixto, además de las vialidades, patios estacionamientos o banquetas.

De este modo, el objetivo del presente trabajo es identificar los servicios eco-sistémicos potenciales de las áreas verdes urbanas de la ciudad de Pachuca; para esto, lo primero que se realizó fue la evaluación de la superficie de suelo sellado y no sellado, se contabilizaron las áreas verdes urbanas por habitante siendo comparadas contra las normas existentes, y se realizó una primera aproximación a los servicios eco-sistémicos potenciales de las áreas verdes y las que no están selladas de Pachuca.

**ÁREA DE ESTUDIO.** El área de estudio comprende el municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo, México, localizado geográficamente entre las coordenadas 19°50'00" y 20°10'00" latitud norte y de los 98°41'00" y 98°57'00" longitud oeste a una altitud de entre 2300 y los 3100 metros sobre el nivel del mar (msnm)<sup>11</sup>, con un área aproximada de 16,186has.

Pachuca se localiza en la zona norte de la Cuenca de México, en la microcuenca del río de las Avenidas, flanqueada en el norte por el Eje Neovolcánico y en el sur se abre la poligonal hacia el valle. El municipio está conformado por 8 zonas, divididas así por la Secretaría de Obras Públicas municipales, y 170

AGEB's urbanas y rurales establecidas por el INEGI con una población de 256,548 habitantes. De acuerdo con la carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, el municipio se conforma por tres grandes zonas, urbana, agrícola y forestal:

- a) Área urbana: esta área ocupa 43.2% de la poligonal municipal con 7,000 has, la mayor ocupación es en las partes bajas, desde los 2340 y hasta los 2540msnm y con una pendiente de entre los 0° y hasta los 15°, con escasa ocupación en la zona norte con pendientes de más de 15°. En cuanto a las características edafológicas, esta área se encuentra en mayor proporción sobre suelo feozem, del griego *phaeo* pardo, literalmente, tierra parda, es uno de los suelos más abundantes en el país, se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes y son utilizados principalmente para la agricultura; en el oriente hay algunos asentamientos sobre vertisol, suelo que se revuelve o volteo, que se caracteriza por su alto contenido de arcilla que se expande con la humedad, formando en la superficie pequeños montículos; además, en el noroeste, existen asentamientos sobre litosol, suelo de piedra, que se caracteriza por su profundidad menor a 10 cm, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido<sup>12</sup>.
- b) Área agrícola: ocupa el 30.0% de la poligonal, equivalente a 4,839has, la mayor parte de esta área se encuentra en la parte suroeste desde los 2340 y hasta los 2600msnm siempre con pendientes menores a los 15°, además en la parte norte también hay áreas agropecuarias entre los 2600 y los 2900msnm, pero con pendientes menores a los 15° y en contadas ocasiones con pendientes entre los 15° y 35°. Por otra parte, la mayor parte de las zonas de agricultura se encuentran en el suelo de feozem, aunque existe agricultura también en suelos de litosol y vertisol, en un menor porcentaje.
- c) Área forestal: con un 26.8% equivalente a 4,347has de suelo ocupado y se divide en dos partes, la zona norte, a partir de los 2600msnm está ocupada por bosque de coníferas, entre los que destacan los bosques de *Abies*, *Quercus* y *Juniperus*, por otra parte, en la cara sur de la sierra de Pachuca y hasta los límites sureños existe matorral xerófilo, entre los que destacan

los matorrales, desértico rosetófilo, crasicale y el pastizal que crecen en las zonas que no se ocupan para la agricultura ni la urbanización, por lo regular en laderas de más de 15° y cimas de las elevaciones naturales. En cuanto a la edafología, esta zona se encuentra sobre todos los suelos, feozem, litosol, vertisol y cambisol.

## METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología de diseño ambiental, en la que se integran los elementos ambientales, urbanos, sociales y perceptuales responsables de caracterizar el paisaje y así obtener unidades de territorio homogéneas con una estructura, dinámica y problemas comunes que permitan analizar los servicios ambientales que pueden cumplir<sup>13</sup>.

El análisis y tratamiento de la información se realizó mediante el programa informático ArcMap versión 10.1<sup>14</sup>. Las capas utilizadas fueron:

1. Curvas de nivel, calles, carreteras y área verde urbana, provenientes de la carta topográfica, Pachuca F14D81, escala 1:50,000, INEGI 2013
2. Límites y zonas municipales de elaboración propia con datos obtenidos de la Dirección de Desarrollo Urbano, perteneciente a la Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano, Vivienda y Movilidad del Ayuntamiento de Pachuca de Soto
3. Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Pachuca F14D81, escala 1:50,000, INEGI 2013
4. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica serie III, Pachuca, escala 1:50,000, INEGI 2015
5. Carta Edafológica, Pachuca F14D81, escala 1:50,000, INEGI 2013
6. Pendientes de elaboración propia a partir de la carta topográfica, Pachuca F14D81 escala 1:50,000, INEGI 2013.
7. Áreas geo-estadísticas básicas urbanas, obtenidos de los datos vectoriales del Marco Geoestadístico 2014, versión 6.2 (DENUE 01/2015).

La metodología utilizada está constituida por tres etapas, la primera consistió en determinar unidades homogéneas a partir de la superposición de la carta topográfica y las características del uso de suelo y vegetación que nos proporcionaron tres áreas,

urbana, agrícola y forestal, que nos sirvieron para delimitar las superficies selladas por la urbanización de las que no están selladas; a esta información se integraron los límites municipales y las 8 zonas en las que el gobierno municipal divide a la región, para obtener áreas definidas de estudio, posteriormente se integraron las áreas verdes obtenidas a partir del conjunto de datos vectoriales de información topográfica del INEGI y de la información recaudada a través de datos propios del gobierno municipal; con esta información se pudo calcular el área de superficie sellada y no sellada de toda la poligonal, tanto en las superficies dentro de la mancha urbana como las que están fuera de ésta. Posteriormente se anexaron las áreas geo-estadísticas básicas urbanas, se pudieron calcular los metros cuadrados de áreas verdes por habitante y compararlos contra las normas internacionales, nacionales y locales. Por último, se determinaron algunos servicios ambientales que pueden tener las áreas verdes urbanas y los suelos no sellados, a partir de la superposición de la información ya mencionada y las cartas de INEGI de pendientes y edafología.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Suelos sellados

En la Tabla 1 se muestra el suelo sellado por zona que es el total de la superficie urbana restando las áreas verdes que están dentro de esta superficie, en el suelo no sellado se cuentan las áreas verdes del área urbana, además del área natural y agrícola. La superficie total sellada es de 6,890.50has que es el 42.6% de todo el municipio. Las zonas con los porcentajes más elevados de suelos sellados (> 80% de superficie sellada) son: la zona 4 (99.8%), la 5 (97.5%) y la 8 (97.3%). Las zonas 2 (62.9%), 3 (56.4%) y 7 (64%) presentan un alto porcentaje de suelos sellados, las zonas 1 y 6 presentan menos del 50% de la superficie sellada, principalmente por las barreras naturales en la zona norte y porque hay una gran cantidad de suelo que es aún agrícola en el sur. Sin embargo, se puede apreciar en el mapa de la Figura 1, que el avance de la mancha urbana se da hacia el sur y se puede corroborar con el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca de Soto, el cual señala en el mapa E-16, Zonificación Primaria, que el crecimiento a corto, mediano y largo plazo del municipio se llevará a cabo, principalmente sobre las áreas agrícolas de la zona 6<sup>11</sup>, por lo que el área urbana y en consecuencia el suelo sellado aumentarán, mermando las actividades agrícolas,

que actualmente, son muy pocas, además de que con el suelo sellado decrecerán los servicios ecosistémicos de la zona.

Como se observa en la Figura 1, se clasificaron como suelos sellados, aquellos que se encuentran cubiertos por algún tipo de edificación de tipo habitacional, comercio, equipamiento, industrial o mixto, además de las vialidades, banquetas, patios y estacionamientos, por otra parte, se consideran suelos no sellados a las áreas naturales, áreas agrícolas y áreas verdes dentro del área urbana.

### Índice de áreas verdes por habitante

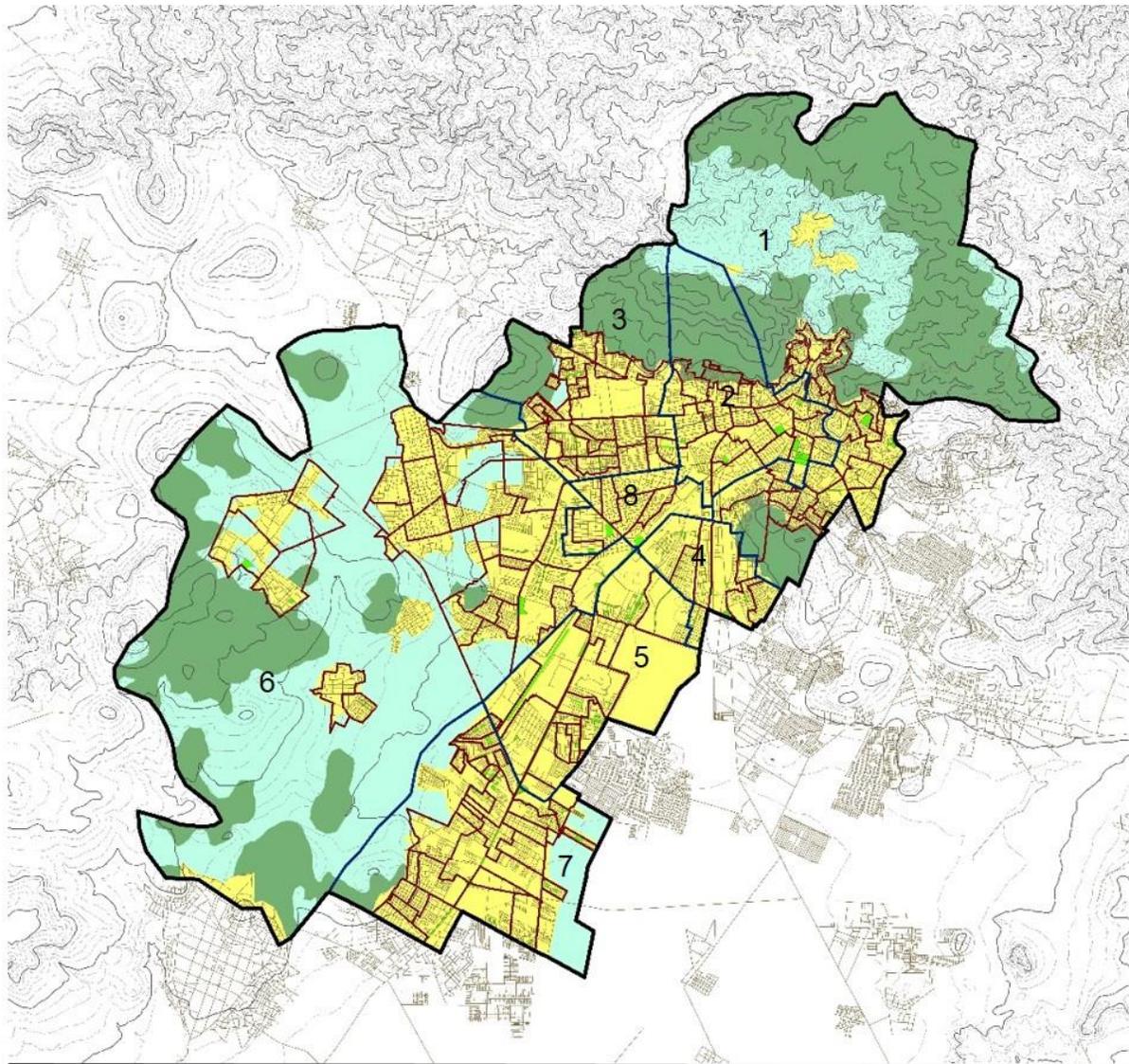
Se anexaron al mapa de la Figura 1, las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas, la información se detalla en la Tabla 2, donde se muestran los porcentajes de áreas verdes por habitante que mantiene cada zona en la mancha urbana. En cuanto a los índices de áreas verdes por habitante marcados en la ley, el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca dice que el índice requerido es de  $9\text{m}^2$  av/hab<sup>11</sup>, el Programa de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Pachuca expresa que deben ser  $10\text{m}^2$  av/hab<sup>15</sup>, SEDESOL en su Documento Diagnóstico de Rescate de Espacios Públicos comenta que deben ser  $9\text{m}^2$  av/hab y en ese mismo

documento se expresa que la Organización Mundial de la Salud recomienda una superficie no menor a  $9\text{m}^2$  av/hab, a su vez que la Organización de las Naciones Unidas establece como parámetro óptimo  $16\text{m}^2$  av/hab<sup>16</sup>.

Con los datos anteriores se puede constatar que siete de las ocho zonas de estudio no cumplen con el mínimo de áreas verdes requeridas por cualquier reglamento, incluso la zona 1 (2.24), la 2 (4.15), la 3 (2.20), la 4 (0.65) y la 8 (3.42) están por debajo de la mitad del porcentaje que establecen las normas más bajas; en cuanto a la zona 6 (7.25) y 7 (5.85), aunque están mayormente dotadas de áreas verdes que las otras cinco zonas, aún están por debajo del límite permisible. La única zona que está por encima de la mayoría de las normativas es la 5 (10.88) aunque aún le falta para estar en el límite permisible que recomienda la ONU con un parámetro de  $16\text{m}^2$  av/hab; por otro lado, el mapa D9 de Usos de Suelo Urbano<sup>11</sup>, denota que en la zona cinco existen fraccionamientos habitacionales privados, por lo que si se tomara en cuenta este factor, mermaría el número de áreas verdes, ya que muchas de éstas son privadas y no pueden conformar un sistema que conllevaría a la entrega de más servicios ecosistémicos.

**Tabla 1.** Suelo sellado

Zona	Extensión		Área urbana sin espacios verdes		Área sellada		Área natural, agrícola y espacios verdes		Área no sellada	
	has	%	has	%	has	%	has	%	has	%
1	3,920	24.2	610.4	15.6	3,309.6	84.4				
2	976	6.1	614.5	62.9	365.5	37.1				
3	1,148	7.1	648.0	56.4	500.0	43.6				
4	395	2.5	394.2	99.8	0.8	0.2				
5	1,091	6.7	1,063.2	97.5	27.8	2.5				
6	6,750	41.7	2,231.6	33.0	4,518.4	67.0				
7	1,581	9.7	1,012.4	64.0	568.6	36.0				
8	325	2.0	316.2	97.3	8.8	2.7				
Total	16,186	100	6,890.5	42.6	9,295.5	57.4				



simbología / especificaciones

 Poligonal, límite municipal	 Superficies sin sellar	 Superficies selladas
 Curva de nivel	 Áreas verdes urbanas	 Área urbana
 Curva maestra	 Área agrícola	
 Traza urbana	 Área forestal	
 Zona municipal		
 AGEB urbana		

Figura 1: Mapa de superficies sin sellar y selladas con límites municipales, zonas de estudio y AGEB's

**Tabla 2.** Áreas verdes por habitante

Zonas (has)	AGEB (#)	Población (#)	Áreas verdes (m <sup>2</sup> )	Área verde /habitante (m <sup>2</sup> /hab)
1	31	56,144	125,830	2.24
2	20	42,157	175,200	4.15
3	28	45,317	100,000	2.20
4	8	12,350	8,122	0.65
5	17	25,522	277,690	<b>10.88</b>
6	29	22,618	164,020	7.25
7	30	26,637	155,950	5.85
8	7	25,839	88,500	3.42
Total	170	256,548	1,095,312	4.26

### Servicios ambientales

Las áreas verdes de la ciudad de Pachuca ofrecen una diversidad de servicios eco-sistémicos, en primer lugar, el suelo como servicio de soporte permite la infiltración del agua a los mantos acuíferos, además de la regulación, retención y amortiguamiento de contaminantes depositados a partir de la atmósfera, en este caso, la regulación de la erosión del suelo con una cubierta vegetal evitan las tolvaneras que, en Pachuca, contienen polvo tóxico debido a la presencia de las presas de residuos mineros, que se encuentran en la parte oriente de la poligonal; estos residuos son desechos que ha dejado la industria minera en la región por más de cuatro siglos y que contienen elementos tóxicos que pueden generar enfermedades en todos los seres vivos cercanos a éstos lugares que además, aumentan la contaminación del aire que se esparce en la ciudad sobre todo en los meses de marzo y septiembre<sup>17</sup>, además la presencia de la vegetación en la tierra, reduce el aporte de desechos por la erosión del suelo que impide el buen funcionamiento del sistema de alcantarillado, incrementando el riesgo de inundaciones en las partes bajas de la ciudad. La presencia de suelos profundos permite un buen enraizamiento de las plantas y con esto la conservación de su calidad, asiste en la mitigación y prevención de plagas en plantas y contribuye a preservar la biodiversidad de la región.

En las áreas en que aún persiste la agricultura, un suelo sano contribuye con servicios de provisión como, la productividad y agro-diversidad de las tierras, así como a la captura de dióxido de carbono que redundará en beneficios para la población. Por último, con las áreas verdes obtenemos servicios culturales como la recreación, el turismo y la belleza escénica de los espacios diseñados que contribuyen al bienestar de la población.

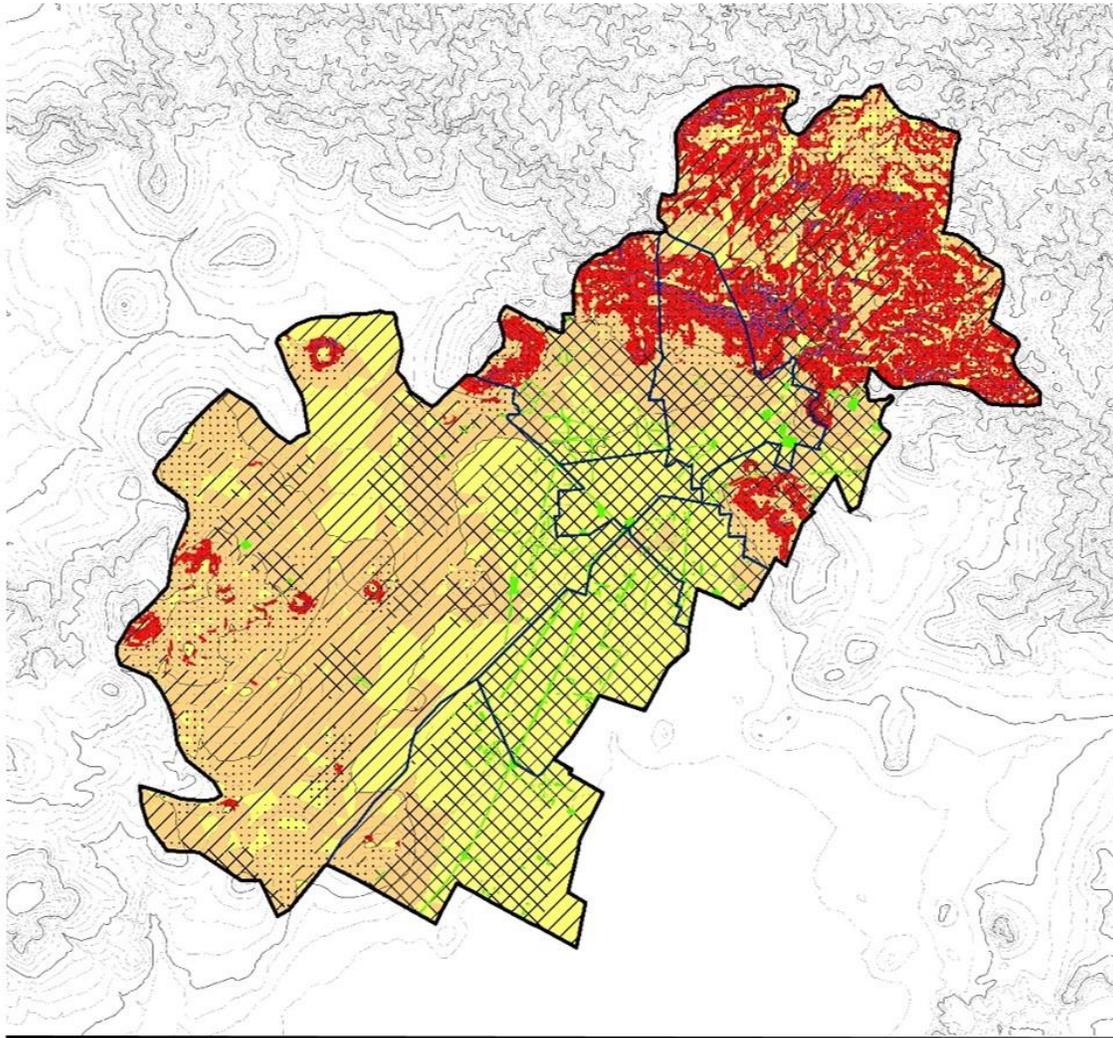
Se puede observar en la Figura 2 que contiene al mapa de las superficies selladas, no selladas y pendientes, como ya se describió, que la zona urbana se encuentra mayormente en los rangos de 0-3% y de 3-15%, por lo que por consecuencia, todas las áreas verdes urbanas se encuentran en estos rangos, en la parte más baja de la poligonal, en la conformación del valle, por lo que se pueden aprovechar los escurrimientos naturales para el crecimiento de la vegetación en las áreas verdes y la posibilidad de evitar inundaciones.

Por otra parte, se advierte que, de acuerdo a las pendientes, el área agrícola es más propensa para continuar con la urbanización, por lo que es evidente que se perderán en los próximos años, más áreas sin sellar, y por lo tanto habrá menos servicios eco-sistémicos por la pérdida del suelo sin sellar. En cuanto al área forestal, los ecosistemas están medianamente resguardados por las pendientes, que sobrepasan el 15% y no son aptas para la agricultura ni la urbanización, esto es una buena noticia, ya que los ecosistemas y los relictos de éstos, mediante un sistema de áreas verdes que atraviese a la urbanización, pueden aportar más servicios eco-sistémicos y establecer peldaños para la unión de los ecosistemas existentes.

De acuerdo a la Figura 3, se percibe que las áreas verdes urbanas están sobre el suelo feozem, que es un suelo fértil, ideal para forestación y agricultura, por lo que es seguro que la vegetación dentro de las áreas verdes existentes no tendrá problemas en obtener los nutrientes que requieren para su correcto desarrollo, de manera que la cubierta vegetal evitará la erosión del suelo y hará que el sistema de alcantarillado sea más eficiente.

En cuanto a las áreas urbanas que se expanden hacia las áreas agrícolas y por consiguiente hacia el suelo más fértil, se evidencia que el daño que causa el crecimiento de la ciudad hacia estas zonas es aún

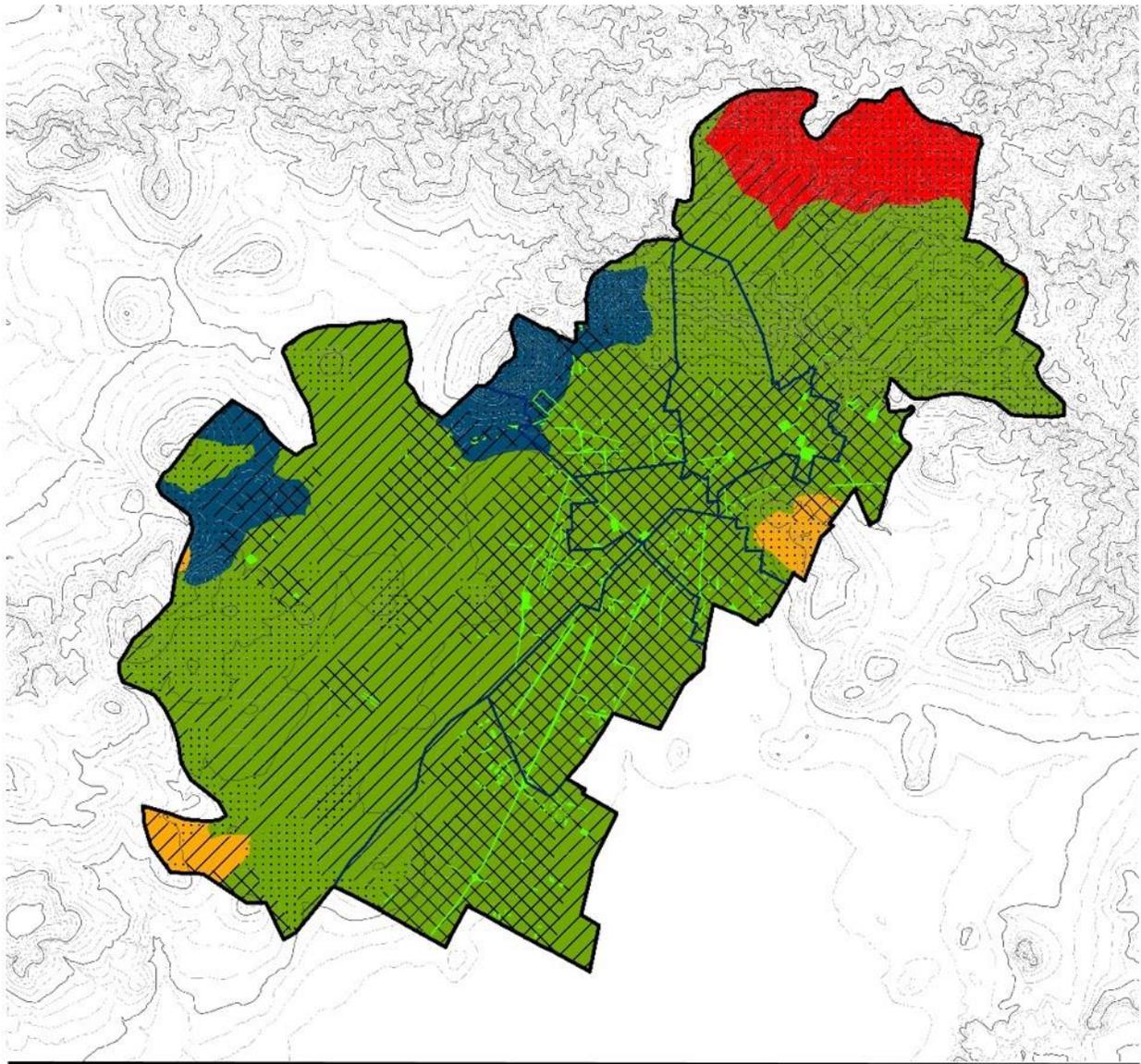
mayor, puesto que la urbanización está acabando con el suelo más fértil, ideal para la agricultura y la forestación y con esto perdemos el soporte y la provisión, servicios que nos da este tipo de suelo.



simbología / especificaciones

 Poligonal, límite municipal	 Área urbana	<b>Pendientes</b>  0 – 3%  2 – 15%  15 – 35%  35 – 45%  > 45%
 Zonas de estudio	 Área agrícola	
 Curva de nivel	 Área forestal	
 Curva maestra	 Áreas verdes	

**Figura 2:** Mapa de áreas selladas, sin sellar y pendientes



simbología / especificaciones

 Poligonal, límite municipal	 Área urbana	<b>Edafología</b>
 Zonas de estudio	 Área agrícola	 Feozem
 Curva de nivel	 Área forestal	 Litosol
 Curva maestra	 Áreas verdes	 Vertisol
		 Cambisol

Figura 3: Mapa de áreas selladas, sin sellar y edafología

## CONCLUSIONES

El crecimiento acelerado de la mancha urbana de Pachuca en los últimos años ha hecho que se incremente el número de espacios sellados, por otra parte, este crecimiento ha sido desproporcional, ya que las áreas verdes no han sido consideradas como un sistema, fuente de servicios ambientales que permitirían mejorar la vida de sus habitantes. Las áreas verdes deberían de dejar de considerarse únicamente como espacios recreativos, ya que además de esta función, entregan múltiples beneficios sociales, ecológicos y económicos. Lo anterior sería posible conformando sistemas de áreas verdes que revaloricen los ecosistemas existentes y dejar de ver las áreas verdes como elementos aislados que cumplen solamente con una función específica.

Casi la mitad del territorio municipal se encuentra urbanizado y sellado, incluso existen tres zonas que tienen casi el 100% de su territorio en estas condiciones, por lo que se han perdido muchas de las funciones que un suelo no sellado ofrece, además, casi la tercera parte del territorio no está sellada y se ocupa aún para la agricultura, sin embargo, el plan municipal de desarrollo expresa que la mayoría de ese territorio, que contribuye con servicios de provisión, formará parte de la mancha urbana a corto, mediano y largo plazo, por lo que es imprescindible tomar medidas para que la especulación inmobiliaria no selle esta área sin tomar en cuenta un sistema de áreas verdes, además de salvaguardar a la poca agricultura que queda, y que también otorga múltiples servicios. Por otro lado, resulta imperante considerar el mantener y valorar las zonas naturales existentes y que abarcan aún, una cuarta parte del territorio, que además funcionan como el elemento principal para la sustentabilidad de un sistema de áreas verdes urbanas.

El proceso de la urbanización ha alcanzado tales límites, que la mayoría de las zonas no cumplen con los valores mínimos recomendados por ninguna instancia local, estatal, nacional o internacional, solamente la zona cinco cumple con la mayoría de las normativas establecidas, sin embargo, en esta zona existen numerosos fraccionamientos privados, donde las áreas verdes quedarían atrapadas y lejos de cumplir sus funciones como un sistema. Por lo que resulta primordial el incremento de las áreas verdes y la salvaguarda de las zonas naturales por lo que se

deberían tomar acciones jurídicas para el incremento y preservación de estos espacios.

Resulta importante conservar las zonas naturales, agrícolas y las áreas verdes urbanas existentes y evitar el crecimiento urbano descontrolado que no toma en cuenta un sistema de espacios abiertos que permitirían la unión con los ecosistemas existentes y de esta manera ofrecerían múltiples servicios ecosistémicos, que traerían, como consecuencia, el bienestar de la población del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, perteneciente al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM, México, además del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, perteneciente al Programa de Doctorado en Arquitectura de la Universidad de Sevilla, España. Por otra parte, se hace un especial reconocimiento a: Dra. Silke Cram Heidrich del Instituto de Geografía de la UNAM, Dra. Nathalie Roberte Chantal Cabriol de la Facultad de Ciencias de la UNAM, Dr. Juan Hernández Ávila del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAEH y Dra. Ma. del Pilar Mercader Moyano de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, quienes aportaron grandes ideas a esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Vásquez, A. E. (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*, 63(1), 63-86.
2. Santiago Ramos, J. (2008). *La naturaleza en la ciudad: perspectivas teóricas y metodológicas para el estudio de la funcionalidad ambiental del espacio libre*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes.
3. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (2010) *Presente y Futuro de las Áreas Verdes y del Arbolado de la Ciudad de México*. México: ekilibra.
4. SEDESOL. (1999). *Sistema Normativo de Equipamiento Urbano*. México: Secretaría de Desarrollo Social.
5. Benedict, M., & McMahon, E. (2006). *Green Infrastructure; Linking Landscapes and Communities*. Washington: Island Press.
6. Williamson, K. (2003). *Growing with green infrastructure*. Doylestown: Heritage Conservancy.
7. Alcamo, J., Ash, N., Butler, C., Callicot, B., Capistrano, D., Carpenter, S., . . . Chambers, R. (2003). *Ecosystem and human well-being: a framework for assessment* (1 ed.). Washington: ISLAND PRESS.

8. Nava López, M., Jujnovsky, J., Salinas Galicia, R., Álvares Sánchez, J., & Almeida Leñero, L. (2009). Servicios ecosistémicos. En A. Lot, & Z. Cano Santana (Edits.), *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel* (págs. 51-60). México: Coordinación de Investigación Científica UNAM.
9. Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*(66), 81-104.
10. Stallings, J. (1982). *El suelo, su uso y mejoramiento*. México: Compañía Editorial Continental.
11. Ayuntamiento de Pachuca de Soto. (2012). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca de Soto Estado de Hidalgo*. Pachuca: Periódico Oficial del Estado de Hidalgo.
12. INEGI. (2004). *Guía para la Interpretación Cartográfica Edafología*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
13. López de Juambelz, R. (2012). Análisis Ambiental. Herramienta de diseño para la intervención del paisaje a escala regional. En M. Mazari Hiriart, & G. Wiener Castillo, *Arquitectura del Paisaje: obras, proyectos y reflexiones* (págs. 301-317). México: UNAM.
14. ESRI. (2012). *ArcMap Ver 10.1 GIS*. California USA: Environmental System Research Institute, Inc.
15. Gobierno del Estado de Hidalgo. (2015). *Programa de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Pachuca*. Pachuca: Periódico Oficial del Estado de Hidalgo.
16. SEDESOL. (2010). *Documento Diagnóstico de Rescate de Espacios Públicos*. México: Gobierno de la República
17. Contreras López, C. (2017). Vegetation as a Design Element to Recover Green Areas in Settlements Developed on Contaminated Soils. En P. Mercader-Moyano, *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering* (págs. 325-338). Seville: Springer. doi:10.1007/978-3-319-51442-