

Estimación del Costo Social y Ambiental de la Pérdida Forestal en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México¹

M. en C. Erik Omar Mata Guel

Resumen

En términos de gestión ambiental, la Ciudad de México está dividida en dos grandes zonas: el Suelo Urbano y el Suelo de Conservación. Los espacios naturales presentes en el segundo generan una amplia variedad de servicios ecosistémicos de importancia estratégica para los habitantes de la capital mexicana. Sin embargo, la reducción de la cobertura vegetal pone en riesgo la viabilidad a mediano y largo plazos de dichos ambientes. Para hacer frente a esta amenaza, una categoría legal de protección no basta, sino que se requiere la formulación e implementación de una normatividad más estricta, para lo cual es de gran ayuda contar con mediciones socioeconómicas del valor de los servicios ambientales a proteger y de los costos potenciales de su pérdida. En el presente trabajo se ofrece una propuesta de valoración del servicio de almacenamiento y captura de carbono, así como de infiltración de agua en el Suelo de Conservación, concluyendo que el valor de cada hectárea no urbanizada es de entre \$21,975 y \$103,500 MXN/año, sólo por concepto de esos dos servicios. Asimismo, tomando como referencia la última tasa de deforestación reportada entre 2006 y 2014 de 210 ha/año, y un costo social del carbono aproximado de 26 USD/tCO₂e, obtenido de la literatura, se obtiene que las pérdidas económicas por almacenamiento y captura de carbono oscilan entre \$2.1 y \$15.9 millones MXN anuales. Si bien estas cifras son aproximaciones, se espera que sirvan a la vez como argumento de peso a favor de la preservación de los ambientes naturales y como referente metodológico para efectuar valoraciones económicas de los servicios ecosistémicos del Suelo de Conservación.

Código JEL (*Journal of Economical Literature*): Q560 Environment and Development; Environment and Trade; Sustainability; Environmental Accounts and Accounting; Environmental Equity; Population Growth

¹ El presente trabajo es una síntesis del ensayo Mata-Guel, E.O. (2018). *El Costo Social y Ambiental de la Expansión Urbana sobre el Suelo de Conservación de la Ciudad de México en la Forma de Asentamientos Humanos Irregulares* (Tesina de Especialidad), Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. En dicho trabajo se presenta una revisión exhaustiva del desarrollo histórico de la Ciudad de México, su relación con los asentamientos humanos irregulares y la problemática regulatoria que suponen, así como un análisis más extenso de los mecanismos de protección ambiental existentes, sus características y deficiencias.

Abstract

In terms of environmental management, Mexico City is divided into two large zones: Urban Land and Conservation Land. The natural spaces present in the latter generate a vast array of ecosystem services that are strategically important to the Mexican capital's inhabitants. Nonetheless, the decline of natural plant cover jeopardises the long term viability of said environments. In order to face this threat, a legal protection decree is not enough, but rather the devising and enforcement of stricter norms is necessary, and in doing this, it is very helpful to have economic estimates of the value of each environmental service to be protected, as well as potential costs of their loss. In the present work, a valuation method is proposed that includes both carbon storage and sequestration and water infiltration services within the Conservation Land, concluding that the value of every non-urbanized hectare lies between \$21,975 and \$103,500 MXN/year, considering only those two services. Furthermore, taking into account the last reported deforestation rate between 2006 and 2014 of 210 ha/year, and an approximate social cost of carbon of \$26 USD/tCO_{2e}, taken from the literature, the obtained economic losses of carbon storage and sequestration fluctuate between \$2.1 and \$15.9 million MXN per year. Although these numbers are approximates, they will hopefully serve as strong arguments in favour of natural spaces' preservation, and as a methodological reference to carry out economic valuations of the environmental services within Mexico City's Conservation Land.

1. Introducción

La Ciudad de México (CDMX) es una de las mayores concentraciones urbanas de todo el hemisferio occidental, enmarcándose en un conjunto de tendencias mundiales, entre las que sobresale la concentración progresiva de las poblaciones humanas en centros urbanos de cada vez mayor tamaño y los crecientes desafíos en materia ambiental. Por ello sorprende que pese a su tamaño, más de la mitad del territorio capitalino se encuentre bajo categoría legal de Suelo de Conservación, manteniendo una proporción considerable de su superficie cubierta por ecosistemas naturales con bajo grado de alteración humana directa. No obstante, los asentamientos humanos irregulares (AHI) constituyen una forma de cambio de uso de suelo en esta zona de importancia estratégica y son manifestación sobre todo de la población más desfavorecida que demanda los derechos que las autoridades parecen incapaces o indispuestas a satisfacer, como una vivienda digna y la creación de un patrimonio.

Los desafíos que presenta el deterioro ambiental a escala planetaria han fomentado que se deje de ver al medio ambiente como un almacén de materias primas por extraer o un espacio desaprovechado por colonizar. En cambio, ahora se le reconoce como un proveedor insustituible de un amplio abanico de servicios que suman a su valor económico real y, quizá más importante aún, se ha vuelto evidente que el deterioro ambiental acarrea costos que la sociedad en su conjunto acaba pagando, sea directamente en forma monetaria o indirectamente en pérdida de bienestar. De este modo, queda claro que no se pueden privilegiar las exigencias inmediatas de una porción de la sociedad, si ello conlleva poner en riesgo la viabilidad a largo plazo de la mayoría, y aún menos cuando dicha fracción está incurriendo en un delito.

Entonces, si bien la figura legal de Suelo de Conservación por sí misma supone un importante avance en la gestión ambiental, la aparición y permanencia de AHI dentro de este espacio pone de manifiesto la pobre aplicación de la normatividad por parte de las autoridades locales; situación que a largo plazo se traduce en costos difíciles de cuantificar, pero que alguien (con certeza la ciudadanía) deberá asumir. En este contexto general, en el presente trabajo se presenta una propuesta de estimación de los costos sociales derivados de la degradación de los espacios naturales para propósitos de una futura formulación o replanteamiento de políticas públicas que den solución a esta compleja problemática.

Así pues, en el apartado 2 se presenta una revisión de las características generales del Suelo de Conservación y en sus subsecciones se detallan los tipos de vegetación que lo componen con sus respectivos contenidos de carbono, así como la definición y situación actual de los asentamientos humanos irregulares sobre ese territorio. El apartado 3 presenta las estimaciones de costos asociados a la pérdida de cobertura vegetal con base en los servicios ecosistémicos de captura y almacenamiento de carbono e infiltración de agua. Y finalmente en el apartado 4 se presenta la discusión y conclusiones.

2. El Suelo de Conservación de la Ciudad de México

La Ciudad de México cuenta con una extensión total de 1,485 km² (148.5 mil hectáreas) (GCDMX, 2017) y desde el punto de vista de la gestión ambiental comprende dos grandes zonas: el Suelo Urbano y el Suelo de Conservación (SC). El segundo de ellos abarca una extensión total de 87,297.1 ha (59% de la superficie) y se concentra a lo largo de las serranías que delimitan el Valle de México, mayormente hacia el sur (Sierras Chichinautzin y del Ajusco) y suroeste (Sierra de las Cruces), así como una pequeña zona al norte (Sierra de Guadalupe) y las áreas lacustres de Xochimilco y Tláhuac. El Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del D.F. (en adelante SCDF) (GDF, 2012) lo define como “las zonas que, por sus características ecológicas, proveen servicios ambientales, necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de México, de conformidad con lo establecido en la Ley Ambiental del Distrito Federal”.

Se ha reportado que dentro de la delimitación del SC habitan alrededor de 2.2 millones de personas, 700 mil de las cuales (8% de la población de la CDMX) constituyen asentamientos rurales (SEDEMA, 2012). Asimismo, dada la contigüidad del SC a una de las más grandes urbes del planeta, es notable la diversidad de ecosistemas con diverso grado de conservación que aún mantiene, entre los que se cuentan comunidades rurales con actividades agropecuarias entremezcladas con bosques, pastizales de alta montaña, pedregales y humedales. El origen de dichos ambientes no antrópicos se atribuye a la actividad volcánica de la zona que dio como resultado una amplia variedad de pisos altitudinales, geformas, climas y paisajes (SEDEMA, 2016). De esta diversidad de áreas naturales, los bosques templados son espacios estratégicos, tanto para fines de mitigación y adaptación ante el cambio climático como por su vulnerabilidad directa e indirecta ante las actividades humanas.

Aunque la estimación de la superficie ocupada por cada tipo de vegetación varía según la fuente, en todos los casos se reporta que la cobertura forestal representó en 2010 alrededor del 43% (~37,500 ha) (cuadro 1) del SC (INIFAP y PAOT 2010; GDF 2012; PAOT y CentroGeo, 2014). Cabe aclarar que ese porcentaje incluye toda la superficie con cobertura arbórea, independientemente de su grado de preservación, de modo que en el cuadro 1 corresponde a las categorías de bosque sin perturbar (29%) y bosque perturbado (14%) del Atlas Geográfico del SCDF.

Cuadro 1. Superficie ocupada por tipos de vegetación o usos de suelo reportados al año 2010 en el Atlas Geográfico del SCDF.

Categoría	Superficie (ha)	% del total
Uso forestal	46,137.5	52.85
*Bosque sin perturbar	25,242.7	28.92
*Bosque perturbado	12,209.1	13.99
Matorral	4,174.8	4.78
Pastizal de alta montaña	4,510.9	5.17
Uso no forestal	40,524.5	46.42
Agricultura	17,729.2	20.31
Pastizal inducido	8,840.6	10.13
Humedales	851.1	0.97
Cuerpos de agua	476.8	0.55
Equipamiento	2,010.4	2.30
Asentamientos humanos	10,616.3	12.16
<i>Total</i>	<i>87,297.0</i>	<i>100.00</i>

*Tipos de vegetación considerados cobertura forestal.

Nota: La suma del total puede no coincidir por efecto del redondeo.

Fuente: GDF (2012).

Desde el punto de vista de los servicios ambientales, son de interés inmediato de las autoridades, y sobre todo de los habitantes de la megalópolis, tanto la preservación como el mantenimiento de la salud de sus ecosistemas. De toda la gama de servicios que aportan los ecosistemas periurbanos, destacan en especial dos que se enmarcan en el contexto del cambio climático, tanto como potencial contribución a mitigarlo, como en la adaptación ante sus efectos. Dejando de lado la heterogeneidad de sus tipos de vegetación, estos son: 1) el potencial como sumidero y almacén de carbono, y 2) la capacidad de infiltración y recarga del manto freático de la cuenca.

2.1. El Carbono en el Suelo de Conservación

Como se explica en el libro *Suelo de Conservación* (SEDEMA, 2016), desde el punto de vista de la atención al cambio climático, los bosques son prioritarios por su capacidad de asimilar CO₂ atmosférico, así como por acumular carbono que de otro modo sería liberado de nuevo a la atmósfera. Se señala, además, que la cantidad de carbono acumulado se relaciona con la biomasa del ecosistema, del cual una importante proporción se encuentra ubicada en la porción aérea de la vegetación (fuste, ramas y follaje), especialmente en los bosques templados, como los que existen en torno a la CDMX (Vela-Correa *et al.*, 2010, 2012; SEDEMA, 2016).

Poniendo el servicio ambiental de captura de carbono en cifras, se estima que en la totalidad del SC se encuentran acumuladas alrededor de 8.5 millones de tCO₂e (toneladas de dióxido de carbono equivalente) (GDF, 2014). Las estimaciones de la cantidad atribuible a la vegetación aérea, en cambio, presentan una alta variabilidad que responde a la diversidad de tipos de vegetación. En el año 2010 se reportó que entre 1.8 y 2.5 millones de tCO₂e (21–29%) del total de carbono en el SC correspondían a la vegetación aérea,

en especial en los bosques de pino (*Pinus* spp.) (INIFAP y PAOT, 2010). Por otro lado, también se ha indicado que esa proporción es dinámica y ha ido en incremento, posiblemente como efecto positivo de las políticas de conservación de este territorio, tal que el contenido estimado de carbono aéreo en los bosques perennes pasó de 1.7 a 3.1 millones de tCO₂e (aumento de 20–36%) entre 1985 y 2015 (SEDEMA, 2016).

De lo anterior se puede deducir que el carbono restante corresponde a la vegetación no aérea (sistemas radicales) y la biota subterránea, así como a los compuestos orgánicos del sustrato, denominado carbono orgánico del suelo (COS). Este reservorio mantiene una estrecha relación con la cobertura vegetal que realiza la captura del carbono desde la atmósfera y lo deposita gradualmente en forma de mantillo, y también con el relieve, al cual responden tanto la distribución de las masas vegetales como la posibilidad de acumulación del material orgánico depositado. En el cuadro 2 se presenta el contenido de COS estimado por tipo de cobertura vegetal.

Cuadro 2. Contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) por tipo de cobertura vegetal en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.

Tipo de cobertura vegetal	Especies	Nombre común	COS (ton/ha)
Forestal	<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	155.01
	<i>Pinus</i> spp.	Pino	127.75
	<i>Quercus</i> spp.	Encino	124.84
Áreas de reforestación	<i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus</i> spp.	Oyamel y pino	155.20
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	153.40
	<i>Cupressus lindleyi</i>	Cedro blanco/ciprés	56.60
	Mixto	N/A	85.90
Áreas con matorral	<i>Opuntia</i> spp., <i>Senecio praecox</i> , <i>Acacia</i> spp., <i>Prosopis</i> spp., otras.	Nopal, palo loco, huizache, mezquite, otros.	104.33
Áreas agrícolas	<i>Zea mays</i>	Maíz	32.90
	<i>Avena sativa</i>	Avena forrajera	42.60
Pastizal	<i>Festuca tolucensis</i> y <i>Muhlenbergia macroura</i>	Zacate/pasto amacollado	90.00

N/A: no aplica.

Fuente: Elaboración propia con información de Vela-Correa *et al.*, en: Ospina-Noreña *et al.* (2010)

Como se observa en el cuadro 2, el contenido de materia orgánica almacenado en los suelos depende del tipo de comunidad vegetal predominante en el sitio, siendo los bosques naturales de oyamel los más relevantes, dada su capacidad de capturar carbono y almacenarlo en el suelo, seguidos de los bosques de pino y de encino. También se observa que las áreas reforestadas pueden alcanzar la misma capacidad de almacenamiento de carbono que los bosques naturales, tanto si se emplean especies nativas (oyamel y pino) como si se introducen especies exóticas (eucalipto). Esto último, sin embargo, no es muy recomendable por dos motivos. En primer lugar, porque la reforestación es una técnica de remediación tras un daño ambiental y, por tanto, no es de carácter preventivo. En segundo, porque alterar la

composición de especies en un ecosistema podría poner en riesgo otros servicios ambientales relevantes, aun cuando no se les haya identificado o contabilizado.

Por otra parte, la distribución de las comunidades vegetales, y por tanto el contenido de carbono, también se correlaciona con el relieve. En el cuadro 3 se muestran los tipos de comunidades, su vegetación dominante y el contenido de carbono que acumulan, de acuerdo con el rango altitudinal en el que se encuentran. Dado lo escarpado del terreno en el SC, tiene sentido que más del 50% se encuentre a más de 2,500 msnm, que es justamente donde se distribuyen las especies forestales con mayor capacidad de captura y almacenamiento de carbono aéreo y en el suelo. Desde el punto de vista de la mitigación de las emisiones, esta situación representa una enorme ventaja, ya que la expansión de la ciudad ocurre con mayor facilidad en las regiones planas a menor altitud (Molla, 2006).

Cuadro 3. Descripción de los reservorios de carbono en el Suelo de Conservación, de acuerdo con el gradiente altitudinal.

Rango altitudinal (msnm)	Descripción de los sitios	Vegetación dominante	Superficie (ha)	% del SC	tCO ₂ e/ha	Contenido de COS
3000-3550	Laderas de montaña superiores	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Alnus jorullensis</i>	12,739	14	>150	Muy alto
2279-3000	Laderas de montaña superiores, medias e inferiores y zonas lacustres.	<i>P. montezumae</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>A. religiosa</i> , <i>A. jorullensis</i> , <i>Juniperus</i> spp., <i>Quercus</i> spp.	37,193	42	100-150	Alto
2250-2800	Piedemontes y laderas inferiores	<i>P. montezumae</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. ayacahuite</i> , <i>Quercus</i> spp., <i>Senecio praecox</i> , <i>Yucca</i> spp., <i>Opuntia</i> spp., <i>Eucalyptus</i> spp.	31,838	36	50-100	Medio
N/R	Planicies aluviales intermontanas y piedemontes inferiores	Zonas agrícolas productoras de maíz, avena forrajera, zanahoria, papa, haba y chícharo.	6,761	8	<50	Bajo

N/R: no reportado.

Fuente: Elaboración propia con información de Vela-Correa *et al.* (2012).

Desafortunadamente, el hecho de que estos bosques no se encuentren bajo amenaza inminente de cambio de uso de suelo no significa que su preservación esté garantizada, sobre todo tomando en cuenta los efectos esperados del cambio climático. Allen *et al.* (2010) reportaron que entre 1997 y 2010 alrededor de 10 mil hectáreas de vegetación leñosa a nivel mundial sufrieron afectaciones atribuibles a las elevadas

temperaturas y el consecuente estrés hídrico, comprendiendo una amplia gama de comunidades, tales como matorrales, selvas tropicales y bosques templados. Los mecanismos a través de los cuales el cambio climático incide sobre la mortalidad de los árboles son complejos y sinérgicos, ya sea que se rebasen sus umbrales fisiológicos de tolerancia, que aumente su vulnerabilidad ante brotes de plagas y enfermedades (Avendaño-Hernández *et al.*, 2009) o que incremente la incidencia de incendios (Liu *et al.*, 2010), por mencionar algunos.

Así, ante un clima que se modifica, también puede esperarse un desplazamiento progresivo de las masas forestales hacia zonas con condiciones ambientales más favorables; en el caso de los bosques de coníferas de climas semifríos, se espera que se refugien en altitudes cada vez mayores y que sean remplazadas por comunidades de clima más cálido, como encinares (Villers y Trejo, 1997, 2000). En un estudio específico sobre la reducción del área de distribución potencial del oyamel bajo diferentes escenarios, se pronostica que hacia el año 2090 casi no quedarán áreas favorables para la especie, más que en elevaciones superiores a los 4,500 msnm (Sáenz-Romero *et al.*, 2012).

Resumiendo lo antes presentado, el panorama en el mediano y largo plazos luce poco prometedor, dada la evidencia de que la CDMX corre el riesgo de ver disminuida su cobertura forestal, aun cuando ésta se encuentre bajo una categoría legal de conservación. No obstante, hay que tener cuidado de que este hecho no se tome como un pretexto para relajar la normatividad ambiental. Por el contrario, debe tomarse como una llamada de atención por parte de las autoridades ambientales locales, de modo que no se permita que una presión adicional antropogénica directa se adicione a los ya de por sí graves impactos esperables del cambio climático sobre los bosques templados y sus respectivos servicios ecosistémicos.

2.2. Los Asentamientos Humanos Irregulares (AHI): Definición y Ocurrencia en la CDMX

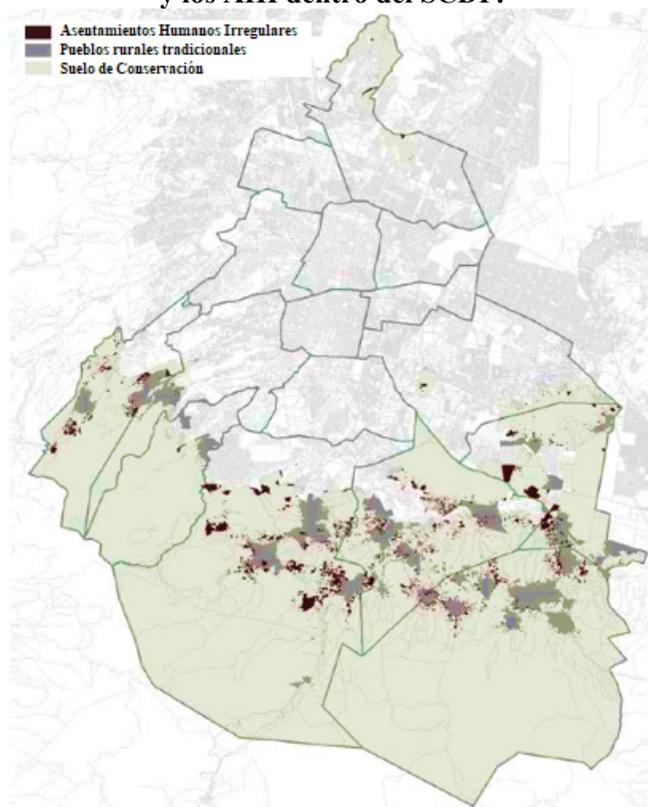
Tal como evidencia el título mismo del documento *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003* de las Naciones Unidas (UN, 2010) el concepto de asentamientos humanos, y por ende el de asentamientos humanos irregulares, suele vincularse con el concepto de *arrabal (slum)*. Según dicho informe, un arrabal es en su denotación más simple “un área densamente poblada, caracterizada por la sordidez y viviendas de estándar inferior”, y además presenta definiciones alternativas que se han empleado en distintos reportes oficiales, algunas de las cuales se aproximan a la definición de asentamientos humanos irregulares (AHI) que ofrece Wigle (2014), quien ha realizado estudios de caso específicos en la CDMX y explica la dificultad que presenta su cuantificación, dada la ambigüedad en torno a la definición de “irregular”.

Así pues, dicho autor propone, con base en los casos estudiados al sur de la capital, especialmente en la delegación Xochimilco, que un AHI está determinado por dos condicionantes: 1) falta de acceso a servicios urbanos (como agua potable, drenaje y saneamiento) y 2) ausencia de permisos de uso de suelo y/o títulos de propiedad. De este modo, quedan excluidas aquellas zonas que alguna vez gozaron de mejores condiciones y que sufrieron de deterioro posterior. Además, es a partir de esta definición que derivan los conceptos de *regularización* (cuando son otorgados los permisos correspondientes de uso de suelo y/o títulos de propiedad) y *consolidación* (cuando se obtiene el acceso al equipamiento urbano y mejoran las condiciones de vida).

Históricamente la relación de la ciudad con los asentamientos irregulares ha sido fluctuante, con periodos de ocupación ilegal de tierras intercalados con eventos de consolidación y regulación a lo largo del siglo XX (GDF, s.f.). Los diferentes autores que han realizado investigaciones sobre la problemática de los AHI, particularmente en el caso de la CDMX identifican los mismos factores causales, que en gran medida son de origen económico, pero potenciados por cuestiones políticas. González *et al.* (2003) señalan que se trata de población que no tiene la capacidad económica ni el acceso a los mecanismos de crédito para obtener una vivienda en los mercados formales. Al respecto, algunos autores (p. ej. Aguilar, 2008; Wigle, 2010) reconocen que los cambios de uso de suelo dentro del SC se efectúan principal, aunque no exclusivamente, por familias de bajos ingresos. Por tanto, para fines de formulación de políticas públicas, es conveniente diferenciar los AHI de procesos tales como la expansión de pueblos rurales y ocupaciones de tierra por hogares de altos y bajos ingresos, aun cuando sus consecuencias en términos ambientales sean equivalentes.

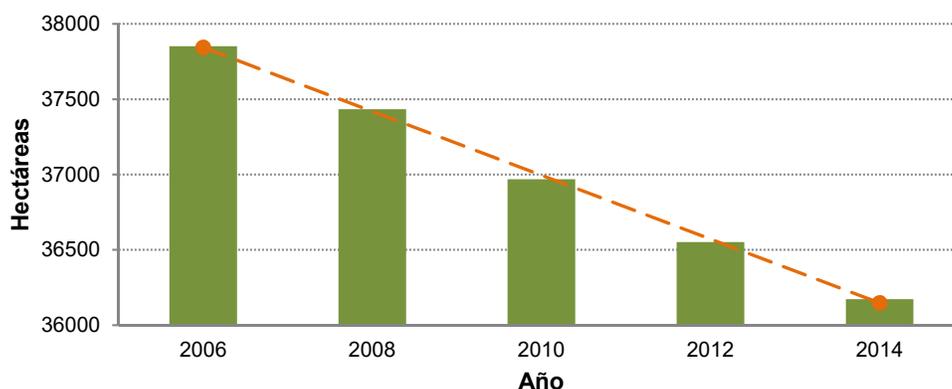
En el mapa 1 se muestra la distribución de los pueblos rurales tradicionales, es decir, aquellos que cuentan con reconocimiento oficial bajo esquema ejidal o comunal, al igual que la de los AHI. Como se puede observar, es en la delegación Xochimilco donde se encuentra el mayor número de AHI, comprendiendo 300 de las 835 localidades identificadas oficialmente como tales (Wigle, 2010, 2014). En términos de superficie, el gobierno local reportó tasas de deforestación de 500 ha/año y de 300 ha/año de ocupación urbana directa hacia el año 2000 (GDF, 2003).

Mapa 1. Ubicación de los Pueblos Rurales Tradicionales y los AHI dentro del SCDF.



Fuente: tomado de CentroGeo (2014).

Posteriormente, entre los años 2001 y 2008, se reportó una transformación de 912 ha, es decir, una tasa de cambio de uso de suelo de aproximadamente 130 ha/año (INIFAP y PAOT, 2010). Y más recientemente, el Sistema de Monitoreo del Suelo de Conservación del Distrito Federal (PAOT y CentroGeo, 2014) reportó de que de 2006 a 2014, la cobertura arbórea disminuyó de forma casi lineal, pasando de 37.8 mil a 36.1 mil ha, es decir, una tasa de deforestación promedio de 210 ha/año (gráfica 1). Cabe señalar que en principio pareciera que la situación mejoró con respecto al año 2000, con una reducción de la tasa de deforestación de 500 a 130 ha/año, para luego volver a aumentar a 210 ha/año. No obstante, las metodologías de cuantificación entre los diferentes estudios, así como sus criterios para determinar la cobertura forestal, no son equivalentes ni equiparables, de modo que las estimaciones deben tomarse con cuidado.

Gráfica 1. Disminución de la Cobertura arbórea del Suelo de Conservación.

Fuente: elaboración propia con información de PAOT y CentroGeo (2014).

3. Estimación de los Costos Asociados a la Pérdida de Cobertura Vegetal en el SCDF

3.1. Almacenamiento y Captura de Carbono

Pese a la variabilidad derivada de las metodologías de cuantificación del cambio de uso de suelo, las tasas estimadas de pérdida de cobertura forestal posibilitan la realización de aproximaciones a los costos derivados de la expansión urbana en términos del servicio ambiental de captura y/o retención de carbono. Para ello se requiere una estimación del contenido de carbono, ya sea total en la superficie de interés, o desagregado por tipos de reservorio (vegetación aérea, contenido orgánico del suelo, entre otros) o por tipo de vegetación. De este modo, se presentan en el cuadro 4 las estimaciones de los contenidos de carbono reportados para el SCDF por tipo de reservorio. Para los contenidos de carbono por tipo de vegetación, ver cuadro 2.

Cuadro 4. Contenido de carbono reportado en el Suelo de Conservación de la CDMX por tipo de reservorio.

Contenido	Reservorio		
	Suelo de Conservación	Vegetación aérea del SC	Suelo y vegetación no aérea (raíces) del SC
Total (millones de tCO₂e)	8.5	1.8 – 2.5	6.0 – 6.7
por hectárea (tCO₂e/ha)	97.4	20.6 – 28.6	68.7 – 76.7

Fuente: elaboración propia con datos de GDF (2012, 2014).

Teniendo en mente la conveniencia de emplear un intervalo de valores en vez de una única cifra puntual, a fin de atender el problema de la incertidumbre en las estimaciones, y por consiguiente en la valoración, en el presente ejercicio se emplean las tres tasas de cambio de uso de suelo antes mencionadas, reportadas

por fuentes oficiales desde el año 2000 (130, 210 y 500 ha/año). Con ellas se obtienen estimaciones de las pérdidas anuales de carbono almacenado por cambio de uso de suelo. En lo que respecta a las pérdidas potenciales de carbono, es decir, aquel que dejaría de capturarse, se emplea el intervalo de tasas anuales de fijación de carbono de 4 a 10 tCO₂e/ha reportado para bosques templados (Flores-Nieves *et al.*, 2011). Así pues, las estimaciones de las pérdidas de carbono por cambio de uso de suelo se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Pérdidas potenciales del carbono acumulado en el Suelo de Conservación de la CDMX por afectación de las comunidades vegetales.

Reservorio/Servicio ecosistémico	Pérdida de carbono (miles de tCO ₂ e/año)		
	Tasa de deforestación (ha/año)		
	130	210	500
Suelo de Conservación	12.6	20.4	48.9
- Vegetación aérea del SC	2.7 – 3.7	4.3 – 6.0	10.3 – 14.3
- Suelo y vegetación no aérea (raíces) del SC	8.9 – 10.0	14.4 – 16.1	34.4 – 38.4
COS de bosque de oyamel (<i>A. religiosa</i>)	20.2	32.6	77.5
COS de bosque de pino (<i>Pinus</i> spp.)	16.6	26.8	63.9
COS de bosque de encino (<i>Quercus</i> spp.)	16.2	26.2	62.4
Captura de Carbono*	520 – 1300	840 – 2100	2000 – 5000

* Servicio estimado de 4 a 10 tCO₂e/ha al año en bosques templados (Flores-Nieves *et al.*, 2011).

Fuente: elaboración propia.

Las primeras tres filas del cuadro 5 corresponden a los contenidos de carbono promedio por hectárea de la fila inferior del cuadro 4. Es decir, que con un contenido estimado de carbono promedio de 97.4 tCO₂e/ha en la totalidad del SC, una tasa de deforestación de 130 ha/año supondría una pérdida de 12.6 mil tCO₂e/año, 20.4 mil tCO₂e/año con deforestación de 210 ha/año y 48.9 mil tCO₂e/año con deforestación de 500 ha anuales. Asimismo, esas pérdidas se desglosan en los intervalos correspondientes a los contenidos de carbono aéreo y no aéreo (suelo y sistemas radicales) estimados por hectárea, de modo que el total de la primera fila equivale a las sumas cruzadas (máximos con mínimos) de la segunda y tercera filas.

Traducir las pérdidas estimadas en unidades de carbono (p. ej. tonelada) a un valor económico es posible, siempre que se cuente con una cifra monetaria aproximada para cada una de dichas unidades de carbono. Con tal propósito, Alatorre *et al.* (2019) realizaron una revisión bibliográfica sobre el costo social del carbono (CSC) y obtuvieron un valor aproximado de \$26 USD por tonelada de CO₂e para el caso

específico de América Latina. Atendiendo nuevamente la incertidumbre inherente a las técnicas de valoración económica ambiental, en este ejercicio se toma como referencia ese valor monetario, así como dos valores de la tonelada de carbono cercanos a la mitad (\$15 USD) y al doble (\$50 USD). De esta forma, los costos estimados se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Costo social estimado de la pérdida de los reservorios de carbono o del servicio de captura de carbono por afectación de las comunidades vegetales en el Suelo de Conservación de la CDMX.

Reservorio/Servicio ecosistémico	Costo social del carbono (\$USD/tCO _{2e})	Costo social (miles de \$USD/año)		
		Tasa de deforestación (ha/año)		
		130	210	500
Suelo de Conservación	15	189.9	306.7	730.3
	26	329.1	531.6	1,265.8
	50	632.9	1,022.4	2,434.2
- Vegetación aérea del SC	15	40.2 – 55.8	65.0 – 90.2	154.6 – 214.8
	26	69.7 – 96.8	112.6 – 156.4	268.0 – 372.3
	50	134.0 – 186.1	216.5 – 300.7	515.5 – 715.9
- Suelo y vegetación no aérea (raíces) del SC	15	134.0 – 149.7	216.5 – 241.8	515.5 – 575.6
	26	232.3 – 259.4	375.3 – 419.0	893.5 – 997.7
	50	446.6 – 498.9	721.8 – 805.9	1,718.3 – 1,918.7
COS de bosque de oyamel (<i>A. religiosa</i>)	15	302.3	488.3	1,162.6
	26	523.9	846.4	2,015.1
	50	1,007.6	1,627.6	3,875.2
COS de bosque de pino (<i>Pinus spp.</i>)	15	249.1	402.4	958.1
	26	431.8	697.5	1,660.8
	50	830.4	1,341.4	3,193.8
COS de bosque de encino (<i>Quercus spp.</i>)	15	243.4	393.2	936.1
	26	421.9	681.5	1,622.7
	50	811.3	1,310.6	3,120.5
Captura de Carbono	15	7.8 – 19.5	12.6 – 31.5	30.0 – 75.0
	26	13.5 – 33.8	21.8 – 54.6	52.0 – 130.0
	50	26.0 – 65.0	42.0 – 105.0	100.0 – 250.0

Fuente: elaboración propia.

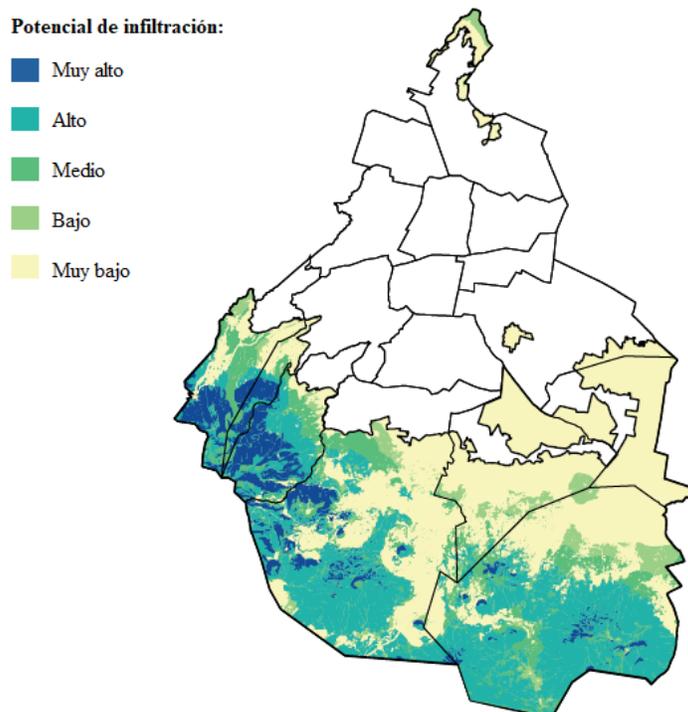
Nuevamente, las cifras mostradas en el cuadro 8 son intervalos de valores con los que se busca captar la enorme variabilidad presente en la superficie del SC, así como la posibilidad de asignar diferentes costos sociales a la tonelada de carbono. Así por ejemplo, si se toma como referencia el valor de \$26 USD/tCO_{2e} reportado en la literatura, los costos con una tasa de deforestación de 130 ha/año al tipo de cambio actual oscilan entre \$1,300,000 y \$9,800,000 MXN al año en términos de carbono almacenado y de \$252,000 a \$633,000 MXN por captura. En cambio, con el mismo valor del carbono, pero con la mayor tasa de deforestación de 500 ha/año, los costos van de \$5,021,000 a \$37,760,000 MXN al año en términos de almacenamiento de carbono, y de \$974,000 a \$2,435,000 MXN por lo que se deja de capturar.

3.2. Infiltración de Agua

A los costos sociales estimados por medio del llamado costo social del carbono se pueden sumar otros impactos económicos más directos de la pérdida de superficie forestal en el SC. Entre los servicios

ecosistémicos que se reconocen de este territorio, uno de los más importantes es el de recarga del acuífero, y consecuentemente, el suministro de agua para los habitantes de la megalópolis. De hecho, la escorrentía superficial en el SC se calcula en 37 millones de m^3 al año, en tanto que su superficie mantiene la recarga del acuífero a una tasa de entre 165 y 190 millones de m^3 al año (SEDEMA, 2016). En el mapa 2 se muestran las mayores zonas de recarga dentro del SC, las cuales guardan relación con la distribución de las masas forestales.

Mapa 2. Capacidad de infiltración en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: tomado de SEDEMA (2016).

A pesar de la magnitud de tales volúmenes de agua, se ha reportado que la disponibilidad del recurso dentro de la cuenca de la Ciudad de México alcanza para cubrir menos del 60% de la demanda (Molla, 2006; Wigle, 2010). Ante la preocupación que esta situación suscita, el gobierno local advierte que la recarga del acuífero presenta una disminución promedio anual de 2,500 m^3 por cada hectárea urbanizada (GDF, 2011), así que, si se considera que en el lapso de 2006 a 2014, se registró una pérdida neta de 1,679 ha de cobertura forestal (ver gráfica 1), significa que cada año se dejaron de captar alrededor de 4.2 millones de m^3 .

Económicamente, el hecho de que la demanda de agua en la CDMX supere al volumen disponible dentro la cuenca tiene un doble efecto. Primeramente, aumenta el costo de extracción del recurso cada vez más escaso en el sitio, mientras que en segundo lugar, la cantidad faltante se debe suministrar desde cuencas

aledañas con sus respectivos costos. De ahí que, para hacer una valoración económica del servicio de recarga del acuífero, se puede emplear el método de costo de remplazo, aun cuando sólo contabilice una pequeña fracción del costo real.

Para tal efecto, Breña-Puyol *et al.* (2009) realizaron tanto una descripción de los sistemas de abastecimiento de agua a la CDMX como una estimación del costo de bombeo en términos de la energía empleada por cada m^3 que se provee a la ciudad. Estos autores señalan, pues, que el gasto del PAI² se incrementó de \$0.21 a \$2.59 MXN por m^3 de forma casi lineal de 1993 a 2007. Igualmente, el gasto de traer agua desde el Sistema Cutzamala creció casi linealmente de \$0.31 a \$3.21 MXN en el mismo periodo. Ambos casos evidencian el costo creciente de extracción y/o transporte de agua por bombeo.

Entonces, bajo el supuesto de que el costo de la energía empleada para el suministro del agua a la ciudad continuase creciendo de forma lineal, actualmente cada m^3 proveniente del PAI y del Sistema Cutzamala representaría un gasto de \$4.55 y \$5.12, respectivamente. Esto significa que, en términos del coste de la electricidad para extraer agua desde los pozos subterráneos o para bombearla desde cuencas vecinas, la pérdida del servicio de infiltración le cuesta a la ciudad de \$19.1 a \$21.5 millones MXN cada año. Empero, estas cifras se centran en el aumento del gasto unitario por continuar la extracción del modo en que ya se está haciendo.

Alternativamente, existen tecnologías de remplazo del servicio de flujo subsuperficial, tales como depósitos y canales de infiltración, trampas de agua, pozos de inyección en la zona vadosa, pozos de inyección directos, tanques de percolación, tapones de cemento y estructuras de gavión, las cuales son descritas y comparadas por Caro-Borrero (2012), llegando a la conclusión de que “por cuestiones de factibilidad técnica [...], además de la opinión de dos expertos en el área de hidrogeología [...], la tecnología escogida para remplazar el servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial de agua, es la de los pozos de inyección directa”. Estos últimos tienen un costo unitario de \$1.3 millones MXN y son capaces de infiltrar 2.1 millones $m^3/año$, tal que serían necesarios de tres a cuatro pozos para subsanar la pérdida anual antes estimada de 4.2 millones de $m^3/año$, representando un costo total de \$3.9 a \$5.2 millones MXN.

Ahora bien, la descripción de esta última tecnología no esclarece algunos detalles, tales como la procedencia del agua que se propone emplear, ni el costo de operación de los pozos una vez que hayan sido instalados. De acuerdo con el libro *Repensar la cuenca: la gestión de ciclos del agua en el Valle de México* (Burns, 2009), los pozos de inyección son “un método para la infiltración acelerada de aguas

² Plan de Acción Inmediata. Es la denominación que recibe el sistema de pozos de agua subterránea que comprende los acuíferos de Chalco-Amecameca, Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Texcoco y Cuautitlán-Pachuca.

tratadas, utilizando presión”. Es decir, que se emplearía agua proveniente de plantas de tratamiento, que posteriormente sería canalizada a los pozos para su inyección, lo cual posiblemente requiera una inversión en tuberías hacia los pozos, más un consumo continuo de energía de bombeo, los cuales no fueron reportados, así como tampoco un análisis de tipo ambiental con respecto a la posible contaminación del manto freático por el aporte de agua de reúso que no pasaría por el proceso natural de filtración del suelo.

Por tales motivos, se puede argüir que los pozos de inyección son una tecnología de remplazo parcial de un servicio ambiental comprometido y cuyo precio sería adicional al costo ya presente de bombeo desde el PAI y el sistema Cutzamala, considerando la cantidad de agua no infiltrada en el periodo 2006-2014. Entonces, tomando en cuenta el gasto creciente del bombeo y la instalación inicial de una tecnología de remplazo, la pérdida de infiltración de agua costaría de \$23 a \$26.7 millones MXN, al menos durante el primer año. Estas cifras por el remplazo del agua pueden no parecer muy elevadas y dan la impresión de ser cantidades que la CDMX podría darse el lujo de asumir en contrapartida de los beneficios de regularizar los AHI para alcanzar metas de generación de vivienda. Y, sin embargo, cabe advertir tres aspectos.

El primero de ellos es que este ejercicio representa una estimación muy acotada, en la que no se consideran el costo social que asumen las localidades de las que se extrae dicha agua, ni el costo por las emisiones derivadas de la generación de la electricidad, sino sólo el costo de su producción. Luego hay que considerar también que conforme más escaso se vuelva el recurso en cuestión, es decir, que se reduzca su oferta, y con una demanda siempre creciente, el costo por unidad de agua irá incrementando de forma más que lineal y/o deberá ampliarse la capacidad de la tecnología de remplazo que se elija, en contraste con cómo se ha hecho aquí. Finalmente, el costo de la pérdida de los servicios de corte hidrológico no ocurriría de forma aislada, sino que se debe sumar a las pérdidas de los demás servicios que aporta cada hectárea de vegetación en el SC, tales como los de almacén y secuestro de carbono estimados previamente.

Así pues, adicionando los valores estimados por los servicios de almacenamiento y captura de carbono y los hidrológicos antes estimados, el valor aproximado de cada hectárea del Suelo de Conservación de la Ciudad de México iría desde \$21,975 hasta \$103,500 MXN/año³, el cual además podría ser mucho más elevado si se realizara una cuantificación más exhaustiva de otros servicios, como de regulación, soporte y culturales, que en este ejercicio no fueron contemplados.

³ Estos valores corresponden a las sumas de las estimaciones mínimas y máximas presentadas en las secciones 3.1 y 3.2 (omitiendo la instalación de la tecnología de pozos de inyección).

4. Discusión y Conclusiones

En el presente trabajo se ofrece una propuesta de valoración de apenas dos de los muchos servicios ambientales que ofrece el Suelo de Conservación de la Ciudad de México. Aun cuando los métodos de valoración económica sean susceptibles a amplios márgenes de incertidumbre, estas cifras pueden ser empleadas como un punto de referencia para el diseño de políticas públicas encaminadas a la protección de los espacios naturales y los servicios ecosistémicos que ofrecen. Así, si se busca dar un incentivo para que los dueños de las tierras preserven la cobertura vegetal, se debe ofrecer una compensación que compita con los costos de oportunidad de manera efectiva.

De acuerdo con la FAO (2015), en 2012 se realizaron actividades agropecuarias en alrededor de 22,800 ha dentro del SC con un valor de producción de más de \$100 millones de USD. Es decir, que mientras el valor de sumidero de carbono e infiltración de cada hectárea de SC va de \$21,975 a \$103,500 MXN/año, el costo de oportunidad de dar un uso agropecuario al mismo espacio es de aproximadamente \$84,280 MXN/año. En cambio, el programa federal de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), a cargo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), por ejemplo, consiste de un pago de alrededor de \$300 MXN/ha al año, distribuido en 5 años, con posibilidad de renovación (Perevochtchikova y Torruco, 2014), una cifra ínfima que explica por qué dicho programa ha tenido una efectividad tan baja, aunado a sus problemas de formulación y operación (CCMSS, 2014).

La enorme disparidad entre el valor económico estimado de la tierra o de su potencial de producción económica y el valor que las políticas públicas le asignan es evidente. Ante esta situación, es crucial contar con herramientas argumentales que permitan reordenar las metas y objetivos de desarrollo, asignando mayor prioridad a aquéllos de tipo ambiental. Dulal (2017) explica que, sobre todo en países en vías de desarrollo, metas tales como la mitigación y adaptación ante el cambio climático se alcanzan a modo de cobeneficios de otras políticas públicas centradas en necesidades consideradas más apremiantes, como salud, educación y combate a la pobreza. De ahí que emplear métodos de valoración económica ponga a disposición estimaciones cuantitativas, y por tanto comparables, que se pueden emplear paralelamente al enfoque de los cobeneficios y justifiquen la elaboración y aplicación de normas ambientales más estrictas.

En el caso de la Ciudad de México, con su delimitación entre Suelos Urbano y de Conservación y la superficie forestal que aún persiste, es válido sugerir que una crisis ambiental irreversible no es inminente, pero sí se deben atender las llamadas de alerta, tales como los costos crecientes por el suministro del agua y los recurrentes registros de elevada contaminación atmosférica. Desde luego, existen tendencias demográficas inherentes a cualquier aglomeración urbana, como es la expansión hacia

las periferias, pero la incidencia de los asentamientos irregulares deja ver la debilidad, o cuando menos la indiferencia, de las autoridades locales para aplicar seriamente la legislación que elabora. Es así que propuestas de valoración, como la aquí presentada, así como evaluaciones y recomendaciones independientes de corte económico y ambiental son de gran importancia para encaminar las políticas públicas hacia objetivos de desarrollo económicamente rentables, ambientalmente realizables, socialmente justos y sostenibles a largo plazo.

Referencias

Aguilar, A.G. (2008) Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities* 25.3, 133–45.

Alatorre, J.E, Caballero, K., Ferrer, J. y Galindo, L.M. (2019). *El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Santiago, pp. 50.

Allen, C. D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetrier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidove, N. Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W. & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* Vol. 259, Issue 4, 5, p.p. 660-684.

Avendaño-Hernández D.M., Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Etchevers-Barra, J.D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Filotec. Mex.* Vol. 32(3): 233-238.

Breña-Puyol, A.F., Breña-Naranjo, J.A. y Naranjo, M.F. (2009). *Costo de energía eléctrica del m³ de agua abastecida por los sistemas de bombeo en la Zona Metropolitana del Valle de México*. IX SEREA – Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valencia, España.

Burns, E. [coord.] (2009). Repensar la cuenca: la gestión de ciclos del agua en el Valle de México. *México. UAM/CENTLI*.

Caro-Borrero, A.P. (2012). Evaluación del pago por servicios ambientales hidrológicos: una perspectiva socio-ambiental en la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F. *Tesis de Maestría* en Ciencias. UNAM, México.

CCMSS, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. (2014). *Pagos por servicios ambientales en el DF: insuficientes y mal comunicados*. Blog del consejo civil mexicano. Recuperado de: <http://www.ccmss.org.mx/pago-por-servicios-ambientales-en-el-df-una-evaluacion-en-el-suelo-de-conservacion/>

Dulal, HB. (2017). Making cities resilient to climate change: identifying “win-win” interventions. *Local Environment*, 22:1, 106-125.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe. Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe, Ciudad de México*. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/CMVALC/ciudad_de_mexico.html

Flores-Nieves, P., López-López, M.A., Ángeles-Pérez, G., de la Isla-Serrano, M. de L. y Calva-Vásquez, G. (2011). Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham. en proceso de declinación. *Rev. Mex. de Cienc. Forestales*, Vol. 2, No. 8.

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México. (2017). *Sobre nuestra ciudad*. Recuperado en octubre de 2017 de: <http://www.cdmx.gob.mx/cdmx/sobre-nuestra-ciudad>.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (s.f.). *Programas de población del Distrito Federal, 2001-2006*. Recuperado en noviembre de 2017 de: <http://www2.df.gob.mx/secretarias/social/copodf/prog2.html>

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (2003). Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 2001. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, GDF. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 31 de diciembre de 2003, Ciudad de México.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (2011). *Plan Verde de la Ciudad de México*. México, D.F. 133 pp.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (2012). *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, México, D.F. 96 pp.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (2014). Acuerdo por el que se aprueba el Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018. *Gaceta Oficial del Distrito Federal* No. 1965 Bis. México, 15 de octubre, pp. 2-48.

González, J. *et al.* (2003), "Uso residencial". En: Kunz, J. (coord.). *Uso del suelo y territorio. Tipos y lógicas de localización en la Ciudad de México*, Plaza & Valdés, México, pp. 173-206.

INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, y PAOT, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México. (2010). *Estudio de estimación de captura de carbono como indicador del estatus del derecho de los habitantes del Distrito Federal a gozar de áreas verdes adecuadas para su desarrollo, salud y bienestar*. México. 24 pp.

Liu, Y., Stanturf, J., y Goodrick, S. (2010). Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management* 259, 685-697.

Molla Ruíz-Gómez, Manuel. (2006). El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan. *Investigaciones geográficas*, (60), 83-109.

PAOT, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, y CentroGeo, Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo". (2014). *Sistema de Monitoreo del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. Consultado en noviembre de 2017 de: http://201.134.205.166/monitor_ambiental/html/monitoreo/0201.html

Perevochtchikova, M. y Torruco C., V.M. (2014). Análisis comparativo de dos instrumentos de conservación ambiental aplicados en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. *Sociedad y Ambiente, año 2, vol. 1, núm. 3*, noviembre de 2013-febrero de 2014, ISSN 2007-6576, pp. 3-25

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G.E., Duval, P. y Lindig-Cisneros, R.A. (2012). *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management* 275, 98-106.

SEDEMA, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (2012). *Conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Distrito Federal*. Libros Blancos. México, D.F.

SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2016) *El Suelo de Conservación*. México, 82 pp.

UN, United Nations. (2010). *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003*. Revised and updated version. Disponible para consulta en: https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2003/07/GRHS_2003_Chapter_01_Revised_2010.pdf

Vela-Correa, G., López-Blanco, J., Rodríguez-Gamiño M. de L., Chimal-Hdz., A., Navarrete-Segueda, A., Cruz-Chona, C. y Bello-Tellez, V. (2010). Recurso suelo. En: *La Ciudad de México ante el Cambio*

Climático. Ospina-Noreña, J.E., Gay-García, C., Conde, C. y Martínez, M.A. (Compiladores). Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, UNAM, México.

Vela-Correa, G., López-Blanco, J. y Rodríguez-Gamiño, M. de L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. ISSN 0188-4611, Núm. 77, pp. 18-30.

Villers-Ruiz, L. y Trejo-Vázquez, I. (1997). Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Clim. Res.* Vol. 9:87-93.

Wigle J. (2010). The “Xochimilco model” for managing irregular settlements in conservation land in Mexico City. *Cities* 27 (2010) 337–347.

Wigle J. (2014) The ‘Graying’ of ‘Green’ Zones: Spatial Governance and Irregular Settlement in Xochimilco, Mexico City. *IJURR* Vol. 38:2, pp. 573–589.