

Índice de presión urbana sobre áreas naturales protegidas en México

Index of urban pressure on protected natural areas in Mexico

Juan Alfredo Hernández Guerrero¹

Recibido 29 de marzo de 2024; aceptado 29 de mayo de 2024

RESUMEN

La presión urbana sobre áreas naturales protegidas (ANP) comúnmente involucra aumento de población y superficie construida, concentración económica, cambio de uso y cobertura de suelo, mercantilización de recursos naturales, reducción o pérdida de biodiversidad, y reconfiguración productiva y cultural. Estas situaciones se acentúan según la dinámica urbana, la diversidad y tamaño de espacios urbanos y los sectores de incidencia. Es un problema común en países de América Latina, pero son escasos los estudios a escala nacional que identifican la presión que ejercen espacios urbanos de distinto tamaño sobre ANP. Así, el presente trabajo identificó y representó la presión urbana que ejercen zonas metropolitanas sobre ANP en México. El proceso consistió en la elaboración de un índice de presión urbana sobre ANP con el uso de geoestadística y sistemas de información geográfica; recolección de datos, definición de indicadores, fiabilidad de los datos, manejo de imágenes de satélite y uso de álgebra de mapas. En los resultados destacaron 30 zonas metropolitanas con presión urbana alta y muy alta, las cuales se relacionan con 8.5 ANP y la distancia hacia las ANP osciló entre 10.2 km. Asimismo, el sector central de México es la que presentó la mayor presión sobre ANP. Se concluye que la información generada puede acompañar regulaciones y políticas públicas para reducir presión sobre ANP y problemáticas ambientales.

Palabras clave: *índice de presión urbana, zona metropolitana, área natural protegida, México.*

¹ Universidad Autónoma de Querétaro, México, correo electrónico: juan.hernandez@uaq.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4220-7216>

ABSTRACT

Urban pressure on protected natural areas (PNA) commonly involves an increase in population and built-up area, economic concentration, land use and land cover change, commodification of natural resources, reduction or loss of biodiversity, and productive and cultural reconfiguration. These situations are accentuated according to the urban dynamics, the diversity and size of urban spaces and the sectors of incidence. This is a common problem in Latin American countries, but there are few studies on a national scale that identify the pressure exerted by urban spaces of different sizes on PNA. Thus, the present study identified and represented the urban pressure exerted by metropolitan zones on PNA in Mexico. The process consisted of developing an index of urban pressure on PNA using geostatistics and geographic information system; data collection, definition of indicators, data reliability, satellite image management and the use of map algebra. The results highlighted 30 metropolitan zones with high and very high urban pressure, which are related to 8.5 PNA, and the distance to the PNA ranged from ± 10.2 km. Likewise, the central strip of Mexico is the one that presented the highest pressure on PNA. It is concluded that the information generated can accompany regulations and public policies to reduce pressure on PNA and environmental problems.

Key words: urban pressure index, metropolitan zone, protected natural area, Mexico.

1. Introducción

El deterioro y eliminación de recursos naturales, biodiversidad y ecosistemas de provisión ha sido un tema relevante en la historia ambiental, pero después de la segunda mitad del siglo XX el fenómeno tomó un rumbo de mayor preocupación por la propensión de la mercantilización de la naturaleza y el subsecuente impacto ambiental (McNeill, 2003). Una de las vías para tratar de reducir afectaciones a la naturaleza fue incentivar los decretos de áreas naturales protegidas (ANP) terrestres y marinas, esto es, espacios definidos, dedicados y gestionados a través de medios legales e instrumentos normativos con el propósito de la conservación a largo plazo de la naturaleza, servicios ecosistémicos y valores culturales (Dudley, 2008, p. 10); el proceso incluye medios de vida, y se promueve la sustentabilidad y sostenibilidad (Maldonado-Ibarra *et al.*, 2020).

A pesar de esos esfuerzos, la presión de la urbanización juega un papel negativo en superficies decretadas o proyectadas para ANP, ya que sus consecuencias cuasi-irreversibles se expresan en la transformación territorial, artificialización de la naturaleza y en la alternancia con el deterioro ambiental y del metabolismo urbano (McDonald *et al.*, 2009). En algunos casos, la presión que ejerce la urbanización suele acompañarse de permisibles restricciones; por lo mismo, el propósito de las ANP se rodea de controversias, paradojas e intereses que se acentúan a través de disputas por acceso y tenencia de suelo,

cambio de uso y cobertura de suelo, comodificación de la naturaleza, detrimento de servicios ecosistémicos, alteraciones micro-climáticas, contaminación de suelo, riesgo y desastres socio-naturales, pérdida de biodiversidad, deterioro biocultural, discordancia en actividades productivas, entre otros (Leisher *et al.*, 2013; Holmes, 2015; Kopnina, 2017; Tesfaw *et al.*, 2018; Hummel *et al.*, 2019; De la Mora-De la Mora, 2020). En este contexto, la ecología política urbana señala que la interacción entre urbanización, protección y naturaleza comúnmente está supeditada por el mercado ambiental y relaciones de poder que dictan lo que es manipulable con valor de oferta, esto a su vez, incluye discursos y objetivos pro-ambiente disfrazado de intereses particulares (Castillo-Oropeza, 2019).

Por otro lado, en los Objetivos de Desarrollo del Milenio se distinguían esfuerzos para proteger ecosistemas terrestres y marinos, y mitigar la presión e impacto urbano; la superficie continental protegida en el periodo de 1990 a 2014 aumentó de 8.7% a 15% respectivamente, en ello sobresalen regiones de Asia, África, y América Latina y el Caribe (United Nations, 2015). El compromiso de protección continúa a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, aunque no será tarea fácil debido a la tendencia urbana actual; 420 millones de personas viven en ciudades, 80% del producto interno bruto se genera en ciudades, 1000 millones de pobres viven en asentamientos urbanos informales, y la expansión de suelo urbano supera en 50% el crecimiento poblacional (Gobierno de México, 2019; World Bank, 2020; United Nations, 2021).

Los datos anteriores implican repensar y tratar de entender la presión urbana que se ejercerá a corto y mediano plazo sobre ANP o posibles sitios por proteger. Algunos estudios señalan que, en la complejidad de la presión urbana, es importante comprender la interacción entre población, superficie construida, distancia e intereses políticos y económicos en espacios urbanos de diversos tamaños, diferente escala, y continua dinámica de cambio, sobretodo en regiones con acelerada urbanización (McDonald *et al.*, 2009; Castro-Prieto *et al.*, 2017; Girault, 2017; Anaya & Espíritu-Santo, 2018; De la Mora-De la Mora & López-Miguel, 2022; Harris *et al.*, 2019; Halkos *et al.*, 2020).

América Latina y el Caribe es una de las regiones con mayor cantidad de superficie protegida (terrestre y marina) en el mundo. Al año 2020, esta región tenía 9154 ANP que sumaban 8.8 millones de km²; el 24% corresponde a superficie terrestre y de aguas continentales y, el 18.9% equivale a protección marina (Álvarez Malvido *et al.*, 2021). Respecto a la urbanización, el 80% de la población vive en espacios urbanos (Un-Habitat, 2020), y la presión urbana se ejerce a expensas de la mercantilización de la naturaleza, mientras que las tierras de o para protección juegan un rol económico, sea de plusvalía o de salida emergente (Quimbayo, 2020). En este contexto, las ciudades de gran tamaño mantienen especial atención en el tema de la presión urbana sobre ANP, pero también las ciudades de menor tamaño, pues con el propósito de ser económicamente competitivas son concentradoras de población e impulsan el crecimiento y expansión de suelo construido, además, fomentan conflictos

por la transformación territorial y presionan superficies de o para protección (Novillo, 2018; PNUMA, 2021).

La situación de México es un ejemplo de lo que sucede a nivel regional. Las ANP tienen el propósito de preservar la biodiversidad y otros servicios ambientales (Tlapa-Almonte et al., 2020, p. 52), y se clasifican en ANP federales (ANP-FED), ANP estatales, municipales, ejidales, comunitarias y privadas (ANP-EMECP) y Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) (CONANP, 2020a; DOF, 2022). Sin embargo, la mayoría de las ANP, sean terrestres o marinas, cuentan con algún grado de afectación por la urbanización, aunque las ANP terrestres enfrentan la constante proximidad e intrusión de suelo urbano, situación que se acompaña del crecimiento y expansión de zonas metropolitanas de diversos tamaños y dinámicas, las cuales se acompañan por un mercado urbano constituido de intereses políticos y económicos que limitan el propósito y manejo de las ANP (Arriola-Padilla et al., 2014; Pfaff et al., 2017; De la Mora-De la Mora, 2020).

De las 74 zonas metropolitanas registradas en el sistema urbano de México, 13 son mayores a 1 millón de habitantes y ejercen presión sobre ANP contiguas, entre ellas destacan los casos del Valle de México, Guadalajara y Monterrey por invadir suelo de protección y dejar pequeños intersticios urbanos que dificultan el propósito de protección (De la Mora-De la Mora, 2020). Por su parte, las 61 zonas metropolitanas restantes pareciera que ejercen igual o mayor presión, especialmente aquellas entre 500,000 y 999,999 habitantes, pues al tratar de ser competitivas promueven acelerado crecimiento poblacional, expansión y dispersión de superficie construida (Hernández-Guerrero, 2015). Las zonas metropolitanas en México suelen acompañarse de especulación de suelo predispuesto a la protección, deterioro intencional de suelo protegido para fomentar su cambio y reducción de límites, o bien, manipulación de la protección para el usufructo del lugar, todo ello involucra cambios culturales, económicos y ambientales (Calderón, 2016; De la Mora-De la Mora, 2020). Por esta razón, es relevante distinguir la presión que ejercen las zonas metropolitanas sobre ANP en México, sea a través de información y representación del fenómeno para apoyar en la toma de decisiones y mitigar el deterioro de las ANP o posible suelo de protección.

Los estudios en México relacionados con la presión que ejercen zonas metropolitanas sobre ANP son focalizados y comúnmente abordan temas políticos, socioeconómicos y biodiversidad (Merlín-Uribe et al., 2013; Arriola-Padilla et al., 2014; Hernández-Rivera & Torres-Hernández, 2015; Calderón, 2016; Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018; Aguilar-Tomasini et al., 2020; De la Mora-De la Mora & López-Miguel, 2022; Errejón-Gómez & Ortega-Rubio, 2020; Tlapa-Almonte et al., 2020), pero debido a la especificidad de la escala, no permiten tener un panorama general para distinguir sectores o focos de presión urbana a escala nacional. También, esos trabajos utilizan criterios y variables indistintas, pero algunos pueden funcionar en la identificación de presión urbana, tal es el caso de población urbana, superficie construida y distancia. A partir de los argumentos expuestos surgen las siguientes interrogantes, ¿cuál

es el nivel de presión que ejercen zonas metropolitanas de diferente tamaño sobre ANP?, y ¿cuáles son los sectores donde las zonas metropolitanas ejercen mayor presión sobre ANP? De esta manera, el presente trabajo se acota a una propuesta de un índice relacionado con el crecimiento urbano y suelo protegido, por ende, el objetivo fue elaborar un índice de presión urbana de zonas metropolitanas sobre ANP en México.

2. Área de estudio

El trabajo se realizó a nivel de la República Mexicana (conocida como México), la cual se encuentra al norte del continente americano y limita al norte con Estados Unidos de América, al sur con Guatemala y Belice, al este con el Golfo de México y al oeste con el océano Pacífico (Figura 1). México está dividido en 32 entidades federativas y, estas a su vez, se componen de 2,471 municipios. Además, tiene una superficie territorial de 5,120,679 km² (continental 1,960,180 km², zona económica exclusiva 3,149,920 km² y plataforma continental de 10,570 km²).

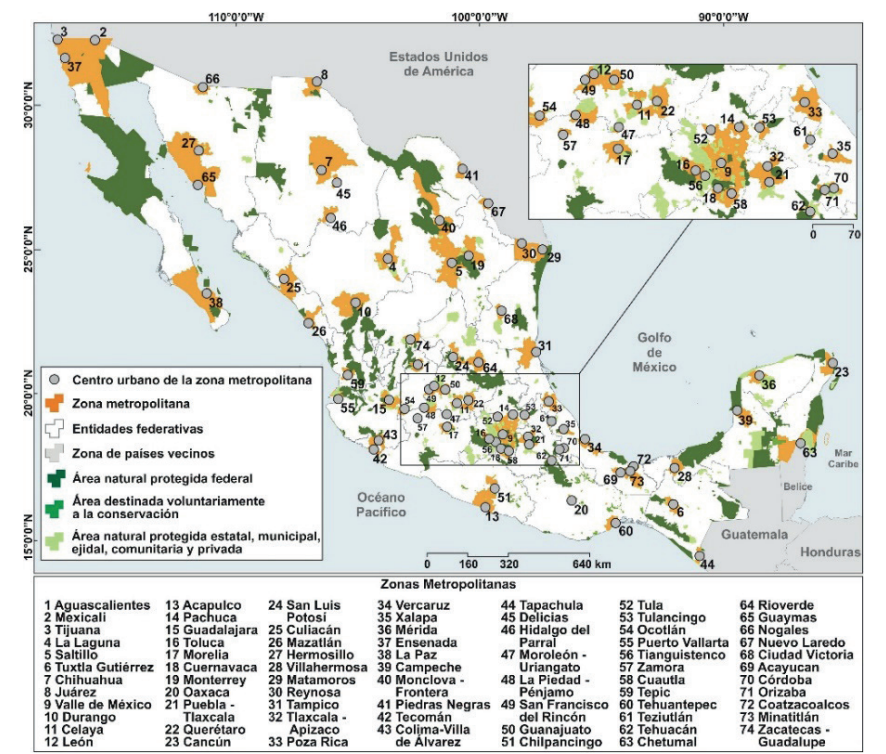


Figura 1. Zonas metropolitanas y Áreas Naturales Protegidas de México.
Fuente: elaboración con datos del INEGI (2021) y CONANP (2020b, 2020c, 2020d).

En relación con las ANP, al año 2010 el país contaba con 174 ANP-FED y 307 ANP-EMECP (CONANP, 2010a, 2010b). Al año 2020, el último registro publicado de la CONANP (2020a), señala que el país tenía 182 ANP-FED; 145 de protección terrestre y de aguas continentales, y 37 para protección marina. También se tienen 336 ADVC y 431 ANP-EMECP (CONANP, 2020a, 2020d). Cabe decir que la suma entre la superficie de las 518 ANP-FED y ADVC es de 913,454.38 km², de los cuales el 24% corresponde a superficie terrestre y de aguas continentales, y el 76% a superficie marina, equivale a 481 polígonos terrestres y 37 marinos (CONANP, 2020a, pp. 11-12). Asimismo, el 60% de las ANP terrestres y de aguas continentales se localizan en el centro del país.

Lo anterior contrasta con el fenómeno de la urbanización, ya que su dinámica destaca entre las principales causantes del detrimento y aumento de ANP. En el año 2010 el sistema urbano mexicano estaba representado por 384 ciudades divididas en 59 zonas metropolitanas, 78 conurbaciones y 247 centros urbanos (SEDESOL & CONAPO, 2012). Por su parte, en la última publicación del sistema urbano nacional del año 2018, tenía 401 ciudades divididas en 74 zonas metropolitanas, 132 conurbaciones y 195 centros urbanos. De esta manera, las 74 zonas metropolitanas están divididas en tres rangos: i) grandes, mayores a 1 millón de habitantes; ii) medianas, entre 500,000 a 999,999 habitantes; y iii) pequeñas, entre 100,000 y 499,999 habitantes (SEDATU & CONAPO, 2018). Así al año 2020 se distinguían 17 zonas metropolitanas grandes, 19 medianas y 38 pequeñas.

3. Métodos y herramientas

El proceso consistió en la construcción de un índice de presión urbana sobre ANP con el uso de geoestadística y el manejo de sistemas de información geográfica (SIG) a través del programa ArcGis (ESRI, 2013). El procedimiento se realizó en tres fases: i) definición de indicadores y recopilación de información censal y datos vectoriales (años 2010 y 2020); ii) elaboración de bases de datos para el geoprocesamiento; y iii) interpolación de indicadores con el método kriging, prueba de fiabilidad, determinación de rangos y elaboración de cartografía. En la representación de los resultados se utilizaron las 74 zonas metropolitanas del año 2020.

3.1 Definición de indicadores, recopilación de datos y cálculos

Los indicadores se definieron por su relevancia entre dinámica urbana y suelo protegido: tasa de crecimiento poblacional medio anual (SEDESOL & CONAPO, 2012), tasa de crecimiento de superficie urbana (UN-Habitat, 2018), tasa de crecimiento de superficie urbana dispersa (adaptada de UN-Habitat, 2018), promedio de la densidad media urbana (SEDATU *et al.*, 2018), expansión urbana (Treviño, 2018), distancia entre superficie urbana y ANP, y promedio de la cantidad de ANP.

Con el propósito de utilizar estos indicadores fue necesario recopilar datos y elaborar las bases de datos para el año 2010 y 2020 con información de

cada zona metropolitana, por esta razón, el uso de SIG fue importante para la manipulación y cálculo de gran cantidad de datos, y la representación del fenómeno. A continuación, se describe el procedimiento para la recopilación de datos.

3.1.1 Población y superficie urbana

La población urbana y la superficie urbana (superficie construida) destacan entre las variables más utilizadas en el tema de dinámica urbana, y la presión que ejercen sobre los diferentes sistemas con los que interrelacionan. Así, la superficie urbana para el año 2010 y 2020 se calculó en el SIG con base en la cartografía urbana subdividida en unidades censales denominadas áreas geoestadísticas básicas (AGEB) obtenidas del INEGI (2010a, 2021). También, se utilizaron imágenes del 2010 y 2020 de Google Earth para delimitar polígonos y contrastar la superficie urbana. Por su parte, el número de habitantes se definió con la unión entre la información del censo de población y vivienda y su correspondiente AGEB (INEGI, 2010b & 2020). Cabe decir que para el año 2010 se utilizaron estudios para contrastar o corregir información (SEDATU *et al.*, 2018; SEDATU & CONAPO, 2018). Una vez obtenidos los datos se utilizaron las Ecuaciones 1 y 2 para calcular la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de crecimiento de superficie urbana.

$$TCP = \left(\left[\left(\frac{P_i^{af}}{P_i^{ai}} \right)^{1/t} \right] - 1 \right) * 100 \quad (1)$$

Donde: TCP es la tasa de crecimiento poblacional medio anual; P_i^{af} es la población de la unidad i considerada en el año final del periodo; P_i^{ai} es la población de la unidad i considerada en el año inicial del periodo; t es el tiempo en el periodo.

$$TCSU = \left(\left[\left(\frac{S_i^{af}}{S_i^{ai}} \right)^{1/t} \right] - 1 \right) * 100 \quad (2)$$

Donde: $TCSU$ es la tasa de crecimiento de superficie urbana; S_i^{af} es la superficie de la unidad i considerada en el año final del periodo; S_i^{ai} es la superficie de la unidad i considerada en el año inicial del periodo; t es el tiempo en el periodo.

3.1.2 Densidad media urbana

La densidad media urbana permite identificar sitios con mayor o menor concentración de población, y se obtiene de la densidad de cada AGEB ponderadas por el tamaño de su población. El procedimiento se realizó posterior a la determinación de la población y la superficie urbana para 2010 y 2020. El cálculo se realizó en el SIG y consistió en la división entre población y superficie de cada AGEB por zona metropolitana (población/hectáreas). Es importante decir que el resultado del año 2010 se comparó con el estudio de la

SEDESOL & CONAPO (2012), para identificar variaciones significativas. A partir de la información obtenida se utilizó la Ecuación 3 para calcular el promedio de la densidad media urbana.

$$PDMU = \frac{\left[DMU_{2010} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{S_i}}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) \right] + \left[DMU_{2020} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{S_i}}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) \right]}{N} \quad (3)$$

Donde: $PDMU$ es el promedio de la densidad media urbana; DMU es la densidad media urbana de la zona metropolitana; P_i es la población de la i -ésima AGEB urbana; S_i es la superficie de la i -ésima AGEB urbana; n es el total de AGEB urbanas del municipio de la zona metropolitana; N es la cantidad de años.

3.1.3 Expansión urbana

Los datos de expansión urbana para el año 2010 se tomaron del estudio de Treviño (2018), el cual empleó el indicador de expansión urbana elaborado por Brezzi & Veneri (2015). El indicador mide la expansión de la superficie urbana a través del crecimiento de la población total, en este sentido, si el resultado del indicador es cero, la población y el área construida son estables en el tiempo, pero si el resultado es positivo o negativo, entonces significa expansión o compactación respectivamente (Treviño, 2018). Por lo tanto, para el año 2020 se calculó la misma expansión urbana a partir de los datos de población y superficie urbana por zona metropolitana que se emplearon en las fases anteriores. A continuación, se muestra la Ecuación 4 empleada para el indicado de expansión urbana.

$$EU = \frac{[urb_{i,t+n} - (urb_{i,t} * (pop_{i,t+n}/pop_{i,t}))]}{urb_{i,t}} * 100 \quad (4)$$

Donde: EU es expansión urbana de la ciudad i ; i es el área metropolitana i -ésima; t es el año inicial; $t + n$ es el año final; urb es el número de hectáreas del área urbana; pop es la población total.

3.1.4 Superficie urbana dispersa

La superficie urbana dispersa es una variable importante en la presión urbana, ya que involucra la construcción o evolución de asentamientos distantes, nucleares y poco accesibles que demandan infraestructura, mobiliario y equipamiento y, según sea el caso, se aproximan o invaden ANP. La obtención de los datos tomó en cuenta la técnica de Jiao *et al.* (2018) al incluir un *buffer* de 1 km alrededor del límite del continuo urbano, después se sumaron los fragmentos urbanos dispersos que se identificaron entre el *buffer* y el límite de la zona metropolitana (Figura 2). En el procedimiento se utilizó la superficie urbana subdivida por AGEB de cada zona metropolitana para los años 2010 y 2020. Así, con los datos de superficie urbana dispersa para el año 2010 y 2020 se utilizó la Ecuación 5 para calcular la tasa de crecimiento de superficie urbana dispersa.

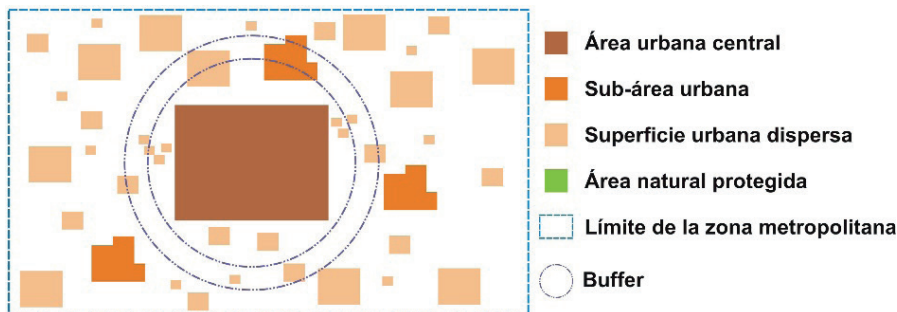


Figura 2. Esquema para recolección de datos: superficie urbana dispersa.
Fuente: elaboración propia.

$$TCSUd = \left(\left[\left(\frac{Sd_i^{af}}{Sd_i^{ai}} \right)^{1/t} \right] - 1 \right) * 100 \quad (5)$$

Donde: $TCSU$ es la tasa de crecimiento de superficie urbana dispersa; Sd_i^{af} es la superficie urbana dispersa de la unidad i considerada en el año final del periodo; Sd_i^{ai} es la superficie urbana dispersa de la unidad i considerada en el año inicial del periodo; t es el tiempo transcurrido en el periodo.

3.1.5 Cantidad de ANP

La obtención de los datos se fundamentó en la adaptación del método de Clerici *et al.* (2020), los cuales implementaron un *buffer* como zona de influencia entre deforestación y ANP. En primera instancia se recopilaron datos en formato vectorial de las ANP para el año 2010 (174 ANP-FED y 307 ANP-EMECP) y el año 2020 (182 ANP-FED y 336 ADVC, así como 431 ANP-EMECP) (CONANP, 2010a, 2020b, 2020c, 2020d). En ambos años se eliminaron las ANP marinas y se mantuvieron las ANP terrestres y de aguas continentales.

En el SIG se elaboró un polígono denominado “círculo urbano”, el cual se trazó alrededor de la superficie urbana de cada zona metropolitana (incluye superficie urbana dispersa) y funcionó como primera zona de influencia. A partir de ese círculo se definió una segunda zona de influencia con base en un *buffer* de 30 km (Figura 3); el tamaño del *buffer* se definió según el crecimiento de la superficie urbana de los 10 años de análisis. Después se contabilizó el número de ANP que entraron en el círculo urbano y en el *buffer*, este proceso consideró que más de una zona metropolitana puede afectar una misma ANP. Una vez definido el número de ANP próximas o dentro de las zonas metropolitanas fue necesario utilizar la Ecuación 6 para calcular el promedio de ANP susceptibles, 2010-2020.

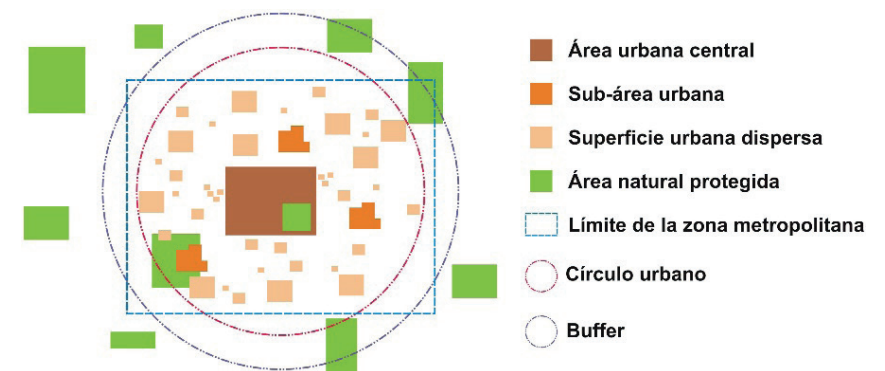


Figura 3. Esquema para recolección de datos: número de ANP por zona metropolitana.
Fuente: elaboración propia.

$$PANP = \frac{NANP_{2010} + NANP_{2020}}{N} \tag{6}$$

Donde: *PANP* es el promedio de ANP 2010-2020; *NANP* es el número o cantidad de ANP por zona metropolitana; *N* es la cantidad de años.

3.1.6. Distancia entre superficie urbana y ANP

El indicador refiere a la proximidad o intrusión urbana sobre ANP. La obtención de datos para el presente indicador se llevó a cabo con el *multi-buffer ring method*, el cual ha sido utilizado y comprobado para determinar expansión y densidad urbana (Fonseka *et al.*, 2019). A raíz de la forma irregular que presenta la expansión urbana en las zonas metropolitanas, fue necesario utilizar el “círculo urbano” del paso anterior como gradiente de externalidad negativa (primera área de influencia). A partir de ese círculo se definió el buffer múltiple compuesto de cinco anillos concéntricos de 6 km, 12 km, 18 km, 24 km y 30 km, donde 6 km indica que está muy cercana la superficie urbana del ANP, y 30 km está muy distante. Cabe decir que las ANP que se identificaron dentro del círculo urbano se definieron como muy cercana la superficie urbana del ANP.

La medida de la distancia se obtuvo a través del trazado de líneas de intersección entre el centro de la zona metropolitana y el límite de la superficie de la ANP (Figura 4). En este proceso se tomaron en cuenta las líneas que permanecieron en el círculo urbano, así como las líneas que cruzaron el círculo urbano y alcanzaron alguno de los anillos del buffer múltiple. Por último, los datos se obtuvieron con el trazo de cinco líneas por cada zona metropolitana para conocer la distancia respecto a las ANP, después se promediaron las distancias de las líneas. Posterior a la obtención de los datos se utilizó la Ecuación 7 para calcular el promedio de la distancia entre superficie urbana y ANP.

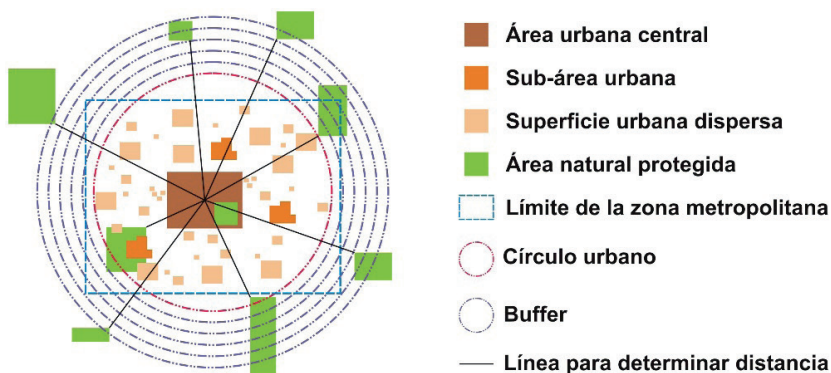


Figura 4. Esquema para recolección de datos: distancia entre superficie urbana y ANP.
Fuente: elaboración propia.

$$PDSA = \frac{DZM_{2010} + DZM_{2020}}{N} \quad (7)$$

Donde: *PDSA* promedio de la distancia entre superficie urbana y ANP, 2010-2020; *DZM* es la distancia por zona metropolitana; *N* es la cantidad de años.

3.2 Definición del índice de presión urbana sobre ANP

En primera instancia se identificó el grado de correlación espacial, para ello se utilizó el módulo *Geoestatistical Analyst* en el programa ArcGis, donde se realizó un análisis de tendencia, así como la prueba espacial y la base de entrenamiento con la opción *Subset Features*. Después, con base en la técnica de Fuenzalida (2015) se aplicó una interpolación espacial a cada tasa o promedio mediante el método geoestadístico *kriging* ordinario que, debido a la naturaleza de los datos, se utilizó para estimar los valores probabilísticos de correspondencia espacial entre los valores muestrales, este proceso incluyó semivariogramas para señalar la autocorrelación espacial y reducir el error cuadrático de la estimación. La interpolación consideró el análisis exploratorio para la revisión de datos muestrales y comprobación de consistencia de los datos, el análisis estructural para la continuidad espacial de la variable, así como la predicción para la estimación de la variable en los sitios no muestrales (Fuenzalida, 2015, p. 91). Posterior a la interpolación, se tomaron en cuenta los resultados del análisis de tendencia y el valor de la media, este último debe ser cercano a cero para tener la mejor correlación.

El siguiente paso consistió en generar rangos para normalizar los datos. Este proceso consistió en calcular la desviación estándar de las tasas y promedios, y después se relacionó con los resultados de la interpolación, de esta manera, ambos resultados se utilizaron para normalizar los datos a través de rangos iguales, donde 1 es muy baja presión urbana sobre ANP y 5 muy alta presión

urbana sobre ANP. Adicional a la definición de los rangos se aplicó la prueba condicional SI para que cada zona metropolitana cuente con el rango que le corresponda.

Una vez obtenida la base normalizada, se aplicó una prueba de fiabilidad, y con el resultado fue necesario prescindir de la tasa de superficie urbana dispersa y de la expansión urbana. Por lo tanto, con el resto de los cinco indicadores se obtuvo un coeficiente de Cronbach de 0.714, lo que significa una adecuada fiabilidad y, por ende, fueron los que se integraron en la definición del índice. Es importante señalar que los indicadores eliminados fueron utilizados en la discusión, por lo mismo, seguirán siendo parte del presente trabajo.

A la nueva base de datos normalizada se aplicó una reducción de factores a través del análisis de componentes principales, proceso que generó varianza acumulada= 82.85%, KMO= 0.615, y Bartlett= 73.16, asimismo, se obtuvieron tres componentes, y con el primer factor se definieron nuevamente rangos del 1 al 5. Después, a la base de datos con el rango final se elaboró una capa de puntos en formato vectorial, donde cada punto corresponde al centro de la zona metropolitana y contiene el rango del 1 al 5. Finalmente, con esa información se generó y diseñó el mapa de presión urbana sobre ANP.

4. Resultados

En el periodo 2010 a 2020 la población urbana de todas las zonas metropolitanas aumentó en 11 millones de habitantes aproximadamente. El número de zonas metropolitanas grandes presentaron un incremento considerable (Tabla 1), y la población urbana de esas zonas equivale al 43% del total del país (126,014,024), aunque al sumar la población de las zonas medianas y pequeñas esa cifra aumentó a 63%. Lo anterior se refleja en el crecimiento de la superficie urbana

Tabla 1. Población y superficie urbana por tamaño de zona metropolitana

Tamaño de zona metropolitana*	Número de zonas metropolitanas**		Población urbana		Superficie urbana (km²)		Superficie urbana dispersa (km²)	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Grandes	11	17	41,424,716	54,426,786	6351.6	8396.8	439.6	644.7
Medianas	22	19	16,462,922	14,845,770	3516.6	3152.4	273.2	257.4
Pequeñas	41	38	11,215,361	10,885,321	2632.7	2505.7	248.1	369.5
Total	74	74	69,102,999	80,157,877	12500.9	14054.9	960.8	1271.6

Fuente: elaboración propia.

* Zonas metropolitanas: Grandes = mayor a 1 millón de habitantes, Medianas = entre 500,000 y 999,999 habitantes, Pequeñas = entre 100,000 y 499,999 habitantes.

** Las 74 zonas metropolitanas del año 2020 se consideraron en el 2010, aunque algunas eran conurbaciones fue necesario para homologar información.

construida y la superficie urbana dispersa, donde las zonas metropolitanas grandes duplicaron y triplicaron la cantidad respecto a las zonas medianas y pequeñas.

Por otro lado, existe la intrínseca relación entre ANP y el aumento de zonas metropolitanas (Tabla 2), donde 67 de las 74 zonas metropolitanas involucran ANP, sea por su proximidad o invasión de suelo de protección. Asimismo, el 38% de las zonas metropolitanas involucran dos y nueve ANP, al respecto sobresalen zonas metropolitanas grandes de la sección central de México (Pacífico-Golfo de México). Por su parte, la distancia entre zona metropolitana y ANP oscila en ± 9.3 km, además, 37 zonas metropolitanas invadieron 38 ANP-FED y 150 ANP-EMECP.

Tabla 2. Distancia entre superficie urbana de zonas metropolitanas y ANP

<i>Tamaño de zona metropolitana*</i>	<i>Número de zonas metropolitanas**</i>		<i>Promedio de distancia, superficie urbana y ANP (km)</i>		<i>Promedio de la cantidad de ANP</i>	
	<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>
Grandes	11	17	6.4	5.1	15.8	20.1
Medianas	22	19	10	8.6	6.5	8.1
Pequeñas	41	38	6.3	6.2	2.6	3.3

Fuente: elaboración propia.

* Zonas metropolitanas: Grandes = mayor a 1 millón de habitantes, Medianas = entre 500,000 y 999,999 habitantes, Pequeñas = entre 100,000 y 499,999 habitantes.

** Las 74 zonas metropolitanas del año 2020 se consideraron en el 2010, aunque algunas eran conurbaciones fue necesario para homologar información.

En la especificidad de los resultados, se identificaron 18 zonas metropolitanas (nueve grandes, siete medianas y dos pequeñas) con tasa de crecimiento poblacional igual o superior al 2%, y tasa de crecimiento de superficie urbana y superficie urbana dispersa del 2% y 2.2% respectivamente. En zonas metropolitanas grandes el promedio de la densidad media urbana fue de 82.9 hab/ha, en las medianas de 72.9 hab/ha, y en las pequeñas de 59.2 hab/ha. En lo que respecta a la expansión urbana, 26 zonas metropolitanas presentan valores positivos (una zona metropolitana grande, tres medianas y 22 pequeñas), lo que significa que presentan expansión, mientras que las 48 zonas restantes tuvieron valores negativos, lo que implica urbes compactas, aunque de éstas últimas zonas se identificaron 17 con valores próximos a ser positivos. Por otro lado, la cantidad promedio de ANP es de 12.5 en zonas metropolitanas grandes, 9.7 en medianas y 5.2 en pequeñas, esto contrasta con el promedio de la distancia urbana y las ANP, la cual es de 8.6 km en zonas metropolitanas grandes, 9.1 km en medianas y 10.4 km en pequeñas. En suma, conforme aumenta la superficie urbana también aumenta el suelo de protección, por ende, disminuye la distancia respecto a las ANP.

4.1 Presión urbana de zonas metropolitanas sobre ANP

En la construcción del índice de presión urbana sobre ANP, se identificaron patrones entre indicadores que representan la confiabilidad de los datos, pues se observó una adecuada correlación espacial expresada por el valor medio próximo a cero, mientras que la distribución de los datos se presentó, en lo general, de manera óptima, con excepción de la superficie urbana dispersa (Figura 5).

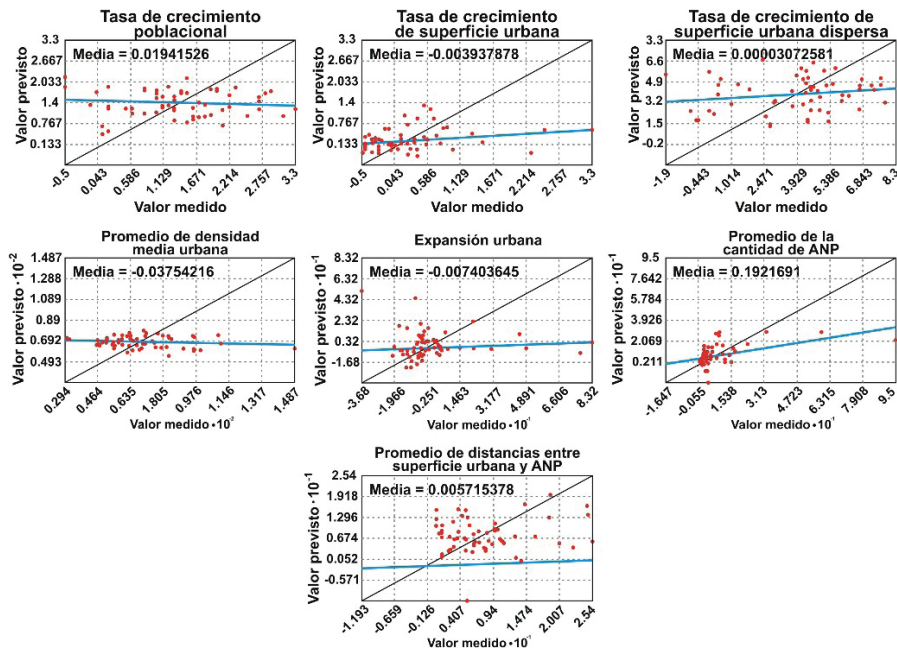


Figura 5. Correlación de tasas y promedios para incluir en la interpolación.

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la interpolación de las tasas y promedios demostró que la relación entre crecimiento poblacional y superficie urbana es directamente proporcional al resto de los indicadores, además, destaca el centro del país con la mayor concentración de ANP, y la menor distancia entre superficie urbana y ANP (Figura 6). Existe una sutil relación entre superficie urbana dispersa y expansión urbana, por lo mismo, no se consideraron en el índice, porque al prescindir de ellos el coeficiente de Cronbach en la prueba de fiabilidad fue adecuado (0.714).

Con base en lo anterior, en la Tabla 3 se observa el nivel de presión urbana sobre ANP que presenta cada una de las zonas metropolitanas; el 40% tiene presión alta y muy alta, el 30% presión media, el 30% presión baja y muy baja. La presión alta y muy alta se presenta en el 71% de zonas metropolitanas grandes, 53% de zonas medianas y 21% de zonas pequeñas. En primera instancia, la mayor presión urbana sobre ANP se lleva a cabo por seis zonas metropolitanas;

Celaya, León, Monterrey, Querétaro, Cancún y Veracruz. En segunda instancia, se encuentran 24 zonas metropolitanas con alta presión urbana donde destacan cuatro zonas por su importante concentración poblacional sea el Valle de México, Guadalajara, Puebla-Tlaxcala y Toluca. Las 30 zonas metropolitanas señaladas se relacionan con 8.5 ANP en promedio y la distancia hacia ANP oscila en ± 10.2 km.

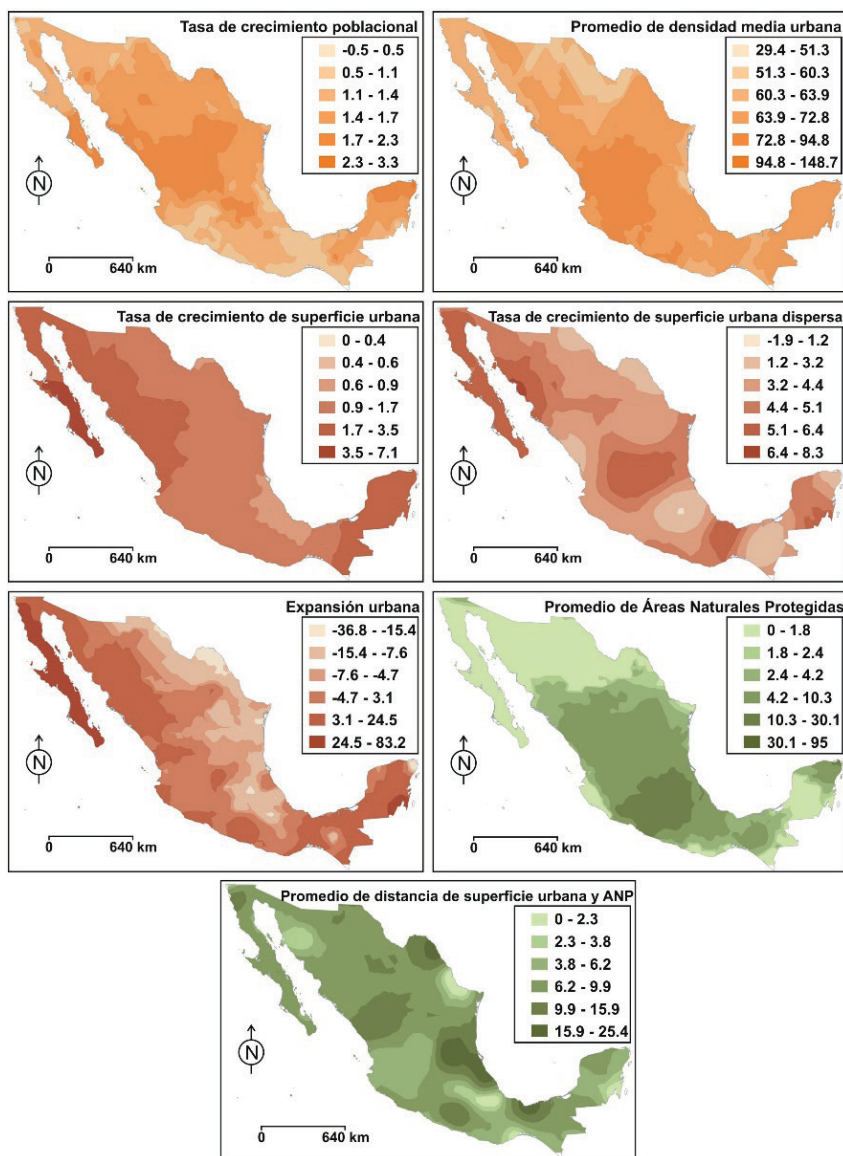


Figura 6. Interpolación de tasas y promedios, 2010-2020.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Nivel de presión urbana sobre ANP en México

<i>N°</i>	<i>Zona metropolitana</i>	<i>NPANP*</i>	<i>N°</i>	<i>Zona metropolitana</i>	<i>NPANP*</i>
1	Aguascalientes	Alta	38	La Paz	Alta
2	Mexicali	Baja	39	Campeche	Media
3	Tijuana	Muy baja	40	Monclova-Frontera	Media
4	La Laguna	Media	41	Piedras Negras	Baja
5	Saltillo	Alta	42	Tecomán	Baja
6	Tuxtla Gutiérrez	Alta	43	Colima-Villa de Álvarez	Media
7	Chihuahua	Baja	44	Tapachula	Alta
8	Juárez	Baja	45	Delicias	Muy baja
9	Valle de México	Alta	46	Hidalgo del Parral	Muy baja
10	Durango	Alta	47	Moroleón-Uriangato	Baja
11	Celaya	Muy alta	48	La Piedad-Pénjamo	Baja
12	León	Muy alta	49	San Francisco del Rincón	Alta
13	Acapulco	Media	50	Guanajuato	Alta
14	Pachuca	Alta	51	Chilpancingo	Media
15	Guadalajara	Alta	52	Tula	Media
16	Toluca	Alta	53	Tulancingo	Media
17	Morelia	Alta	54	Ocotlán	Media
18	Cuernavaca	Media	55	Puerto Vallarta	Alta
19	Monterrey	Muy alta	56	Tianguistenco	Alta
20	Oaxaca	Media	57	Zamora	Muy baja
21	Puebla-Tlaxcala	Alta	58	Cuautla	Media
22	Querétaro	Muy alta	59	Tepic	Media
23	Cancún	Muy alta	60	Tehuantepec	Muy baja
24	San Luis Potosí	Alta	61	Teziutlán	Baja
25	Culiacán	Alta	62	Tehuacán	Media
26	Mazatlán	Media	63	Chetumal	Alta
27	Hermosillo	Alta	64	Ríoverde	Muy baja
28	Villahermosa	Alta	65	Guaymas	Media
29	Matamoros	Baja	66	Nogales	Muy baja
30	Reynosa	Media	67	Nuevo Laredo	Muy baja
31	Tampico	Media	68	Ciudad Victoria	Baja
32	Tlaxcala-Apizaco	Media	69	Acayucan	Baja
33	Poza Rica	Baja	70	Córdoba	Media
34	Veracruz	Muy alta	71	Orizaba	Media
35	Xalapa	Alta	72	Coatzacoalcas	Baja
36	Mérida	Alta	73	Minatitlán	Muy baja
37	Ensenada	Media	74	Zacatecas-Guadalupe	Alta

Fuente: elaboración propia. *NPANP = Nivel de presión urbana sobre ANP.

En la Figura 7 se observa que la mayor presión urbana sobre ANP se concentra en el sector central de México, donde se distinguen 21 zonas metropolitanas: nueve grandes (Aguascalientes, Valle de México, León, Guadalajara, Toluca, Cuernavaca, Puebla-Tlaxcala, Querétaro y San Luis Potosí), seis medianas (Celaya, Pachuca, Morelia, Tlaxcala-Apizaco, Veracruz y Xalapa) y cinco pequeñas (San Francisco del Rincón, Guanajuato, Puerto Vallarta, Tepic y Colima-Villa de Álvarez). Estas zonas metropolitanas suman 45,188766 habitantes, 6522 km² de superficie urbana y ejercen presión sobre un aproximado de 53 ANP-FED y 225 ANP-EMECP.

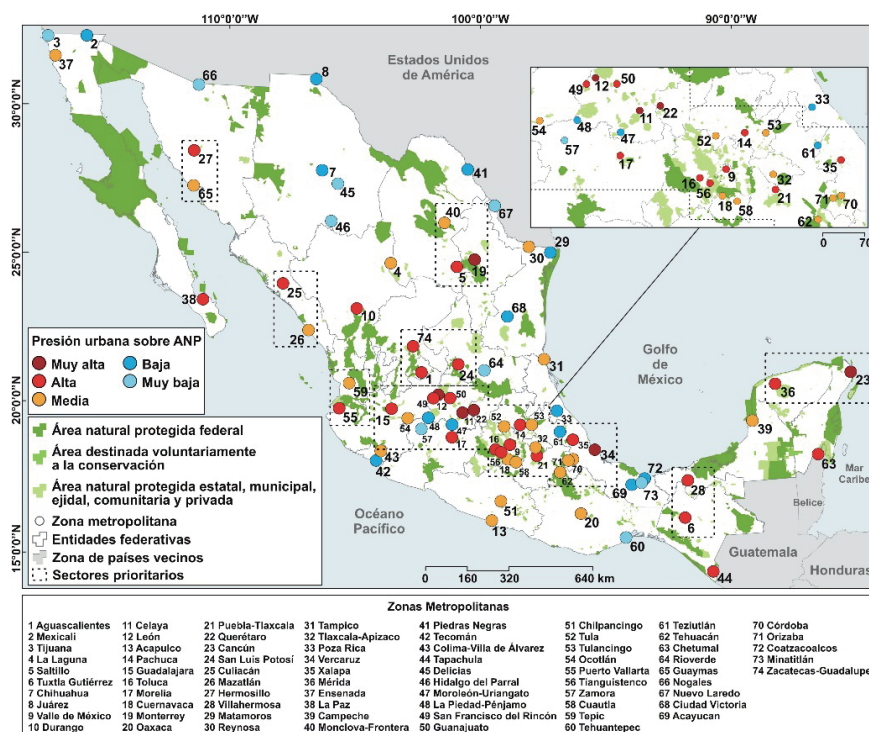


Figura 7. Distribución espacial de la presión urbana sobre ANP en México.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se distinguen siete zonas metropolitanas en el sector norte del país, tres grandes (Saltillo, Monterrey y Culiacán), dos medianas (Durango y Hermosillo) y dos pequeñas (La Paz y Zacatecas-Guadalupe), las cuales suman 9,698,972 habitantes, 1906 km² de superficie urbana y ejercen presión sobre 14 ANP-FED y 39 ANP-EMECP. Por último, se observan seis zonas metropolitanas en el sector sur, una grande (Mérida), tres medianas (Tuxtla Gutiérrez, Cancún, Villahermosa) y dos pequeñas (Tapachula y Chetumal), y suman 4,519,812 habitantes, 972 km² de superficie urbana y presionan a 23 ANP-FED y 37 ANP-EMECP.

5. Discusión

A partir de los resultados expuestos, el indicador con mayor influencia fue el crecimiento de superficie urbana, seguido de crecimiento poblacional y la distancia sobre suelo de protección. En este contexto, la distancia entre superficie urbana y ANP osciló en ± 10.2 km, pero solo en cinco años la superficie urbana dispersa superó los 7 km. Además, las zonas metropolitanas medianas y grandes aumentaron en población y superficie de forma acelerada en 10 años, y más de la mitad de esas zonas invadieron ANP, eso propició el incremento de suelo protegido y la sobreprotección de suelo susceptible, aun así, la protección de suelo es rebasado por la velocidad de la urbanización. Por lo tanto, esta situación lleva a repensar en intereses asociados, ya que el discurso de proteger para mantener y preservar cambia en la práctica, pues con frecuencia se considera a las ANP o posible suelo de protección como capital natural de plusvalía en el mercado urbano-ambiental, por lo mismo, la naturaleza que actúa como traspatio urbano es rentable y respalda la necesidad de protegerla (Tesfaw *et al.*, 2018).

Con base en lo anterior, el sector central de México presentó la mayor presión urbana sobre ANP, ya que se identificaron más de 50 ANP afectadas directa e indirectamente por zonas metropolitanas, este resultado es complementario al hallazgo de Arriola-Padilla *et al.* (2014), los cuales identificaron 30 ANP susceptibles en este sector central. Por su parte, se identificaron grupos de zonas metropolitanas que sobresalen por la intensidad de la presión, en primera instancia está el grupo de zonas metropolitanas que se relacionan con el Valle de México, seguido del grupo de zonas que acompañan a Puebla y Veracruz, y después el grupo entre Querétaro y León, ya que en estos grupos se comparte la acelerada construcción de vivienda, cambio de uso de suelo y la industrialización. Por otro lado, los resultados también suman al trabajo De la Mora-De la Mora (2020), no solo al corroborar la influencia de las zonas metropolitanas grandes sobre ANP, sino también la situación de zonas metropolitanas pequeñas y medianas, pues al tratar de ser competitivas forman polos de atracción poblacional y propicia una paradoja por disminuir y aumentar el suelo de protección según su utilidad en el espacio urbano.

En lo que respecta a las zonas metropolitanas medianas, cabe decir que 13 de las 19 contabilizadas al año 2020 están en el rango de 700,000 a 999,999 habitantes e incrementaron la superficie urbana entre 30% y 50%, esta situación implicaría que en los próximos cinco años podrían igualar o superar el millón de habitantes, sean las zonas de Tuxtla Gutiérrez, Chihuahua, Celaya, Acapulco, Morelia, Oaxaca, Cancún, Villahermosa, Hermosillo, Reynosa, Tampico, Veracruz y Xalapa. Además, 10 de estas zonas metropolitanas se encuentran en los niveles de alta y muy alta presión urbana sobre ANP, por lo mismo, se podría decir que se acentuaría la presión y continuará el decretó de nuevas ANP, en otras palabras, se mantendrá el ciclo de: discurso-urbanizar-protéger-intereses-discurso.

Por otro lado, se identificó que la periferia urbana de las zonas metropolitanas son un tema importante respecto a las ANP, ya que su dinámica cambiante es un aliciente de presión urbana. Esta consideración no solo deriva de los resultados de la expansión urbana (26 zonas metropolitanas consideradas expansivas y 17 con valores cercanos a la expansión), sino que durante el trabajo en el SIG se pudo observar que el 80% de las zonas metropolitanas manifiestan alguna tendencia a la expansión promovida por fragmentos urbanos dispersos que propicia la ampliación de la periferia urbana (especialmente por vivienda y parques industriales) y reduce la distancia o invade las ANP. Este fenómeno se adhiere a los hallazgos de algunas investigaciones que mencionan la importancia de estudiar espacios periurbanos y los efectos negativos en las ANP, sea con el fin de mejorar interacciones de regulación, vigilancia, así como daños ambientales y colaterales de índole social, económico y cultural (Borck & Pflüger, 2019; Tlapa-Almonte *et al.*, 2020; De la Mora-Dela Mora, 2020; Errejón-Gómez & Ortega-Rubio, 2020).

De manera alterna es importante mencionar que el presente trabajo no contempló ANP marinas, ya que requiere de métodos diferentes debido a las propias características de esas áreas, no obstante, se identificaron zonas metropolitanas que, además de estar vinculadas con presión media a muy alta sobre ANP terrestres y de aguas continentales, pudieran afectar áreas de protección marina dada su cercanía, sea el caso de las zonas metropolitanas de Acapulco, Cancún, Culiacán, Mazatlán, Colima, Tampico, Veracruz, Chetumal, Campeche y Mérida.

Por otro lado, el presente índice de presión urbana aporta el involucramiento de zonas metropolitanas y ANP, así como variables de índole espacial y censales que, en suma, no se distingue en trabajos científicos actuales. Al respecto, un punto a considerar en el presente trabajo fue la temporalidad de la información, pues se tenía la intención de incluir datos derivados de imágenes de satélite (datos actuales por días o meses), pero no fue posible alinear ese tipo de datos con la información censal, ya que esta última involucra largos periodos de tiempo para generarla y actualizarla. A pesar de esa situación, el índice permite identificar la complejidad del fenómeno de manera rápida y sencilla sin restar rigurosidad científica, a la vez que puede ser replicable y adaptable según los lugares.

Finalmente, los presentes hallazgos brindan información para apoyar estrategias y políticas públicas en manejo y gestión de ANP, donde la escala nacional facilita la toma de decisiones al espacializar la distribución del fenómeno. Por lo tanto, justifican lo señalado por Oropeza (2019) y De la Mora-De la Mora & López-Miguel (2022) respecto a la importancia de generar datos y zonificar la dinámica urbana y ANP, también contribuyen al planteamiento de Mendoza Durán & Thompson (2018) al distinguir sectores con ANP susceptibles a la urbanización para propiciar opciones de gobernanza a multinivel y reducir la participación de actores de poder.

6. Conclusiones

El presente trabajo generó un índice para identificar el nivel de presión urbana sobre ANP, el cual se construyó con cinco indicadores: tasa de crecimiento poblacional, tasa de crecimiento de superficie urbana, densidad media urbana, cantidad de ANP susceptibles y la distancia entre superficie urbana y ANP. De esta forma, en México 30 de las 74 zonas metropolitanas tienen alta y muy alta presión urbana, se relacionan con 8.5 ANP y la distancia respecto al suelo protegido oscila en ± 10.2 km. Por su parte, el sector central de México (Pacífico-Golfo de México) concentra la mayor presión sobre ANP (53 ANP-FED y 225 ANP-EMECP) ejercida por nueve zonas metropolitanas grandes, seis medianas y cuatro pequeñas.

Por último, cabe decir que el uso de tecnologías espaciales facilitó la manera de responder al objetivo y la representación del fenómeno al detectar sitios que requieren de mayor intervención del Estado, y también permite actualizar los datos. Por lo tanto, los hallazgos pueden acompañar la toma de decisiones para mantener la función de protección y beneficios ambientales de las ANP, por ende, podría considerarse en temas de manejo de recursos hídricos, regulación de temperatura, biodiversidad, servicios ecosistémicos y cambios culturales.

Bibliografía

- Aguilar-Tomasini, M. A.; Escalante, T. & Farfán, M. (2020). Effectiveness of natural protected areas for preventing land use and land cover changes of the Transmexican Volcanic Belt, Mexico. *Regional Environmental Change*, 20(84), 1-9 <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01660-3>
- Álvarez Malvido, M.; Lázaro, C.; De Lamo, X.; Juffe-Bignoli, D.; Cao, R.; Bueno, P.... & Guerra, F. (eds.) (2021). *Informe Planeta Protegido 2020: Latinoamérica y el Caribe*. Ciudad de México, México, Cambridge UK, Gland, Switzerland, Bogotá, Colombia: RedParques, UNEP-WCMC, CMAP-UICN, WWF, CONANP y Proyecto IAPA. <https://www.iucn.org/es/news/areas-protegidas/202104/informe-planeta-protegido-2020-latinoamerica-y-el-caribe>
- Anaya, F. & Espíritu-Santo, M. (2018). Protected areas and territorial exclusion of traditional communities: analyzing the social impacts of environmental compensation strategies Brazil. *Ecology & Society*, 23(1), 8. <https://doi.org/10.5751/ES-09850-230108>
- Arriola-Padilla, V.; Estrata-Martínez, E.; Ortega-Rubio, A.; Pérez-Miranda, R. & Gijón-Hernández, A. (2014). Deterioro de las áreas naturales protegidas del centro de México y del Eje Neovolcánico Transversal. *Investigación y Ciencia*, 22(60), 37-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160005>
- Borck, R. & Pflüger, M. (2019). Green cities? Urbanization, trade, and the environment. *Journal of Regional Science*, 59, 743-766. <https://doi.org/10.1111/jors.12423>
- Brezzi, M. & Veneri, P. (2015). Assessing polycentric urban systems in the OECD: Country, regional and metropolitan perspectives. *European Planning Studies*, 23(6), 1128-1145. <https://doi.org/10.1080/09654313.2014.905005>
- Calderón, C. R. (2016). El rol de las áreas naturales periurbanas para la resiliencia al cambio climático de las metrópolis: El caso de la ciudad de México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 25, 69-79.

- Castillo-Oropeza, O. (2019). Hacia una ecología política latinoamericana del desastre urbano: Algunos apuntes para su discusión. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 25, e014. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.25-014>
- Castro-Prieto, J.; Martinuzzi, S.; Radeloff, V.; Helmers, D.; Quiñones, M. & Gould, W. (2017). Declining human population but increasing residential development around protected areas in Puerto Rico. *Biological Conservation*, 209, 473-481. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.037>
- Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., ... & Biggs, D. (2020). Deforestation in Colombian Protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, 10:4971. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2010a). *Datos espaciales de áreas naturales protegidas. México*, D.F.: CONABIO. <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga> (último acceso 15 marzo 2023).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010b). Base de datos geográfica de áreas naturales protegidas estatales y del Distrito Federal. México, D.F.: CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/anpe09gw.xml?_xsl=/db/metadata/xsl/fgcd_html.xsl&_indent=no (último acceso 15 marzo 2023).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2020a). Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020-2024. CDMX: CONANP. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-nacional-de-areas-naturales-protegidas-2020-2024> (último acceso 5 marzo 2023).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2020b). Información espacial de áreas naturales protegidas. CDMX: CONANP. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm (último acceso 15 marzo 2023).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2020c). Información espacial de áreas naturales protegidas estatales, municipales, ejidales, comunitarias y privadas de México 2020. CDMX: CONABIO. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadata/doc/html/anpest20gw.html> (último acceso 15 marzo 2023).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2020d). Datos espaciales de áreas destinadas voluntariamente a la conservación. CDMX: CONANP. <http://sig.conanp.gob.mx/website/interactivo/advcl/> (último acceso 15 marzo 2023).
- De la Mora-De la Mora, G. (2020). *Gobernanza ambiental: conservación de áreas naturales protegidas urbanas y servicios ambientales. El caso de los sistemas de Guadalajara y Monterrey*, México. 1a ed. CDMX: CRIM-UNAM
- De la Mora-De la Mora, G. & López-Miguel, C. (2022). Challenges in the management of urban natural protected area systems and the conservation of ecosystem services in Guadalajara and Monterrey, Mexico. *Land Use Policy*, 114, 105987. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105987>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2022). Decreto que reforma diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 11 de abril de 2022. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf> (último acceso 28 enero 2023).
- Dudley, N. (ed.) (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/paps-016-es.pdf>

- Economic and Social Research Institute (ESRI) (2013). Software Arcgis, versión 10.0, Nueva York: ESRI.
- Errejón-Gómez, J.C. & Ortega-Rubio, A. (2020). Uncontrolled Urban Growth: The Crisis of Protected Natural Areas Near Cities in Mexico. En: A. Ortega-Rubio (ed.) *Socio-ecological Studies in Natural Protected Areas* (109-119). Switzerland: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47264-1_7
- Fonseka, H. P. U.; Zhang, H.; Sun, Y.; Su, H.; Lin, H. & Lin, Y. (2019). Urbanization and its impacts on land Surface temperature in Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, from 1988 to 2016. *Remote Sensing*, 11, 957. <https://doi.org/10.3390/rs11080957>
- Fuenzalida, M. (2015). Interpolación espacial con sistemas de información geográfica. En: M. Fuenzalida, G. Buzai, A. Moreno Jiménez & A. García de León Loza (eds.), *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones* (86-98), Santiago de Chile: Editorial Triángulo.
- Girault, C. (2017). Between naturalness and urbanity, how are protected areas integrated into cities? The case of Helsinki (Finland). *Journal of Urban Research*, 16, [online]. <https://doi.org/10.4000/articulo.3270>
- Gobierno de México (2019). *Estrategia Nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030. Objetivos de Desarrollo Sostenible*. CDMX: Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agenda2030/documentos/estrategia-nacional-de-la-implementacion-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible-en-mexico>
- Halkos, G., Leonti, A. & Sardianou, E. (2020). Assessing the preservation of parks and natural protected areas: A review of contingent valuation studies. *Sustainability*, 12(11), 4784. <https://dx.doi.org/10.3390/su12114784>
- Harris, M., Cave, C., Foley, K., Bolger, T. & Hochstrasser, T. (2019). Urbanization of protected areas within the European Union-An Analysis of UNESCO biospheres and the need for new strategies. *Sustainability*, 11(21), 5899. <https://dx.doi.org/10.3390/su11215899>
- Hernández-Guerrero, J. (2015). Valoración visual de la calidad ambiental del área urbana de Querétaro, México: la compleja sencillez de valorar el entorno urbano. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61, 45-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000200004>
- Hernández-Rivera, M. & Torres-Hernández, L. (2015). Análisis de dos áreas naturales protegidas en la relación con el crecimiento del Área Metropolitana de Xalapa, Veracruz. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 87, 51-61. <https://dx.doi.org/10.14350/rig.39077>
- Holmes, G. (2015). Markets, nature, neoliberalism and conservation through private protected areas in southern Chile. *Environmental and Planning A*, 47(4), 850-866. <https://doi.org/10.1068/a140194p>
- Hummel, Ch.; Poursanidis, D.; Orenstein, D.; Elliot, M.; Adamescu, M.; Cazacu, C.,... & Hummel, H. (2019). Protected area management: Fusion and confusion with the ecosystem services approach. *Science of the Total Environment*, 651, 2432-2443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.033>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010a). Marco Geoestadístico 2010, versión 5.0. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825292812> (último acceso 3 abril 2023)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010b). Censo de población y vivienda 2010. Principales resultados por AGEB y manzana urbana. Aguascalientes: INEGI.

- https://en.www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#open_data (último acceso 3 abril 2023).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020). Censo de población y vivienda 2020. Principales resultados por AGEB y manzana urbana. Aguascalientes: INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos (último acceso 3 abril 2023)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021). Marco Geoestadístico 2021. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas> (último acceso 3 abril 2023)
- Jiao, L.; Liu, J.; Xu, G.; Dong, T.; Gu, Y.; Zhang, B.; Liu, Y. & Liu X. (2018). Proximity expansion index in improved approach to characterize evolution process of urban expansion. *Computer, Environment and Urban Systems*, 70, 102-112, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.02.005>
- Kopnina, H. (2017). Commodification of natural resources and forest ecosystem services: Examining implications for forest protection. *Environmental Conservation*, 44(1), 24-33. <https://doi.org/10.1017/S0376892916000436>
- Leisher, C.; Touval, J.; Hess, S.; Boucher, T. & Reymondin, L. (2013). Land and forest degradation inside protected areas in Latin America. *Diversity*, 5, 779-795. <https://doi.org/10.3390/d5040779>
- Maldonado-Ibarra, O.; Chávez-Dagostino, R. & Bravo-Olivas, M. (2020). Áreas naturales protegidas y participación social en América Latina: problemas y estrategias para lograr la integración comunitaria. *Región y Sociedad*, 32, e1277. <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v32/1870-3925-regsoc-32-e1277.pdf>
- McDonald, R.; Forman, T.; Kareiva, P.; Neugarten, R.; Salzer, D. & Fisher, J. (2009). Urban effects, distance, and protected areas in an urbanizing world. *Landscape and Urban Planning*, 93, 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.06.002>
- McNeill, J. (2003). Observations on the Nature and Culture of Environmental History. *History and Theory*, 42(4), 5-43. <https://doi.org/10.1046/j.1468-2303.2003.00255.x>
- Mendoza Durán, A. & Thompson, D. (2018). Governance and management of protected areas in Canada and Mexico. En: I. Demirag (ed.), *Corporate social responsibility, accountability and governance* (198-215). London & New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Merlín-Urbe, Y., Contreras-Hernández, A., Astier-Calderón, M., Jensen, O., Zaragoza, R. & Zambrano, L. (2013). Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(3), 398-411. <https://dx.doi.org/10.1080/09640568.2012.683686>
- Novillo, R. (2018). Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe. Letras Verdes. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 24, 124-142. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3323>
- Pfaff, A.; Santiago-Ávila, F. & Joppa, L. (2017). Evolving protected-area impacts in Mexico: Political shifts as suggested by impacts evaluations. *Forest*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.3390/f8010017>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2021). *El peso de las ciudades en América Latina y el Caribe: requerimientos futuros de recursos y potenciales rutas de actuación*. Panamá: PNUMA.

- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (UN-Habitat) (2018). Informe CPI Extendido. Aglomeración urbana de la Ciudad de México. México: INFONAVIT/SEDATU/UN-Habitat.
- Quimbayo, R. (2020). Territory, sustainability, and beyond: Latin American urbanization through a political ecology. *Environmental and Planning E: Nature and Space*, 3(3), 786-809. <https://doi.org/10.1177/2514848619887933>
- Sahagún-Sánchez, F. & Reyes-Hernández, H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental*, México. Ciencia UAT, 12(2), 6-21.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) & Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2018). Sistema Urbano Nacional 2018. CDMX: SEDATU/CONAPO.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), Consejo Nacional de Población (CONAPO) & Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015*. CDMX: SEDATU/CONAPO/INEGI.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) & Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2012). *Sistema Urbano Nacional, 2012*. México, D.F.: SEDESOL/CONAPO.
- Tesfaw, A.; Pfaff, A.; Golden-Kroner, R.; Qin, S.; Medeiros, R. & Mascia, M. (2018). Land-use and land-cover change shape the sustainability and impacts of protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2084-2089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716462115>
- Tlapa-Almonte, M., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., Ramírez-Valverde, B., Cervantes-Gutiérrez, V. & Cruz-Bello, G. (2020). Factores del deterioro de las áreas naturales protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(1), 51-82. <https://dx.doi.org/10.24201/edu.v35i1.1828>
- Treviño, J. (2018). Medición de la expansión urbana en México entre los años 2000 y 2010. *Urbana*, 19, 84-113.
- United Nations (2015). The millennium development goals report, 2015. New York: United Nations. [https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf)
- United Nations (2021). *The sustainable development goals report, 2021*. New York: United Nations. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021.pdf>
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2020). Urbanization and cities: Trends of a new global force. En *World cities report 2020. The Value of sustainable urbanization* (1-42), Nairobi, Kenya: Earthscan Publications Ltd. <https://doi.org/10.18356/27bc31a5-en>
- World Bank (2020). *Urban Development*. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>