

# Un estudio de desacoplamiento económico y áreas verdes urbanas en 305 municipios mexicanos

## A study of economic decoupling and urban green areas in 305 mexican municipalities

Flores-Xolocotzi, Ramiro

 Ramiro Flores-Xolocotzi <sup>1</sup>

pinos42@hotmail.com

Unión de Investigadores para la Sustentabilidad,  
México

### DECUMANUS. REVISTA INTERDISCIPLINARIA SOBRE ESTUDIOS URBANOS.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

ISSN: 2448-900X

ISSN-e: 2448-900X

Periodicidad: Semestral

vol. 11, núm. 11, 2023

decumanus@uacj.mx

Recepción: 28 Agosto 2023

Corregido: 18 Octubre 2023

Publicación: 31 Octubre 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/651/6514611004/>

DOI: <https://doi.org/10.20983/decumanus.2023.2.4>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

**Resumen:** Se realizó una investigación con datos transversales para probar si en 305 municipios mexicanos existe desacoplamiento económico que sustente la hipótesis de curva ambiental de Kuznets entre áreas verdes urbanas con una medida de ingreso per cápita y con el Índice de Desarrollo Humano (IDH) junto con sus respectivos términos cuadráticos. Para ello, se establecieron dos modelos: un modelo de porcentaje de áreas verdes y un modelo de áreas verdes per cápita.

Se realizaron regresiones múltiples teniendo variables control en ambos modelos: densidad poblacional y su término cuadrático, precipitación pluvial, e interacción ingreso o IDH con densidad. Además, en el primer modelo de porcentaje de áreas verdes se añadió como variable control la superficie municipal y en el segundo se añadió como variable control el área verde per cápita municipal.

Los resultados no presentan evidencia estadística de desacoplamiento ni de curva ambiental de Kuznets entre las variables dependientes de área verde con los indicadores económicos (ingreso per cápita e IDH respectivamente). Asimismo, los dos modelos que emplearon como variable económica al IDH tuvieron una curva inversa de U con la densidad poblacional. Para provisión de bienes esto indica que después del punto de inflexión un incremento en la densidad municipal provoca una disminución de porcentaje de áreas verdes y de áreas verdes per cápita respectivamente.

Si bien los estudios transversales de curva ambiental de Kuznets no son comunes, la bibliografía reporta que son válidos en casos donde la existencia de un bien ambiental no cambie aprisa, como es el caso de áreas verdes. Aunque los puntos de inflexión estimados deben ser tomados con precaución. Futuras investigaciones deberán contar con más municipalidades y más años para corroborar y en su caso mejorar los resultados obtenidos, particularmente sobre puntos de inflexión.

**Palabras clave:** ciudades, curva ambiental de Kuznets, índice de desarrollo humano, planeación urbana.

**Abstract:** This research uses cross-sectional data to prove whether in 305 Mexican municipalities, there is economic decoupling that supports the Kuznets environmental curve hypothesis between urban green areas with a measure of per capita income and with the Human Development Index (HDI) together with its respective quadratic terms. For this, two models

are estimated: a percentage model of green areas and a model of green areas per capita. Multiple regressions were estimated with the following control variables in both models: population density and its quadratic term, rainfall, and income or HDI interaction with density. Furthermore, in the first model of the percentage of green areas, the municipal area was added as a variable control and in the second, the municipal green area per capita was added as a variable control. The results do not present statistical evidence of decoupling or an environmental Kuznets curve between the dependent variables of the green area with the economic indicators (per capita income and HDI respectively). Furthermore, the two models that used the HDI as an economic variable had an inverse U curve with population density. For the provision of goods, this indicates that after the turning point, an increase in municipal density causes a decrease in the percentage of green areas and green per capita respectively. Although cross-sectional environmental Kuznets curve studies are not common, the literature reports that they are valid in cases where the existence of an environmental good does not change as quickly as is the case of green areas. However, the estimated turning points should be taken with caution. Future research should include more municipalities and more years to corroborate and improve the results obtained, particularly about turning points.

**Keywords:** cities, environmental Kuznets curve, human development index, urban planning.

## INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas (AVU) cumplen diversas funciones ambientales (provisión de oxígeno, biodiversidad y captura carbono), sociales (recreación, convivencia), salud, estéticas, entre otras (Reyes, 2023; Wajchman-Świtalska *et al.*, 2023). Las AVU a las que hace referencia esta investigación comprenden parques, jardines y también bosques urbanos (por lo que no incluye solo propiedad pública) (Organización de las Naciones Unidas-Hábitat [ONU-Hábitat], 2018a, 2018b).

Con fines de planeación urbana, la literatura hispanoamericana sobre AVU cita criterios de presencia de parques y jardines vecinales y otras áreas verdes recreativas (Ojeda-Revah, 2021). Además de valores o indicadores de superficie verde per cápita ciudadana (Fernández-Álvarez, 2017). Por ejemplo, valores que se sugieren bajo un enfoque de desarrollo sustentable (Morales-Gallegos *et al.*, 2021; Muñoz-Márquez e Hidalgo-Contreras, 2022) y que varios de ellos se han tomado como recomendación generalizada para el bienestar ciudadano de las ciudades.<sup>2</sup>

---

## NOTAS DE AUTOR

- 1 Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestro en Ciencias Forestales por el Colegio de Posgraduados y Doctor en Ciencias Forestales en el mismo Colegio, ambos en el área de economía y manejo de recursos naturales. Posteriormente, realizó una estancia posdoctoral sobre Estudios Urbanos en el Programa de Estudios Urbanos y Medio Ambiente del Colegio Mexiquense. Cuenta con publicaciones, las cuales incluyen el desarrollo de un modelo nacional de política económica sobre cambios de uso de suelo. Así como diversos trabajos en temas urbanos. Ha sido Profesor de postgrado y licenciatura en temas de desarrollo regional, desarrollo urbano, economía y estadística en El Instituto Mora y la Universidad La Salle. También ha sido Profesor-Investigador de tiempo completo en el Colegio del Estado de Hidalgo y Colegio de Tlaxcala. Ha trabajado como Funcionario Público en SEMARNAP, SEMARNAT y CONAFOR realizando labores técnicas y de análisis en las áreas de manejo forestal comunitario y sistemas de información forestal. Además, es Consultor/Asesor en proyectos de urbanismo, manejo forestal, impacto ambiental, ordenamientos ecológicos y evaluación de programas de servicios ambientales en la Unión de Investigadores para la Sustentabilidad S.A.S.

Por otra parte, se ha relacionado a las áreas verdes con variables de tipo sociodemográfico (población, educación, necesidades recreativas), de urbanización (densidad poblacional), variables climáticas (temperatura y precipitación), además de variables de tipo económico y financiero (Shimamoto, 2019; Attrup *et al.*, 2023). De estas últimas, se ha relacionado la presencia de AVU con el crecimiento económico medido a través de indicadores de ingreso como el Producto Interno Bruto per cápita (PIB) u otros indicadores de bienestar económico como el ingreso del hogar y el Índice de Desarrollo humano (IDH) (Zhu y Zhang, 2006; Chen y Wang, 2013; Attrup *et al.*, 2023). Sobre el IDH, este es una medida de bienestar económico propuesto por Amartya Sen y Mahbub u-Haq en 1990 (Rosales, 2017; Higueta-Gutiérrez y Cardona-Arias, 2018).

De manera general, el IDH se estima a partir de la medición e integración de tres factores que de acuerdo con Amartya Sen (Universidad Autónoma Chapingo [UACH], 2022; 2023) son fundamentales para la vida de las personas, estos son: esperanza de vida, educación e ingreso per cápita.

Al respecto de la relación entre provisión de áreas verdes urbanas o AVU y su relación con el crecimiento y bienestar económico, la teoría económica ambiental tiene como supuesto que, llegaría un momento en que ante un mayor crecimiento económico resultaría una menor degradación ambiental a través de un aumento de la calidad ambiental en forma de provisión del bien/servicio ambiental (Zhu y Zhang, 2006; Chen y Wang, 2013). Esta relación se ha denominado desacoplamiento económico y que podría ser un indicador de la posible presencia de una curva ambiental de Kuznets (CAK) (Jiang *et al.*, 2019; Sanyé-Mengual *et al.*, 2019). Dicha CAK adoptaría una forma de U para el caso particular de provisión de bienes públicos ambientales como las áreas verdes urbanas (Zhu y Zhang, 2006; Chen y Wang, 2013).

Sobre áreas verdes están los estudios de Chen y Wang (2013) y Zhu y Zhang (2006), quienes contrastaron económicamente la existencia de desacoplamiento económico como una señal de una CAK en la provisión de AVU de China y Estados Unidos. Destaca el trabajo de Zhu y Zhang (2006) sobre AVU en ciudades estadounidenses, que emplea datos transversales (que cubren solo una anualidad), lo cual actualmente no es común en estudios de desacoplamiento y CAK. Sin embargo, Bimonte (2002), señala que para el caso de variables que miden existencias de recursos como áreas naturales protegidas o áreas verdes urbanas, el porcentaje de estas registra el proceso histórico pasado. De esta forma es probable que las variaciones anuales de la variable sean bastante pequeñas, sin cambios bruscos y con muchos ceros. Por lo que en este tipo de variables se justifica contrastar el desacoplamiento económico e hipótesis de Kuznets empleando datos transversales. En consecuencia, esta investigación retoma el enfoque de Bimonte (2002), sin embargo, bajo esta observación deberán leerse los resultados.

Considerando lo anterior, esta investigación tiene como objetivo: probar mediante análisis de regresión si existe desacoplamiento económico y probable CAK en 305 municipios urbanos de México para el año 2015. Modelando por separado la relación de porcentaje de superficie de área verde urbana y la superficie de área verde urbana per cápita con respecto a un indicador de crecimiento y otro de desarrollo económico junto con sus respectivos términos cuadráticos (Zhu y Zhang, 2006). Teniendo como variables control: densidad poblacional, precipitación pluvial, superficie municipal, e interacción de la densidad con el indicador de crecimiento/desarrollo (Chen y Wang, 2013; Attrup *et al.*, 2023). Para el caso del modelo de superficie de área verde urbana per cápita se sustituye la superficie municipal por la variable superficie verde urbana total.

## 1. MARCO TEÓRICO

El enfoque teórico de desacoplamiento e hipótesis de curva ambiental de Kuznets o CAK se ha aplicado principalmente en estudios que relacionan diversos contaminantes en aire, agua y suelo con crecimiento/desarrollo económico (Zilio y Caraballo, 2014; Naveed *et al.*, 2022). Entendiendo desacoplamiento como el momento en que una economía continúa creciendo mientras que la cantidad de uso de recursos o impacto ambiental negativo empieza a disminuir (Sanyé-Mengual *et al.*, 2019; Vadén *et al.*, 2020). Sin embargo,

autores como Zhu y Zhang (2006) y Cheng y Wang (2013) han extendido la teoría a la provisión de bienes como las áreas verdes, visto así la provisión puede verse como un aumento de la calidad ambiental (Bimonte, 2002).

Para contaminantes, la teoría tiene como hipótesis que llegado cierto nivel de crecimiento económico ocurre un desacoplamiento cuando la degradación ambiental empieza a disminuir. Para contaminación: ante un incremento del primero resulta en un decremento del contaminante, lo cual gráficamente se ve como una curva U inversa (Alkhars *et al.*, 2022; Hipólito y Cardoso, 2022) (Figura 1a). Mientras que, aplicado a la provisión de calidad ambiental (bienes ambientales), el desacoplamiento e hipótesis de CAK implicaría que, a cierto nivel de crecimiento, la degradación disminuye cuando el bien de importancia ambiental empieza a incrementarse después de haber disminuido ante el crecimiento económico. Generando de esta forma una curva en forma de U (Zhu y Zhang, 2006) (Figura 1b).



FIGURA 1A.  
Curva de Kuznets para contaminante  
Fuente: elaboración propia

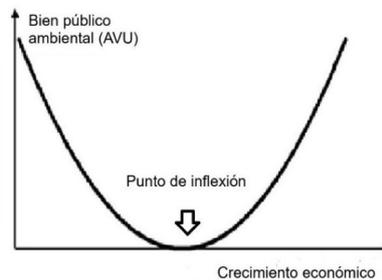


FIGURA 1B.  
Curva de Kuznets para calidad ambiental  
Fuente: elaboración propia

Este enfoque teórico aplicado a bienes ambientales ha sido considerado por Cheng y Wang (2013) y Zhu y Zhang (2006) para determinar la existencia de desacoplamiento económico como una posible señal de CAK en el largo plazo para la provisión de áreas verdes urbanas en municipalidades de China y Estados Unidos, respectivamente.

El origen de la hipótesis de CAK parte de la propuesta de Kuznets (1955). Bajo esta perspectiva, Grossman y Krueger (1991) aplicaron la teoría de Kuznets para estudiar la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental. En su forma original, la aplicación y contraste empírico de la hipótesis de Kuznets permitió observar una relación funcional sistemática entre crecimiento económico (medido a través del Producto Interno Bruto per cápita [PIB]) con la contaminación ambiental y que adopta una forma de U inversa (Grossman y Krueger, 1991). Caso contrario al contraste empírico sobre degradación ambiental medida a través de la provisión de bienes ambientales (como áreas verdes), en donde se observaría una forma de U (Zhu y Zhang, 2006).

Lo anterior indicaría que para el caso de bienes ambientales: ante el crecimiento económico, en un principio la existencia del bien ambiental es una función decreciente de la actividad económica hasta que se alcanza un determinado nivel de ingreso (visualmente es un punto de inflexión) (Figura 1b). A partir de ese punto, la relación cambia y mayores niveles de ingreso se relacionan con mayores niveles de bienes ambientales (Chen y Wang, 2013).

De esta forma, se proponen en la teoría, tres efectos: escala, composición y tecnología. Estos explicarían el desacoplamiento a través de un punto de inflexión que se observa en las figuras 1a y 1b y que fundamentan la presencia o no de una curva ambiental de Kuznets. Sobre estos efectos se explica lo siguiente:

1.- Efecto escala. Etapa inicial que se interpreta como el deterioro de la calidad ambiental necesario para el crecimiento económico (medido a través de un indicador de crecimiento o desarrollo económico) (Bergamini y Dextre, 2022).

2.- Efecto composición. En esta etapa, el crecimiento conduce a una industrialización, nuevas tecnologías y a un mayor interés por el ambiente (Zilio y Caraballo, 2014; Bergamini y Dextre, 2022).

3.- Efecto tecnológico. Este explica que llega un momento en que el crecimiento económico permite a los gobiernos invertir en desarrollo de tecnologías limpias y en la provisión y mejora de servicios y bienes ambientales (Zilio y Caraballo, 2014; Olivares y Hernández, 2021). Esto explicaría la presencia de un punto de inflexión, ocurriendo desacoplamiento y que a largo plazo pudiera indicar la presencia de una CAK.

A esto se agrega que Zhu y Zhang (2006) suponen en su estudio transversal (para 149 ciudades estadounidenses) que la relación entre AVU y densidad poblacional podría presentar un comportamiento similar a lo que se establece para el desacoplamiento e hipótesis de curva Kuznets entre AVU y la variable ingreso. Por lo que la densidad provocaría también un punto de inflexión en su relación con la variable de áreas verdes. La hipótesis de Zhu y Zhang (2006) establece que al iniciar un proceso de urbanización, la densificación de la ciudad no reduce el tamaño de las áreas verdes urbanas. Sin embargo, la densidad puede incrementar el valor de oportunidad del suelo urbano para usos alternativos (residenciales, industriales y comerciales) más que para superficie verde en forma de diversos parques, jardines u otros tipos (habiendo competencia por usos de suelo). Igualmente señalan la necesidad de considerar en los modelos una probable interacción entre el ingreso y la densidad. Su argumento es que las áreas urbanas y rurales se diferencian porque las primeras cuentan con programas de desarrollo urbano. Tales programas se relacionan con estrategias de densificación, programas de servicios urbanos y provisión de bienes como parques u otros tipos de áreas verdes, los cuales se pueden relacionar con el ingreso de los ciudadanos.

En consecuencia, con el enfoque de desacoplamiento y CAK, se han desarrollado diversas investigaciones que han empleado el PIB como medida de crecimiento económico (Alkhars *et al.*, 2022; Hipólito y Cardoso, 2022; Naveed *et al.*, 2022). No obstante, otras investigaciones emplean algún otro indicador como el ingreso per cápita promedio (Zhu y Zhang, 2006) o indicadores económicos alternativos como el IDH (Theyson y Heller, 2015; Mrabet *et al.*, 2021; Alkhars *et al.*, 2022; Hipólito y Cardoso, 2022; Naveed *et al.*, 2022). Los cuales son de utilidad para el caso de países como México en donde el PIB municipal no forma parte de las estadísticas oficiales estimadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Siguiendo con el IDH, se argumenta que bajo un enfoque de desarrollo sustentable<sup>3</sup> el análisis de desacoplamiento económico y curva ambiental de Kuznets o CAK debe considerar mejoras en la dimensión social junto con la dimensión del ingreso monetario (Theyson y Heller, 2015; Mrabet *et al.*, 2021). Dicha dimensión social, bajo la perspectiva del IDH, estaría representada por los servicios de salud y acceso a la educación (Mrabet *et al.*, 2021). Esto es, el IDH al incluir la expansión de servicios de salud y educación, ambos tienen el efecto de aumentar la productividad y por lo tanto aumentan el nivel de ingresos, haciéndolo un sustituto del PIB per cápita o de medidas que solo incluyan ingreso en los modelos de desacoplamiento y CAK (Hussain y Dey, 2021). La misma literatura reporta una serie de ventajas técnicas que conlleva el sustituir el PIB per cápita con el IDH en los estudios de CAK y desacoplamiento económico (Theyson y Heller, 2015; Hussain y Dey, 2021; Mrabet *et al.*, 2021).

Finalmente, hay que destacar que existen pocos estudios a nivel internacional que aborden la relación de áreas verdes urbanas con el crecimiento/desarrollo económico y que permitan contrastar las hipótesis de desacoplamiento económico y probable CAK en México e Iberoamérica.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología se divide, para su comprensión, en cuatro apartados: integración de una base de datos, descripción de variables dependientes que constituirán los modelos, descripción de variables independientes y el proceso de estimación de modelos. Se hace la aclaración de que los modelos estimados en este trabajo se emplean para contrastar hipótesis de desacoplamiento y CAK, mas no son modelos predictivos de superficie verde.

### 2.1 Integración de base de datos

Se integró y ordenó una base de datos considerando un listado de 305 municipios urbanos mexicanos incluidos en el proyecto de investigación “Índice de las Ciudades Prósperas”, realizado entre el gobierno de México, a través del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), y el Programa de la Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat, 2018b).

Hay que señalar que estos 305 no son una muestra estadística representativa de los 2,475 municipios mexicanos existentes al año 2023 (INEGI, 2020), son solo 305 municipios mexicanos con características urbanas de los que se tuvo información. Consecuentemente, entre los años 2015 a 2018 se publicaron 305 informes municipales que contuvieron indicadores de desarrollo económico e inventarios de infraestructura urbana para cada municipio estudiado (ONU-Hábitat, 2018b). Considerando que  $N=305$  municipios, un listado con el número de municipios por entidad federativa que comprendió esta investigación, se encuentra en la Tabla 1.

**TABLA 1.**  
Número de municipios por entidad que comprendió esta investigación

<b>Entidad</b>	<b>Municipios o alcaldías</b>	<b>Entidad</b>	<b>Municipios o alcaldías</b>
Aguascalientes (Agu)	3	Morelos (Mor)	10
Baja California (BC)	5	Nayarit (Nay)	2
Baja California Sur (BCS)	2	Nuevo León (Nue)	16
Campeche (Cam)	2	Oaxaca (Oax)	7
Chiapas (Chis)	21	Puebla (Pue)	16
Chihuahua (Chi)	6	Querétaro (Que)	5
Coahuila (Coa)	8	Quintana Roo (QR)	3
Colima (Col)	4	San Luis Potosí (SLP)	3
Ciudad de México (CMx)	16	Sinaloa (Sin)	6
Durango (Dur)	3	Sonora (Son)	8
Guanaajuato (Gua)	17	Tabasco (Tab)	8
Guerrero (Gue)	7	Tamaulipas (Tam)	9
Hidalgo (Hid)	10	Tlaxcala (Tla)	4
Jalisco (Jal)	15	Veracruz (Ver)	19
México (Mex)	54	Yucatán (Yuc)	4
Michoacán (Mich)	9	Zacatecas (Zac)	3

Fuente: elaboración propia con información de la ONU-Hábitat (2018b; 2023).

Por razones de espacio, es imposible enlistar por su nombre a los 305 municipios que comprendieron esta investigación. Por lo que en la Tabla 2, y solo con fines informativos, aparecen nombrados 51 municipios de los 305. Se hace la observación de que la investigación se realizó considerando los 305 municipios (Tabla 1) y cuyo listado completo con nombres puede consultarse en ONU-Hábitat (2023).

TABLA 2.  
Algunos municipios de las 305 municipalidades estudiadas

Entidad	Municipio	Entidad	Municipio	Entidad	Municipio
Agu	Aguascalientes	Hid	Tulancingo	NL	Monterrey
BC	Tijuana	Jal	Ixtlahuacán	Oax	Huajuapán
BCS	Los Cabos	Jal	Ocotlán	Oax	Oaxaca
Cam	Campeche	Jal	Puerto Vallarta	Oax	Salina Cruz
Cam	Carmen	Jal	Tepatitlán	Pu	Puebla
Chis	Tuxtla Gutiérrez	Mex	Atenco	Que	San Juan del Río
Chi	Chihuahua	Mex	Atlacomulco	QR	Benito Juárez
Chi	Juárez	Mex	Chimalhuacán	Sin	Culiacán
Coa	Saltillo	Mex	Naucalpan	Tab	Centla
Coa	Torreón	Mex	Nezahualcóyotl	Tab	Centro
Col	Manzanillo	Mex	Texcoco	Tam	Nuevo Laredo
Dur	Durango	Mex	Tlalnepantla	Tam	Reynosa
Gua	Guanajuato	Mich	La Piedad	Tla	Tlaxcala
Gue	Acapulco	Mich	Zamora	Ver	Córdoba
Gue	Chilpancingo	Mich	Zitácuaro	Ver	Orizaba
Gue	Zihuatanejo	Nay	Tepic	Yuc	Mérida
Hid	Pachuca	NL	Juárez	Zac	Zacatecas

Fuente: elaboración propia con información de la ONU-Hábitat (2018b; 2023).

## 2.2 Variables dependientes

De los 305 Informes Municipales (ONU-Hábitat, 2018b), se obtuvo la superficie en metros cuadrados de áreas verdes urbanas per cápita. Esta superficie constituyó la variable dependiente “área verde urbana per cápita (AVUPC)” de cada uno de los 305 municipios considerados en esta investigación.

La variable “porcentaje superficie verde urbana (PAVU)” de los 305 municipios, se obtuvo por regla de tres (proporcionalidad), considerando primeramente los datos de población municipal al año 2015 publicados por el INEGI (2023) y el área verde per cápita reportada en los 305 informes municipales ya mencionados (ONU-Hábitat, 2018b). Posteriormente, para obtener el porcentaje se emplearon los datos de superficie municipal en km<sup>2</sup> reportados por Pérez (2014).

## 2.3 Variables independientes

Como variables macroeconómicas de crecimiento y desarrollo, se emplearon:

I. Ingreso corriente per cápita municipal del año 2015 en pesos mexicanos. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023a; 2023b). El cual se deflactó tomando como base el año 2013, constituyendo la variable IPC y se añade a los modelos su término cuadrático IPC<sup>2</sup>.

II. Índice de Desarrollo Humano o IDH a nivel municipal del año 2015. Estimado y reportado por la UACH (2022; 2023). Se añade a los modelos su término cuadrático IDH<sup>2</sup>.

Además, se controló con las siguientes variables:

III. Densidad poblacional municipal (habitantes por km<sup>2</sup>) (DPM). Se estimó a partir de los datos de población municipal de INEGI (2023) y de superficie municipal (Pérez, 2014). También se añade a los modelos su término cuadrático DPM<sup>2</sup>.

IV. Precipitación pluvial anual promedio en milímetros (PPM). Reportadas por municipio en las normales climatológicas de 1981 a 2010 (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2023).

V. Para el modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas se empleó como variable la superficie municipal en km<sup>2</sup> (Pérez, 2014). Constituyendo la variable SM.

VI. Para el modelo de áreas verdes urbanas per cápita se empleó como variable la superficie de área verde urbana municipal (AVU) en km<sup>2</sup>.

Además, se añadieron, según el tipo de modelo, las siguientes interacciones (Zhu y Zhang, 2006):

VII. (DPM\*IPC). Interacción de la densidad con la variable ingreso.

VIII. (DPM\*IDH). Interacción de la densidad con el IDH.

## 2.4 Estimación de modelos

Considerando lo anterior, los modelos que se emplearon en este trabajo se describen a continuación:

Modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas empleando IPC

$$PAVU_i = \alpha + \beta_1 IPC_i + \beta_2 (IPC_i)^2 + \beta_3 DPM_i + \beta_4 (DPM_i)^2 + \beta_5 (DPM_i * IPC_i) + \beta_6 SM_i + \beta_7 PPM_i + u_i$$

[Ecuación 1]

Modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas empleando IDH

$$PAVU_i = \alpha + \beta_1 IDH_i + \beta_2 (IDH_i)^2 + \beta_3 DPM_i + \beta_4 (DPM_i)^2 + \beta_5 (DPM_i * IDH_i) + \beta_6 SM_i + \beta_7 PPM_i + u_i$$

[Ecuación 2]

Modelo de áreas verdes urbanas per cápita empleando IPC

$$AVUPC_i = \alpha + \beta_1 IPC_i + \beta_2 (IPC_i)^2 + \beta_3 DPM_i + \beta_4 (DPM_i)^2 + \beta_5 (DPM_i * IPC_i) + \beta_6 AVU_i + \beta_7 PPM_i + u_i$$

[Ecuación 3]

Modelo de áreas verdes urbanas per cápita empleando IDH

$$AVUPC_i = \alpha + \beta_1 IDH_i + \beta_2 (IDH_i)^2 + \beta_3 DPM_i + \beta_4 (DPM_i)^2 + \beta_5 (DPM_i * IDH_i) + \beta_6 AVU_i + \beta_7 PPM_i + u_i$$

[Ecuación 4]

En donde:

1.- PAVU<sub>i</sub>: porcentaje de áreas verdes urbanas para cada municipio i estudiado.

2.- AVUPC<sub>i</sub>: áreas verdes urbanas per cápita en m<sup>2</sup> por municipio i.

3.- El resto de variables, es tal cual como se definieron en el apartado anterior.

Considerando la teoría de desacoplamiento y la hipótesis de CAK, los modelos descritos en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, permiten contrastar las siguientes hipótesis de la relación entre la calidad (bien ambiental) y el indicador de crecimiento/desarrollo económico (Zhu y Zhang, 2006; Hipólito y Cardoso, 2022):

- Hipótesis 1.  $\beta_1 + \beta_2 = 0$ . No existe relación estadística significativa entre calidad ambiental y la medida de crecimiento/desarrollo económico.

- Hipótesis 2.  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = 0$ . Existe una relación estadística significativa creciente entre calidad ambiental y la medida de crecimiento/desarrollo económico.

- Hipótesis 3.  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = 0$ . Existe una relación estadística significativa decreciente entre calidad ambiental y la medida de crecimiento/desarrollo económico.

- Hipótesis 4.  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 < 0$ . Probable curva en forma de U inversa que expresa que hay un punto de inflexión a partir del cual ante incrementos en el crecimiento/desarrollo económico hay una disminución del bien ambiental.

- Hipótesis 5.  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 > 0$ . Probable curva en forma de U que expresa que hay un punto de inflexión a partir del cual ante incrementos en el crecimiento/desarrollo económico hay un incremento del bien ambiental, lo cual es señal de desacoplamiento entre ambas variables y que podrían ser señal de CAK.

Siguiendo a Zhu y Zhang (2006), considerando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, y aplicando derivación matemática con respecto al IPC o IDH, el punto de inflexión de cada curva se estima así (ecuación 5):

$$PI = \exp\left(\frac{-\beta_1 - \beta_3 DPM}{2\beta_2}\right)$$

[Ecuación 5]

Para contrastar el supuesto de Zhu y Zhang (2006), se repite el proceso, pero ahora derivando con respecto a la densidad, el punto de inflexión sería (ecuaciones 6 y 7):

$$PI = \exp\left(\frac{-\beta_3 - \beta_5 IPC}{2\beta_4}\right)$$

[Ecuación 6]

$$PI = \exp\left(\frac{-\beta_3 - \beta_5 IDH}{2\beta_4}\right)$$

[Ecuación 7]

Previo a la estimación de los modelos, se estimó: media, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo de cada una de las variables sin transformar. Posteriormente, para estimar los modelos, todas las variables se transformaron con logaritmos naturales. Todos los modelos se estimaron empleando mínimos cuadrados ordinarios, en Stata, versión 18. En cada modelo se contrastó la hipótesis nula de homocedasticidad mediante la prueba de Breush-Pagan (Wooldridge, 2010). Los modelos en los que se rechazó la hipótesis nula de homocedasticidad fueron estimados posteriormente con errores estándar robustos a heterocedasticidad en los residuales (Wooldridge, 2010). También, para contrastar la hipótesis nula de correcta especificación de cada modelo: se programó en Stata, una prueba Reset de Ramsey robusta ante heterocedasticidad (Silva y Tenreiro, 2006).

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Aunque la variable áreas verdes urbanas (AVU) a nivel municipal no fue incluida como tal en los modelos, se reportan sus estadísticos con fines informativos. Como se observa en la Tabla 3, su media es de 5.81 km<sup>2</sup>. Mientras que la media del porcentaje de área verde urbana (PAVU) es de 1.83 %. Con un área verde urbana per cápita (AVUPC) promedio de 42.51 m<sup>2</sup> per cápita. Las medianas de AVU, PAVU y AVUPC tienden a ser menores con 1.5 km<sup>2</sup>, 0.39 % y 6.3 m<sup>2</sup> per cápita, respectivamente. Estas cantidades son características promedio de los 305 municipios estudiados, pero no deberían considerarse en términos de déficit de área verde urbana con respecto a algún indicador universal propuesto por alguien. Como ya se comentó, las ciudades son ampliamente diversas. Además, no se están tomando en cuenta variables de mantenimiento de la infraestructura verde, ni la calidad particular de la vegetación urbana (lo cual está asociado a programas y aspectos de arboricultura), tampoco de distribución, desigualdad y justicia espacial (Fernández-Álvarez, 2017; Reyes, 2023; Casillas, 2023). Los aspectos anteriores no forman parte de los objetivos de este trabajo, por lo que se dejan para otras investigaciones.

Con respecto a las otras variables (Tabla 3), el IPC tiene un valor promedio de \$ 2,907.78 pesos y el IDH de 0.72 en los municipios estudiados. También se puede observar en estas variables y en el resto, que las medianas están por debajo de sus medias.

**TABLA 3.**  
Estadísticas descriptivas de las variables (obtenidas sin transformar con logaritmos)

Variable/Estadístico	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
AVU (km <sup>2</sup> )	5.81	1.51	12.7	0.00036	106.01
PAVU (%)	1.83	0.39	3.3	$6.38 \times 10^{-5}$	24.16
AVUPC (m <sup>2</sup> )	42.51	6.3	99.29	0.01	765.36
IPC (\$)	2,907.78	2,753.61	1,060.74	459.58	9,066.14
IDH	0.7189	0.7183	0.053	0.4938	0.9044
SM (km <sup>2</sup> )	1,442.13	395	3,810.97	4	53,255
PPM (mm)	864.44	760.6	481.64	52.2	3,202.20
DPM (habitante/km <sup>2</sup> )	1,560.62	339.08	3,039.23	7.98	17,905.87

Fuente: elaboración propia con información de la ONU-Hábitat (2018b; 2023),  
CONAGUA (2023); INEGI (2023); Pérez (2014) y UACH (2022, 2023).

### 3.1 Modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas considerando ingreso

Los resultados de los modelos estimados para porcentaje de áreas verdes urbanas (PAVU) se encuentran en la Tabla 4. Como se puede observar, para el modelo que considera el ingreso per cápita (IPC) (lado izquierdo de Tabla 4), el modelo es significativo ( $F=38.92$ ) con un nivel de significancia (NS) de 0.01. Con un coeficiente de determinación de  $R^2=0.48$ . La prueba de Breush Pagan no rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad y los resultados de la prueba Reset no rechazan tampoco la hipótesis nula de correcta especificación del modelo. En consecuencia, no existe desacoplamiento entre AVU e IPC, por lo que no hay señal que sustente la hipótesis de Kuznets, ya que IPC y su término cuadrático no son significativos ni al 0.1 de NS.

Hay que destacar que se muestra una relación positiva significativa (NS=0.05) entre PAVU y la precipitación pluvial (PPM), tal como se ha encontrado en municipalidades de China (Chen y Wang, 2013). Igualmente, no hay una relación positiva significativa entre el porcentaje de áreas verdes urbanas con la superficie municipal (SM) (Tabla 4).

Finalmente, se observa una relación negativa significativa (NS=0.01) con la densidad poblacional (DPM) (Tabla 4). Por lo que se concluye que a mayor densidad poblacional menor porcentaje de área verde urbana. Mientras que su término cuadrático  $DPM^2$  no es significativo. Por lo que no existe un punto de inflexión considerando la DPM. Es importante señalar que en estudios de desacoplamiento y CAK en ámbitos municipales, la densidad es una variable indicadora de niveles de urbanización y muy relacionada con la provisión de bienes y servicios públicos (Jaligot y Chenal, 2018). En este caso particular, la densidad ejerce un efecto negativo sobre el porcentaje de áreas verdes posiblemente relacionada por su competencia con otros usos de suelo. Mientras que la interacción de la densidad con el ingreso es estadísticamente significativa y con signo positivo.

TABLA 4.  
Modelos de porcentaje de áreas verdes urbanas con ingreso e IDH respectivamente

Variable	Modelo con ingreso per cápita (IPC)	Modelo con Índice de Desarrollo humano (IDH)
	Parámetro (error estándar)	Parámetro (error estándar)
Constante	39.70607* (24.04961)	-18.17305*** (4.205468)
IPC	-6.566426 (6.587013)	-----
IPC <sup>2</sup>	0.0439566 (0.4625506)	-----
IDH	-----	-21.44775 (13.28095)
IDH <sup>2</sup>	-----	7.703627 (11.45728)
SM	-0.158649 (0.1267888)	-0.2009397 (0.1289021)
PPM	0.4733239** (0.1941024)	0.5292263*** (0.1977317)
DPM	-4.556803*** (1.631461)	2.734376*** (0.6924251)
DPM <sup>2</sup>	-0.0484465 (0.0335941)	-0.0697025* (0.0359502)
DPM*IPC	0.7417077** (0.2114307)	-----
DPM*IDH	-----	3.624912*** (1.100385)
F(7, 297)	38.92***	36.44***
Prueba de Breush Pagan	0.47	0.31
Prueba Reset	0.02	0.34
R-cuadrado	0.48	0.46

Fuente: elaboración propia con información de la ONU-Hábitat (2018b; 2023), CONAGUA (2023); INEGI (2023); Pérez (2014) y UACH (2022, 2023).

### 3.2 Modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas considerando IDH

Con respecto a la estimación del modelo de porcentaje de áreas verdes urbanas (PAVU) considerando Índice de Desarrollo Humano (IDH) (lado derecho Tabla 4), el modelo es significativo (NS=0.01) según la prueba de F=36.44. No se rechazan las hipótesis nulas de homocedasticidad ni de correcta especificación del modelo. El coeficiente de determinación (R-cuadrado) es de 0.46 menor al 0.48 del modelo estimado con IPC. En general, ambos modelos tienen coeficientes de determinación moderados. El resultado de la prueba Reset de Ramsey no es significativo, por lo que el modelo está correctamente especificado.

Respecto a los parámetros estimados, los del IDH no son significativos. La significancia de la variable precipitación pluvial (PPM) coincide y corrobora el resultado del modelo de PAVU con ingreso. Al igual que el comportamiento no significativo de la variable superficie municipal (SM).

Se observa (Tabla 4) que la densidad es significativa con signo positivo (NS=0.01), por ello, incrementos de esta elevan el PAVU. Mientras que la interacción de la densidad con el IDH es significativa (NS=0.05) con el mismo comportamiento positivo.

El término cuadrático de la densidad se puede considerar significativo con signo negativo (NS=0.1). Considerando lo anterior, la significancia de la densidad y su término cuadrático y sus signos indican la

existencia de una probable curva en U inversa con un punto de inflexión (ver hipótesis 4). Que indicaría que a cierto nivel de densidad, ante incrementos de esta última, el porcentaje de área verde de las municipalidades empieza a disminuir.

Para estimar dicho punto de inflexión, se sustituyen los parámetros respectivos en la Ecuación 7 y se emplea la media del IDH transformado con logaritmos que es  $-0.3328465$ , y se obtiene el punto de inflexión considerando la densidad, el cual es de  $57,509.08$  habitantes/km<sup>2</sup>. Este valor se interpreta de manera que municipalidades que superen dicha densidad tendrán menores valores de área verde urbana. Sin embargo, dicho valor no es congruente con los datos de densidad municipal empleados en esta investigación, ya que el valor máximo de DPM encontrado es de  $17,905.87$  habitantes/km<sup>2</sup>, el cual corresponde a la alcaldía Iztacalco de la Ciudad de México. Al respecto, Atwi *et al.* (2018) concluyen que los puntos de inflexión estimados en estudios de corte transversal deben ser considerados con reserva, lo cual se comentará posteriormente.

### 3.3 Modelo de áreas verdes urbanas per cápita considerando ingreso

Los resultados de los modelos estimados de áreas verdes urbanas per cápita (AVUPC) se muestran en la Tabla 5. Del lado izquierdo se encuentra el modelo que considera la variable ingreso per cápita (IPC). La prueba Reset de Ramsey no rechaza la hipótesis de correcta especificación, sin embargo, la prueba de Breush Pagan rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad de los residuales del modelo, por lo que el modelo se estimó con errores estándar robustos a heterocedasticidad (“*eer*”).

Como se observa (Tabla 5), una vez que se ajusta con “*eer*”, el modelo es significativo al 0.01 ( $F=299.22$ ) con un  $R^2$  de 0.86 (86 % de la variabilidad de la variable dependiente, es explicado por las variables independientes del modelo). Asimismo (Tabla 5), no hay evidencia de desacoplamiento entre la variable dependiente y el IPC, al no ser significativo este último y su término cuadrático, por lo tanto, no se sustenta la hipótesis de una curva ambiental de Kuznets. Igualmente, como era de esperarse, hay una relación positiva significativa entre el AVUPC y el área verde urbana (AVU) de la municipalidad. La precipitación pluvial (PPM) no es una variable significativa en el modelo.

Sobre DPM, esta no es significativa para este modelo, mientras que su término cuadrático lo es con un  $NS=0.05$ , por lo que no existe un punto de inflexión considerando la variable DPM. El término de intersección de DPM con el IPC tampoco es significativo.

TABLA 5.  
Modelos de áreas verdes urbanas per cápita con ingreso e IDH, respectivamente

Variable	Modelos con ingreso per cápita (IPC)	Modelos con Índice de Desarrollo humano (IDH)
	Parámetro (error estándar robusto)	Parámetro (error estándar robusto)
Constante	-13.00448 (13.62618)	-16.32276*** (1.509682)
IPC	2.3822 (3.684008)	-----
IPC <sup>2</sup>	-0.2642791 (0.2513491)	-----
IDH	-----	-18.83357*** (5.418394)
IDH <sup>2</sup>	-----	-9.918758** (4.555814)
AVU	0.8465323*** (0.0248075)	0.8566291*** (0.0235739)
PPM	0.0569075 (0.0879612)	0.0330986 (0.0923856)
DPM	-0.5911492 (0.7196829)	0.823954*** (0.3050193)
DPM <sup>2</sup>	-0.037361** (0.0148532)	-0.0462799*** (0.0160983)
DPM*IPC	0.1148041 (0.0977273)	-----
DPM*IDH	-----	1.125245** (0.4636721)
F(7, 297)	299.22***	315.55***
Prueba de Breush Pagan	6.16**	5.05**
Prueba Reset	1.80	0.83
R-cuadrado	0.86	0.86

Fuente: elaboración propia con información de la ONU-Hábitat (2018b; 2023), CONAGUA (2023); INEGI (2023); Pérez (2014) y UACH (2022, 2023).

### 3.4 Modelo de áreas verdes urbanas per cápita considerando IDH

En la Tabla 5 se encuentran los resultados del modelo estimado considerando áreas verdes urbanas per cápita (AVUPC) con el Índice de Desarrollo Humano (IDH). En la primera columna del lado derecho se observa que el resultado de la prueba Reset de Ramsey no rechaza la hipótesis nula de correcta especificación. Sin embargo, la prueba de Breush Pagan vuelve a rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad. En consecuencia, el modelo se vuelve a estimar con errores estándar robustos a heterocedasticidad. Los resultados del modelo con errores estándar robustos señalan que el modelo es significativo al 0.01 ( $F=315.55$ ) con un  $R^2$  también de 0.86.

En cuanto a los parámetros del modelo que considera IDH estimado con errores estándar robustos, se observa que el IDH y su término cuadrático son ambos significativos al 0.01. Ambos con signo negativo, por lo que se sustenta una hipótesis de relación inversa de áreas verdes urbanas per cápita con el IDH. Por ello, no existe señal de desacoplamiento ni se sustenta la hipótesis de curva ambiental de Kuznets.

Tal como se esperaba (lado derecho de Tabla 5), existe una relación positiva significativa entre la cantidad de AVUPC con el área verde urbana de cada municipio. Al igual que en el modelo que se estimó teniendo

como variable al ingreso per cápita (IPC): no se observa relación significativa alguna con la precipitación pluvial, lo cual contrasta con el par de modelos que estimaron la relación de porcentaje de áreas verdes con el IPC y el IDH, respectivamente, en donde se encontró una relación significativa positiva con la precipitación pluvial (Chen y Wang, 2013).

Los resultados señalan que la DPM (lado derecho de Tabla 5) y su término cuadrático son significativos (NS=0.01) con signos positivo y negativo, respectivamente.

Entonces, estadísticamente existe una curva en U inversa en la relación de áreas verdes per cápita con la densidad, por lo que a partir de un determinado valor de DPM (punto de inflexión), el área verde per cápita empieza a disminuir. Consecuentemente, se estimó el punto de inflexión para DPM empleando el promedio del logaritmo del IDH aplicando la ecuación 7. Con lo anterior, el punto de inflexión de la densidad es de 128.44 habitantes por km<sup>2</sup>. Se establece que municipalidades que superen dicho valor probablemente podrían tener menores valores de áreas verdes per cápita (parte descendente de una curva en U inversa). Observando la Tabla 2, se tiene que 128.44 es menor a la media y mediana de la DPM (1,560.6 y 339.08 respectivamente).

Con dicho valor estimado, se tiene que 227 de 305 municipios (aproximadamente el 74.4 %) superan el punto de inflexión, por lo que en 74.4 % de los municipios, la superficie verde per cápita posiblemente empieza a decaer. Sin embargo, los puntos de inflexión estimados con datos transversales deben ser considerados con precaución (Atwi *et al.*, 2018), por lo que los resultados podrían cambiar si se prueban y corroboran con otras técnicas estadísticas para datos de panel en un horizonte de tiempo, tal como se reflexiona en el siguiente apartado.

Finalmente, la interacción de la densidad con el IDH es significativa (NS=0.05) con un signo positivo, lo que contrasta con el comportamiento no significativo de la interacción en el modelo con IPC. En tres de los cuatro modelos estimados en esta investigación, la interacción tiene el mismo comportamiento positivo significativo.

### 3.5 Reflexión analítica

Si bien se señala que el contraste y análisis de la hipótesis de CAK puede ser aceptable en datos de sección cruzada, es necesario extender la estimación a modelos en un horizonte de tiempo. Especialmente para estimar y evaluar puntos de inflexión, los cuales pueden ser poco creíbles en estudios transversales (Atwi *et al.*, 2018). Sin embargo, como ya se señaló, para el caso de variables que miden existencias de recursos como áreas verdes urbanas, es probable que las variaciones anuales de la variable sean pequeñas o se mantengan constantes (Bimonte, 2002).

Por lo tanto, el trabajo es relevante, ya que por una parte los resultados del estudio no sustentan evidencia de desacoplamiento que a su vez sustenten la hipótesis de curva ambiental de Kuznets empleando ingreso per cápita o IDH para los 305 municipios estudiados. Sin embargo, Zilio (2012) ya señaló que la hipótesis de Kuznets debe ser contextualizada en países subdesarrollados, ya que el crecimiento económico no es sustituto perfecto de las políticas económicas ambientales, si se considera la desigualdad en los ingresos que existen en las naciones emergentes. Ello, aunado a las regulaciones legales laxas en la conservación, puede frenar la aparición de una curva ambiental de Kuznets para provisión de calidad ambiental, por ejemplo en forma de áreas verdes (Bimonte, 2002; Zilio, 2012). Consecuentemente, es necesario incentivar en los tomadores de decisión el desarrollo de políticas en pro de la generación de áreas verdes urbanas basadas en normas legales para su desarrollo y conservación.

Sin embargo, los modelos de porcentaje de áreas verdes urbanas y de áreas verdes per cápita que emplearon IDH: presentaron curva de U inversa en la relación que tuvo la variable dependiente con la densidad

poblacional (supuesto de Zhu y Zhang [2006]). Lo cual indica disminución de áreas verdes a partir de determinados niveles de densidad.

Aunque la estimación de los puntos de inflexión en estudios transversales no es del todo confiable, su existencia junto con el efecto positivo de la interacción del indicador ingreso per cápita o IDH con la densidad, llevan a considerar que en las 305 municipalidades estudiadas existen desigualdades en la provisión de áreas verdes. Posiblemente, el efecto positivo se relacione con una mayor posibilidad de acceder a lugares con mayor urbanización que cuenten con programas de desarrollo urbano o de provisión de parques, jardines u otras áreas verdes. A esto hay que agregar que en el modelo de áreas verdes per cápita que empleó IDH se encontró que mayores valores de IDH se relacionan significativamente con menores cantidades de área verde per cápita en las municipalidades estudiadas. Futuras investigaciones pudieran abordar estas desigualdades desde una perspectiva de economía espacial y temporal.

Sobre densidad, se ha señalado que esta puede ser un indicador de la competencia urbana por otros usos de suelo (Zhu y Zhang, 2006). Por ello, se debe considerar que aunque las áreas verdes provean servicios que pueden ser públicos (oxígeno y paisajes), las áreas verdes urbanas de este estudio (como se mencionó anteriormente), no incluyen solo áreas de propiedad pública (ONU-Hábitat, 2018a). Así, algunas de ellas pueden entrar a una toma de decisiones de cambio de uso de suelo, proceso donde el valor económico de las áreas verdes es un criterio económico importante. Por lo anterior, es indispensable considerar los beneficios recreativos, paisajísticos, de legado u otros que proporcionan las áreas verdes y con ello fundamentar y promover su conservación y desarrollo. Esos beneficios tangibles e intangibles pueden valorarse monetariamente por diversos métodos económicos (valoración contingente o valoraciones indirectas empleando datos de calidad de vida) y ser de utilidad para que los tomadores de decisión fundamenten su presencia sin importar los niveles de ingreso de las personas (Bertram y Rehdanz, 2015; Sandoval *et al.*, 2021).

Finalmente, los resultados de esta investigación apoyan la necesidad de que las agencias gubernamentales responsables de la política urbana realicen un inventario continuo de superficie verde urbana en las municipalidades. Esto permitiría analizar el desacoplamiento en más municipalidades y desde la perspectiva económica corroborar si existen puntos de inflexión y sus correspondientes valores en la relación que tienen las áreas verdes con el crecimiento-desarrollo económico y con la densidad poblacional particularmente.

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran que no hay evidencia estadística de desacoplamiento económico ni señal de curva ambiental de Kuznets en la relación porcentaje de áreas verdes urbanas con las respectivas variables indicadoras de crecimiento-desarrollo económico, por lo que cada variable seguiría su propia senda en las 305 municipalidades estudiadas.

En el caso de la relación áreas verdes urbanas per cápita con Índice de Desarrollo Humano se observa una relación significativa inversa, mientras que con el ingreso per cápita no hay relación estadística significativa.

Por otra parte, en términos de la relación áreas verdes-densidad poblacional, en los dos modelos de áreas verdes que emplearon IDH se encontraron curvas en forma de U inversa, lo que señala que municipalidades que superen determinada densidad podrían tener, respectivamente, menor porcentaje y menor superficie de área verde urbana per cápita que las que tienen menor densidad. Sin embargo, los valores de los puntos de inflexión estimados no son confiables tal como señala la literatura consultada, por lo que se requiere extender el estudio a un horizonte de tiempo y con mayor número de municipalidades. Sin embargo, la presencia de puntos de inflexión y el comportamiento positivo de la interacción del ingreso per cápita e IDH con la densidad en tres de los modelos pueden ser señal de desigualdad en la provisión de áreas verdes en los municipios estudiados. Es necesaria, entonces, una política de desarrollo y conservación de áreas verdes urbanas en los municipios estudiados.

Los resultados de esta investigación indican la necesidad de generar estadísticas temporales de áreas verdes urbanas en las municipalidades mexicanas para poder corroborar las hipótesis de desacoplamiento y curva ambiental de Kuznets abordadas en esta investigación y estimar (de existir) los puntos de inflexión, aplicando otras técnicas econométricas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkhars, M., Alwahaishi, S., Fallatah, M., y Kayal, A. (2022). A literature review of the Environmental Kuznets Curve in GCC for 2010–2020. *Environmental and Sustainability Indicators*, 14, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100181>
- Attrup, R., Engemann, K. y Buitenwerf, R. (2023). Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127980>
- Atwi, M., Barberán, R., Mur, J. y Angulo, A. (2018). CO. Kuznets Curve revisited: from cross-sections to panel data models. *Investigaciones Regionales-Journal of Regional Research*, (40), 169-196. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28966266004>
- Bergamini, K., y Dextre, R. (2022). Exportación de la contaminación en Chile: análisis de procedimientos sancionatorios de la Superintendencia de Medio Ambiente, 2013-2019. *Revista EURE*, 48(145), 1-27. <https://doi.org/10.7764/EURE.48.145.06>
- Bertram, C., y Rehdanz, K. (2015). The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.013>
- Bimonte, S. (2002). Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, 41(1), 145–156. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00022-8)
- Casillas, A. (2023). Desigualdad en la dotación de áreas verdes en el municipio de Monterrey: una injusticia ambiental. *Región y sociedad*, 35, 1-24 <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1784>
- Chen, W. y Wang, D. (2013). Economic development and natural amenity: An econometric analysis of urban green spaces in China. *Urban forestry & urban greening*, 12, 435-442. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.08.004>
- CONAGUA. (2023). *Normales climatológicas por estado*. México: CONAGUA. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Fernández-Álvarez, R. (2017). Inequitable distribution of green public space in Mexico City: an environmental injustice case. *Economía Sociedad y Territorio*, 17(54), 399-428. <https://doi.org/10.22136/est002017697>
- Grossman, G. y Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*, Working paper num. 3914. <https://econpapers.repec.org/paper/nbrnberwo/3914.htm>
- Higuita-Gutiérrez, L. y Cardona-Arias J. (2018). Índice de desarrollo humano y eventos de salud pública: revisión sistemática de la literatura 1990-2015. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 36(1), 5-16. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v36n1a02>
- Hipólito, P. y Cardoso, A. (2022). The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective. *Heliyon*, 8(11), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11521>
- Hussain, A. y Dey, S. (2021). Revisiting environmental Kuznets curve with HDI: new evidence from cross-country panel data. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 10(3), 324–342. <https://doi.org/10.1080/21606544.2021.1880486>
- INEGI. (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632/datafile/F12/V278#:~:text=Descripci%C3%B3n,-Definici%C3%B3n&text=Distinci%C3%B3n%20de%20los%20municipios%20en,y%20la%20Cuidad%20de%20M%C3%A9xico>

- INEGI (2023). *Subsistema de información demográfica y social. Encuesta intercensal 2015*. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/#tabulados>
- Jaligot, R. y Chenal, J. (2018). Decoupling municipal solid waste generation and economic growth in the canton of Vaud, Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.0>
- Jiang, J., Ye, B., Zhou, N. y Zhang, X. (2019). Decoupling analysis and environmental Kuznets curve modelling of provincial-level CO2 emissions and economic growth in China: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1242–1255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.116>
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45 (1), 1-28. <https://www.jstor.org/stable/1811581> (Error 1: El enlace externo <https://www.jstor.org/stable/1811581> debe ser una URL) (Error 2: La URL <https://www.jstor.org/stable/1811581> no esta bien escrita)
- Morales-Gallegos, L., Martínez-Trinidad, T., y Mohedano-Caballero, L. (2021). El espacio ocioso urbano como alternativa para la creación de áreas verdes en la Ciudad de Texcoco, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3), 423-439. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/714>
- Mrabet, Z., Alsamara, M., Mimouni, K. y Mnasri, A. (2021). Can human development and political stability improve environmental quality? New evidence from the MENA region. *Economic Modelling*, 94, 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.09.021>
- Muñoz-Márquez, R. e Hidalgo-Contreras, J. (2022). Verde urbano y resiliencia: una exploración en Córdoba, Fortín y Amatlán, Veracruz, México. *Decumanus, Revista Interdisciplinaria sobre Estudios Urbanos*, 9(9), 1.25. <https://doi.org/10.20983/decumanus.2022.2.6>
- Naveed, A., Ahmed, N., Fathollah, R., y Menegaki, A. (2022). What have we learned from Environmental Kuznets Curve hypothesis? A citation-based systematic literature review and content analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44,1-17. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100946>
- Ojeda-Revah, L. (2021). Equidad en el acceso a las áreas verdes urbanas en México: revisión de literatura. *Sociedad y Ambiente*, 1(24), 1-28. <https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2341>
- Olivares, J. y Hernández, C. (2021). ¿La curva ambiental de Kuznets sigue siendo válida para explicar la degradación? Una revisión teórica. *Economía Coyuntural*, 6(3), 3-52. [http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2415-06222021000300003&lng=%20es&tlng=es](http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222021000300003&lng=%20es&tlng=es)
- ONU-Hábitat. (2018a). *Aguascalientes. Índice Básico de las Ciudades Prósperas*. México: ONU-Hábitat e INFONAVIT. [https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/2015/09005\\_Gustavo\\_A\\_Madero.pdf](https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/2015/09005_Gustavo_A_Madero.pdf)
- ONU-Hábitat. (2018b). *Reporte nacional de prosperidad urbana en México. Índice de las Ciudades Prósperas*. México: ONU-Hábitat e INFONAVIT. <https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/Reporte-CPI-2019.pdf>
- ONU-Hábitat (2023). *Índice de las Ciudades Prósperas, México 2018*. México: ONU-Hábitat e INFONAVIT. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/indice-de-las-ciudades-prosperas-cpi-mexico-2018>
- Pérez, F. (2014). *Tipología del municipio mexicano para su desarrollo integral*. México: INAP.
- PNUD. (2023a). *ICTP 2015*. México: PNUD. <https://www.undp.org/es/mexico/publicaciones/idh-municipal-2010-2015>
- PNUD. (2023b). *Transformando México desde lo local. Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010-2015*. México: PNUD. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/2%20Electr%C3%B3nico.pdf>
- Reyes, J. (2023). Espacio social y apropiación del espacio verde público en la arquitectura de paisaje. *Punto Cumorte*, 1(16), 43–65. <https://doi.org/10.32870/punto.v1i16.166>
- Rosales, M. (2017). El desarrollo humano: una propuesta para su medición. *Aldea Mundo*, 22(43), 65-75. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/43834>
- Sandoval, D. A., Córdova y Vázquez, A., Cervantes, E., Cervera, L. y Reyes, A. (2021). Valoración económica de la multifuncionalidad de los parques urbanos. *Revista de Economía*, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán, 38(96), 89-119. <https://doi.org/10.33937/reveco.2021.176>

- Sanyé-Mengual, E., Secchi, M., Corrado, S., Beylot, A. y Sala, S. (2019). Assessing the decoupling of economic growth from environmental impacts in the European Union: A consumption-based approach. *Journal Clean Production*, 236, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.010>
- Shimamoto, K. (2019). Empirical analysis on the determinants of urban parks. *Journal of Urban and Regional Analysis*, 11(1), 87-102. <https://doi.org/10.37043/JURA.2019.11.1.6>
- Silva, J. y Tenreiro, S. (2006). The Log of Gravity. *Review of Economics and Statistics*, 88(4), 641-658. <https://doi.org/10.1162/rest.88.4.641>
- Theyson, K. y Heller, L. (2015). Development and income inequality: A new specification of the Kuznets hypothesis. *The Journal of Developing Areas*, 49(3) 103-118. <https://doi.org/10.1353/jda.2015.0153>
- UACH. (2022). *Memoria Técnica. Estadísticas Sociales*. Texcoco: UACH y Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo. <http://demyc.chapingo.mx/idh/beta/public/assets/pdf/Memoria%20tecnica%20DEMyC.pdf>
- UACH. (2023). *Tabulados básicos. Desarrollo humano*. Texcoco: UACH y Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo. <http://demyc.chapingo.mx/idh/beta/app/tabulados>
- Vadén, T., Lähde, V., Majava, A., Järvensivu, P., Toivanen, T., Hakala, E., y Eronen, J. (2020). Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature, *Environmental Science & Policy*, 112, 236-244, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>
- Wajchman-Świtalska, S., Grabowska-Chenczke, O. y Woźniak, M. (2023). Exploring the Patterns of Recreational Activity among Urban Green Spaces in Poland. *Sustainability*, 15(6), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su15065425>
- WCED. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Wooldridge, J. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. USA: MIT Press.
- Zhu, P. y Zhang, Y. (2006). Demand for Urban Forests and Economic Welfare: Evidence from the Southeastern U.S. Cities. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 38(2), 279-285. <https://doi.org/10.1017/S107407080002232X>
- Zilio, M. (2012). Curva de Kuznets ambiental: la validez de sus fundamentos en países en desarrollo. *Cuadernos de Economía*, 35(97), 43-54. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(12\)70022-5](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(12)70022-5)
- Zilio, M., y Caraballo, M. (2014). ¿El final de la curva de Kuznets de carbono? Un análisis semiparamétrico para la América Latina y el Caribe. *El Trimestre Económico*, 81(321), 241-270. <https://doi.org/10.20430/ete.v81i321.114>

## NOTAS

- 2 Es notorio que se recomienden universalmente y sin evidencia empírica cantidades específicas de área verde. Por ejemplo, los 9 m<sup>2</sup> de área verde urbana per cápita atribuido a la Organización Mundial de la Salud (Muñoz-Márquez e Hidalgo-Contreras, 2022). Sin considerar que las ciudades pueden ser ampliamente diversas en cuanto a superficie, densidades poblacionales, clima, vegetación y necesidades sociales y recreativas.
- 3 Concepto teórico inicialmente propuesto en el Informe Brundtland (The World Commission on Environment and Development [WCED], 1987).

## ENLACE ALTERNATIVO

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/decumanus/article/view/5949> (html)