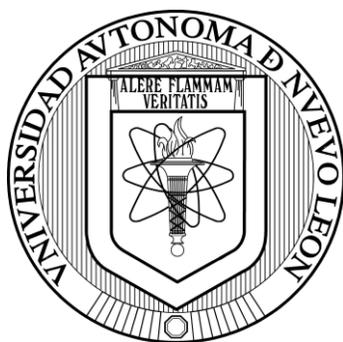


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ECONOMÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“¿Existe una Curva Ambiental de Kuznets para la pérdida de área forestal en México 1990-2018?”**

**Por**

**Paola Beatriz Cárdenas Pech**

**Tesis presentada como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestría en Economía con  
Orientación en Economía Industrial**

**JULIO 2023**

**“¿EXISTE UNA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS PARA LA  
PÉRDIDA DE ÁREA FORESTAL EN MÉXICO 1990-2018?”**

***Paola Beatriz Cárdenas Pech***

**Comité de Tesis:**

**Asesor**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. JOANA CECILIA CHAPA CANTÚ**

**Lector**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. EDGARDO ARTURO AYALA GAYTÁN**

**Lector**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. FABIOLA DORACELY YÉPEZ RINCÓN**

  
**DR. ERNESTO AGUAYO TELLEZ**  
Director de la División de Estudios de Posgrado  
De la Facultad de Economía, UANL  
julio, 2023



**FACULTAD DE ECONOMÍA  
DIV. ESTUDIOS DE POSGRADO**

***DEDICATORIAS***

*Para Mate y Estrellita*

*Un abrazo hasta el cielo*

## ***AGRADECIMIENTOS***

*A Dios, por permitirme estar aquí.*

*A mi madre, por el apoyo incondicional.*

*A mi padre, por creer en mí.*

*A mi familia, por siempre estar.*

*A Napoleón, por su amor.*

*A mis amigos, por su comprensión y compañía.*

*A la Dra. Joana Chapa, por además de ser mi mentora, ser una gran amiga.*

*A mis asesores y profesores.*

*A la Universidad Autónoma de Nuevo León.*

# Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1. Contexto actual.....	5
1.1    En el mundo .....	5
1.2    En México .....	9
Capítulo 2. Marco Teórico .....	14
2.1 Curva Ambiental de Kuznets .....	14
2.2 La Hipótesis de Transición Forestal.....	18
Capítulo 3. Contraste empírico de la Curva Ambiental de Kuznets: una revisión de la literatura.....	23
3.1 Curva Ambiental de Kuznets (CAK).....	23
3.1.1 Curva Ambiental de Kuznets para la Deforestación (CAKd).....	24
Capítulo 4. Estimación de la Curva Ambiental de Kuznets.....	30
4.1 Datos.....	30
4.1.1 Variable dependiente .....	30
4.1.2 Variables independientes .....	34
4.2 Tratamiento Econométrico.....	36
4.3 Limitaciones.....	38
Capítulo 5. Resultados .....	40
5.1 Estadísticas descriptivas.....	40
5.2 Área forestal vs PIB per cápita .....	41
5.3 Resultados de la estimación .....	43
5.4 Discusión de resultados .....	47
Conclusiones y recomendaciones.....	52
Anexos.....	59
Anexo 1. Pruebas de Hausman .....	59
Anexo 2. Matriz de correlación.....	59
Anexo 3. Resultado del modelo reducido (1) por entidades federativas.....	60
Anexo 4. Resultado del modelo reducido (2) por entidades federativas.....	61
Anexo 5. Punto de inflexión de las estimaciones significativas del modelo reducido (1) .....	62
Anexo 6. Punto de inflexión de las estimaciones significativas del modelo reducido (2) .....	62
Referencias Bibliográficas.....	55

## Introducción

El grado de entropía alcanzado por la sociedad global es preocupante, a lo largo de los años, gobiernos, como distintas organizaciones mundiales, han tratado de establecer un orden que permita continuar con el desarrollo social y económico a los países avanzados, y a los países en vías de desarrollo, encontrar el camino para alcanzarlo. A la vez, se encargan de lidiar con muchos otros temas como: la pobreza, el hambre, las enfermedades y pandemias, el rezago educativo, la discriminación, los conflictos bélicos, entre muchas otras dificultades sociales. Sin embargo, existe un tema en particular, que irónicamente ha sido ignorado por años, a pesar de que, directa o indirectamente, se relaciona con todos los problemas mencionados anteriormente, a pesar de que este, es el sustento de la vida: ¡El Medio Ambiente! (Salcedo *et al*, 2010).

La protección y cuidado de los recursos forestales, es un tema que ha tomado relevancia entre los países, dada su relación inminente con el cambio climático. Por ejemplo, un informe de la FAO (2020) sobre la evaluación de los recursos forestales mundiales, sostiene que la deforestación es uno de los principales impulsores del cambio climático, ya que genera enormes cantidades de emisiones de carbono almacenado en la vegetación; asimismo, impide la generación de servicios ecosistémicos imprescindibles, como la regulación de la temperatura, la conservación del suelo, la infiltración del agua para la recarga de los mantos acuíferos; y propicia la pérdida de la biodiversidad.

En este contexto, los procesos de deforestación generan importantes efectos ambientales negativos, que tienen que ver con el régimen del agua y con el régimen del suelo, así como con la conservación de la biodiversidad y con el cambio climático.

A su vez, las ciudades crecen de manera descontrolada devorando el paisaje. Los asentamientos humanos y el crecimiento acelerado de la población traen consigo ciertas problemáticas entre las cuales destacan la afectación directa al medio ambiente. En este sentido, las ciudades se han convertido en consumidoras de enormes cantidades de recursos naturales y generadoras de impactos ambientales masivos (ONU, 2019).

De acuerdo con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018), para el año 2018, las áreas urbanizadas están distribuidas por continentes de la siguiente forma: en América del Norte el 82% de la población vive en zonas urbanas; en América Latina y el Caribe el 81%; en Europa el 74% y en Oceanía el 68%. Asimismo, según su informe sobre crecimiento demográfico (2019), la población mundial se está duplicando y a su vez la población urbana se está triplicando en todo el mundo. De acuerdo con un Informe del Banco Mundial (2023), para el año 2022, alrededor del 56% del total de la población mundial ya vivía en las ciudades, y se espera que para el 2050, 7 de cada 10 personas vivirán en ciudades, desplazando casi por completo la vida en el campo, por lo que, planificar el crecimiento urbano es un tema que sigue siendo de suma importancia para los líderes mundiales actuales.

Otra importante razón para detener la pérdida de los recursos forestales es que estos son clave para disminuir la desigualdad social. La inminente relación que existe entre el crecimiento económico y la desigualdad es un asunto que ha venido ocupando a los estudiosos de las ciencias sociales y económicas desde el siglo pasado. Decidir si el crecimiento económico tiende a mejorar, empeorar o si no tiene ningún efecto sobre la distribución del ingreso, o por su parte, si un alto nivel de desigualdad es condición necesaria para acelerar el crecimiento, siguen siendo parte del debate.

Es por todo lo anterior, por lo que la economía ambiental ha enmarcado mayor interés por analizar los temas relacionados con la actividad económica y el medio ambiente. En este sentido, se argumenta que la actividad económica genera una demanda creciente de recursos naturales y activos ambientales, por lo que la producción de bienes y servicios tiene un impacto negativo en la calidad del medio ambiente. Esto es, dado que los servicios y bienes que proporciona el medio ambiente tienen un precio por debajo del óptimo o son gratuitos, generan un exceso de demanda por parte de los agentes económicos (Kolstad, 2001, Goodstein, 2002).

En 2015, el Gobierno de México asumió el compromiso internacional de alcanzar una tasa de deforestación cero para el año 2030, ante la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC); sin embargo, los esfuerzos para detener la pérdida de

cobertura forestal no han sido suficientemente robustos y no han logrado parar, y mucho menos revertir esta pérdida de bosques y selvas. En contraste, el gobierno federal ha apostado por una mayor extracción de combustibles fósiles, por el desarrollo de megaproyectos y el impulso de la industria extractiva, como estrategia para la generación de divisas que no se traducen en mayor bienestar social y que por el contrario generan enormes pasivos socioambientales.

Es así como, conforme a lo anterior, se vuelve imperante la necesidad de desarrollar política pública sólida y con respaldo económico e institucional con el objetivo de detener, o por lo menos mitigar, de alguna manera, los altos niveles de deforestación en el país.

En este sentido, el aporte principal de esta investigación, se centra en estimar el cambio de uso de suelo y vegetación para México a través de los últimos treinta años, y cómo esta área forestal se relaciona con el crecimiento económico del país, un análisis que hasta ahora, que tengamos conocimiento, no se ha realizado específicamente para el país mexicano, puesto que, la mayoría de las investigaciones encontradas, realizan este estudio comparando entre un grupo de países y son pocas las investigaciones que consideran un análisis en temas de áreas de cobertura forestal para las entidades federativas de un solo país.

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo es encontrar cómo es la relación entre el Producto Interno Bruto per cápita y el área forestal en las entidades federativas de México, considerando el primero como indicador del crecimiento económico y el área forestal como medida de la pérdida de áreas forestales en las entidades federativas del país.

Por tanto, la hipótesis de investigación es que, el PIB per cápita y el área forestal siguen una relación de U para las entidades federativas de México, tal como lo plantea la Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Por tanto, se espera obtener que el coeficiente del PIB per cápita sea negativo y el coeficiente del PIB per cápita elevado al cuadrado sea positivo.

La investigación se centrará en cinco capítulos fundamentales. El primer capítulo tratará el contexto actual de la problemática de la deforestación, en el mundo y en México; el

segundo presenta un marco teórico; el tercero abarca una revisión de la literatura realizando un contraste empírico de la CAK; el cuarto capítulo se enfocará en la estimación de la CAK nacional y por entidad federativa, los datos utilizados para la estimación, la estimación de parámetros, el tratamiento econométrico y las limitaciones del modelo. Por último, el quinto capítulo presentará los resultados de la estimación, así como la discusión que derive de ellos. Finalmente se sintetizan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

# Capítulo 1. Contexto actual

## 1.1 En el mundo

La conservación de los recursos naturales se relaciona con el bienestar de las sociedades y con la riqueza de los países. La humanidad se beneficia de este capital natural a través de la provisión de bienes y servicios, tales como alimentos, medicinas, materias primas, conservación y almacenamiento de agua, calidad del aire, agua y suelo y servicios de recreación para las generaciones presentes y futuras (Valls, 2004).

Con la aparición de la agricultura se comenzó a cambiar y modificar la tierra y el suelo. Posteriormente, con la revolución industrial, comenzó la afectación a la atmósfera. Asimismo, el incremento de la población mundial ha ampliado los efectos de las actividades agrícolas y económicas, lo que ha llevado al crecimiento demográfico, a ocultar, lo que podría ser una interacción todavía más importante entre los seres humanos y el medio ambiente (Ferrari *et al*, 2009).

A pesar de esto, en la mayor parte del mundo, los recursos naturales están siendo empleados de una manera en la que no se tiene en cuenta su valor intrínseco. El aprovechamiento, la extracción o el uso de estos, responden solamente, a estrictas señales de mercado, que les asigna un valor monetario basado en el intercambio, dado por la oferta y la demanda. Igual sucede con los bienes y servicios ambientales que carecen de mercado, que, al ser considerados sin valor, provoca su uso abusivo llegando, en algunos casos, hasta su degradación total. La aceleración de los ciclos económicos y el aumento del consumo mundial de los recursos naturales, ponen de manifiesto la incertidumbre acerca de la sostenibilidad económica, social y ambiental del sistema en el largo plazo (Sarmiento, 2003).

Ante estos sistemas de gestión no sostenible, se hace necesario desarrollar nuevas medidas de actuación, enmarcadas en políticas de conservación, protección y manejo de los diferentes recursos naturales y servicios ambientales. La aplicación de estas medidas requiere del conocimiento del valor de estos recursos y servicios que prestan los

ecosistemas naturales en sus diferentes aspectos, y de los métodos de su valoración (Linares y Romero, 2012).

De acuerdo con lo anterior, en las últimas décadas, la interacción del medio ambiente con la economía se ha convertido en una preocupación importante y creciente de los gobiernos e instituciones públicas de múltiples países; por tal motivo, la dimensión ambiental se ha ido integrando a la literatura y al pensamiento económico con gran énfasis. Por ello, un número cada vez mayor de naciones dedican esfuerzos significativos para desarrollar áreas interrelacionadas y complementarias, tales como las estadísticas del medio ambiente, los indicadores de desempeño ambiental, la contabilidad de los recursos naturales y el medio ambiente, entre otros estudios, aunados a los ya realizados en el ámbito de la contabilidad nacional (Linares y Romero, 2012).

Es así, como en los últimos años se ha generalizado la preocupación por la degradación del medio ambiente, problema cuyo tratamiento ha superado el ámbito nacional, por su complejidad. Ante ello, se han generado Declaraciones de organismos internacionales, Cumbres de la Tierra, Protocolos de actuación ante diversos problemas ambientales, entre otros. Sin embargo, las actuaciones concretas para paliar, prevenir o revertir los efectos perniciosos de la actividad humana suscitan mucho menos interés y mayor grado de discrepancia (Ferrari *et al*, 2009).

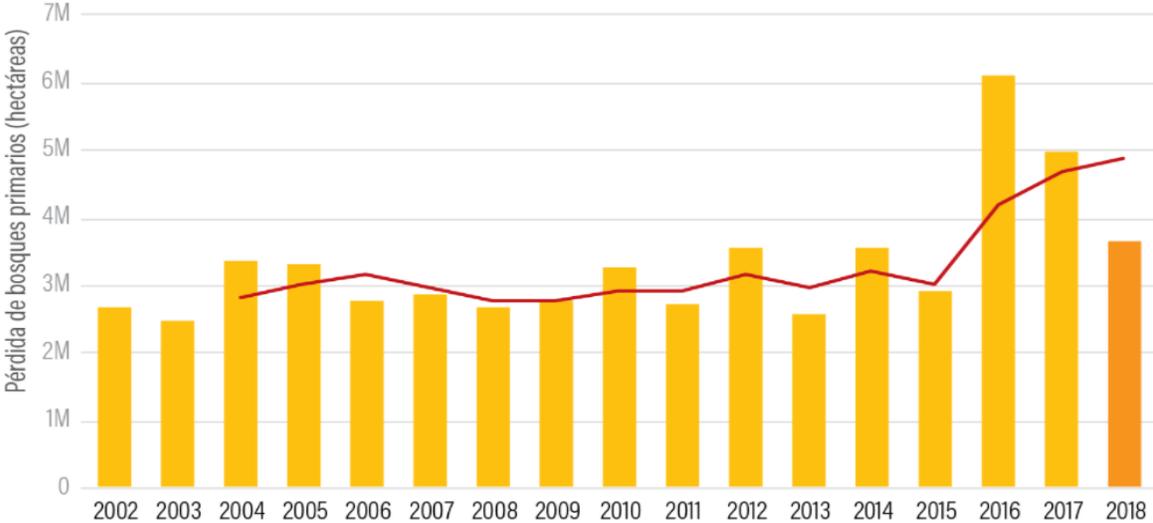
Según National Geographic (2021), el último siglo ha supuesto el mayor costo de deforestación<sup>1</sup> de la historia de la humanidad, arrasando con el 15% de la superficie mundial de vegetación, equivalente al territorio de España, Portugal y Francia. De acuerdo con la organización, en los últimos 13 años, la deforestación ha arrasado con 43 millones de hectáreas en todo el mundo, acabando con bosques y selvas de forma masiva y causando un inmenso daño a la calidad de los suelos. Por su parte, The Global Forest Watch (2021) publicó un reportaje para la revista *Forest Pulse: The Latest on the World's Forests*,

---

<sup>1</sup> La FAO define la deforestación como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra, independientemente de si es inducido por humanos o no. Por su parte, GreenPeace la define como la pérdida de bosques y selvas debido al impacto de las actividades humanas o causas naturales. En general, la deforestación puede ser entendida como un fenómeno de reducción de la superficie forestal, que puede ser causada por múltiples factores, tanto naturales como humanos, y que, a su vez tiene consecuencias irreversibles en el medio ambiente.

en el cual se estima que, para el año 2020, la pérdida de bosques primarios a nivel mundial creció 12% a pesar de la pandemia sanitaria por Covid-19, el gráfico 1 presenta información para el período de 2002 a 2018.

**Gráfico 1. Pérdida de bosques primarios 2002-2018**



Fuente: Global Forest Watch (2021).

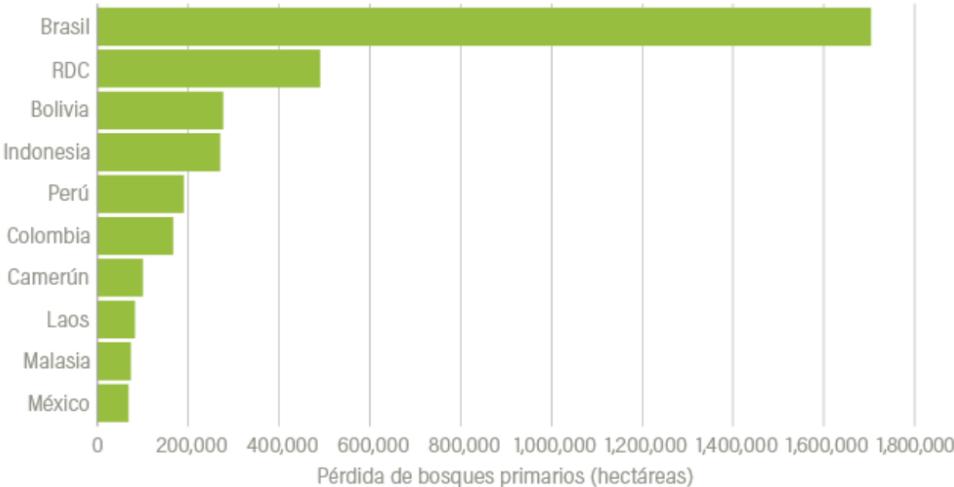
El gráfico 2 presenta los diez países con mayor pérdida de bosques primarios en 2020. Brasil encabeza la clasificación y México ocupa el décimo sitio.

En el reporte de The Global Forest Watch (2021) también se analiza cómo afectó el Covid-19 a los bosques del mundo, sin embargo, los datos no revelan ningún cambio claro y sistemático en la tendencia de pérdida de bosques que pueda vincularse con la pandemia.

A pesar de esto, resulta relevante identificar, cómo los países eligen reconstruir sus economías después de la pandemia de coronavirus y si sus decisiones afectan a la deforestación. De hecho, algunos países ya han debilitado las protecciones ambientales en nombre de la recuperación económica, por lo que sería importante identificar si está

situación ha sido extensiva y estimar cómo afectará a la pérdida de bosques en los años venideros.

**Gráfico 2. Los 10 países con mayor pérdida de bosques primarios en 2020**



Fuente: Global Forest Watch (2021).

Además, la FAO (2020) reportó el siguiente análisis forestal por continentes: África registró la mayor tasa anual de pérdida neta de bosques en el periodo de 2010 a 2020, con 3.9 millones de hectáreas (ha). A su vez, la tasa de pérdida neta de bosques ha aumentado en África en cada uno de los tres decenios transcurridos desde 1990. También estima que, anualmente, América del Sur tuvo una pérdida neta de bosques de 2.6 millones de ha entre 2010 y 2020. Asimismo, Asia tuvo la mayor ganancia neta de superficie forestal para el periodo 2010 a 2020. Por último, Oceanía experimentó pérdidas netas de superficie forestal en los decenios 1990-2000 y 2000-2010. El gráfico 3 presenta la propiedad forestal en el mundo, por continente, para el año 2015.

**Gráfico 3. Propiedad forestal, por continente**



Fuente: FAO (2020).

## 1.2 En México

Para México, el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), registra, integra, organiza, actualiza y difunde la información en materia forestal en concordancia con el artículo 37 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2018).

El SNIF define un ecosistema forestal como la unidad básica de interacción de los recursos forestales entre sí y de estos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados. Los clasifica en bosques templados, selvas, manglares y zonas áridas y semiáridas, además, estima que el 70% del territorio mexicano está cubierto por vegetación forestal.

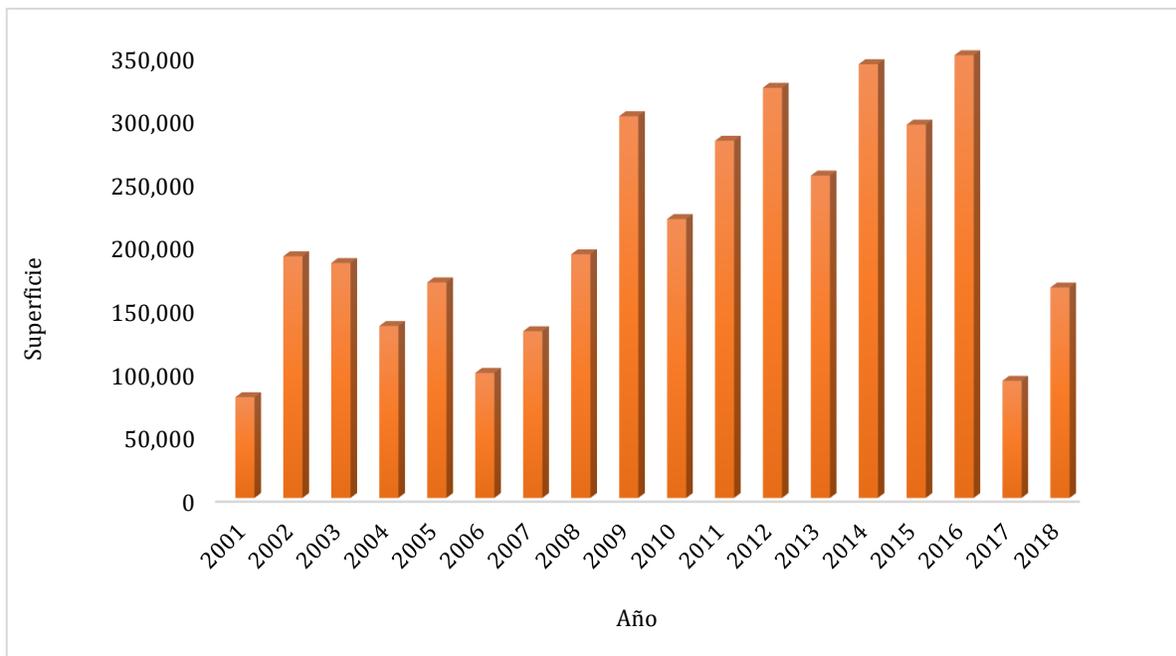
La importancia de los ecosistemas forestales es tal que, en México, existen 137.8 millones de hectáreas con cobertura de vegetación forestal; además, hay 10.9 millones de personas que habitan en o dependen de los ecosistemas forestales, de las cuales 3.4 millones habitan en Pueblos Originarios, y existen 16,707 ejidos y comunidades en ecosistemas forestales, lo que significa tendencia colectiva de la tierra de 62.4 miles de ha.

La CONAFOR considera como deforestación la pérdida de cobertura de Bosque o reducción de cobertura de dosel por debajo del umbral mínimo (10%), con cambio de uso de suelo forestal a no forestal, de forma permanente durante el periodo de análisis. De manera operativa, en esta definición de *Bosque* se incluyeron todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como bosques templados y selvas. Además, se incluyeron los tipos de vegetación de matorrales xerófilos, vegetación hidrófila y otros tipos con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. No se incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola (huertas) o urbano (parques).

De acuerdo con el informe de la CONAFOR (2020), sobre la estimación de la Tasa de Deforestación Bruta (TDB) en México, mediante el método de muestreo, en el periodo 2001–2018, se perdieron en promedio, 212,070 ha de cobertura forestal al año. El valor mínimo de la deforestación ocurrió en el año 2001 con 79,672 ha; mientras que el máximo fue en 2016 con 350,298 ha, es decir, más de cuatro veces la deforestación estimada para el 2001. Según este informe, el comportamiento de la TDB muestra una tendencia general creciente desde el año 2001 hasta 2016, con un pico máximo en este último año. Para 2018 se estimó una TDB de 166,337 ha, esto representa más del doble que 17 años atrás.

El gráfico 4 presenta las tasas anuales de deforestación bruta a nivel nacional para el periodo de 2001 a 2018.

Gráfico 4. TDB en México, 2001-2018



Fuente: Realización propia con base en CONAFOR (2020).

El informe identifica como las zonas más críticas de deforestación, de acuerdo con los patrones de incidencia, las localizadas principalmente en la Península de Yucatán, es decir, los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán y Chiapas, seguido de los estados de Michoacán y Jalisco. Además, otras regiones como la zona limítrofe sur entre Oaxaca y Veracruz, Guerrero y San Luis Potosí, también presentaron una dinámica importante de deforestación bruta entre los años 2001 a 2018.

Es importante mencionar que las tierras forestales de la Península de Yucatán enfrentan hoy en día la amenaza de la industria porcícola.

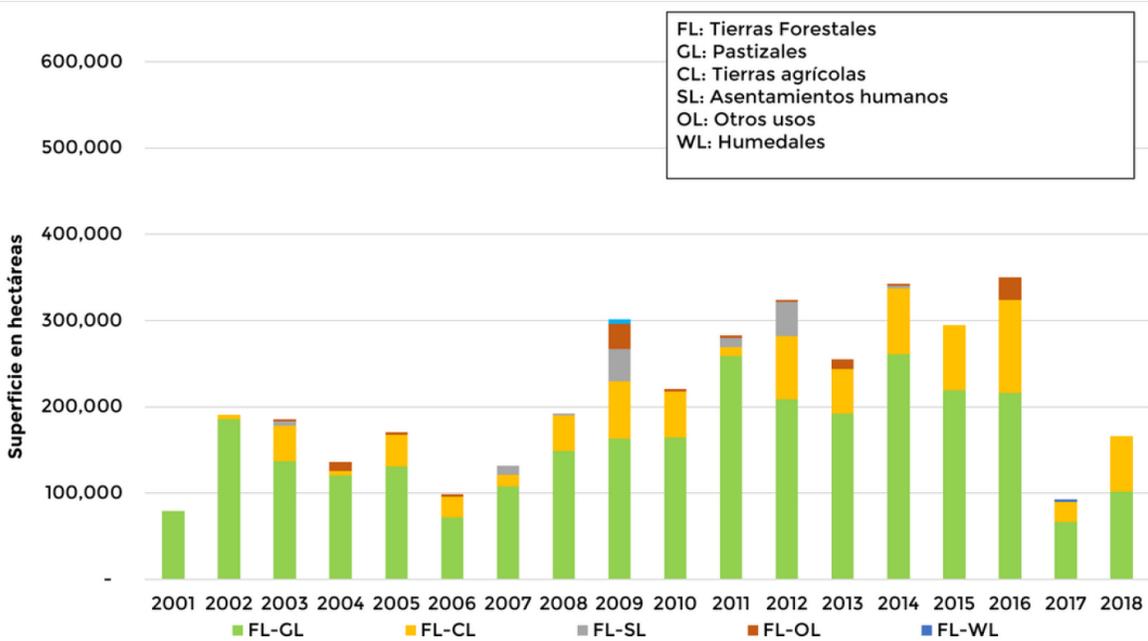
De acuerdo con el informe *“La carne que está consumiendo al planeta”* de Greenpeace (2020), de las 257 granjas porcícolas con registro en alguna base de datos oficial en la Península de Yucatán, 122 de ellas, es decir, el 47% están establecidas en regiones consideradas sitios de atención prioritaria para la conservación de la biodiversidad. En la península de Yucatán, 45% de las actividades destinadas a producir alimento para los animales de la industria porcícola se desarrolla sobre la selva seca, 31% de su superficie

actual ocupada por las granjas ha sido deforestada y 10,997 ha de selva han sido potencialmente deforestadas a causa de actividades relacionadas con la industria porcícola.

Entre las principales causas de la deforestación en México se encuentran: el incremento de la frontera agrícola y ganadera, la tala ilegal, los incendios forestales, la expansión de áreas urbanas e industriales, las plagas y las enfermedades de los árboles, entre otras.

La CONAFOR estima que, en promedio, de 2001 a 2018, alrededor de 157,528 ha de tierras forestales al año fueron transformadas a pastizales; 42,785 ha se transformaron para uso en la agricultura y 6,035 ha se convirtieron en asentamientos humanos. El gráfico 5 presenta las tasas anuales de deforestación bruta, en nivel nacional, desglosadas por causa de deforestación.

**Gráfico 5. TDB en México por causa de deforestación, 2001-2018**



Fuente: CONAFOR (2020).

Además, según un informe de la organización Greenpeace, sobre la deforestación en México (2021), algunas causas indirectas de la deforestación son: los asentamientos de grupos migrantes; los bajos costos de la tierra, la mano de obra, el combustible y la madera; el incremento en el precio de los cultivos; las políticas públicas con objetivos contrarios al cuidado y la preservación del medio ambiente; la falta de planeación integral sobre el manejo del territorio, que conllevan subsidios gubernamentales para el desarrollo de actividades pecuarias, frutícolas o energéticas en áreas con vocación forestal; el incremento en la tecnología agrícola que incentiva el crecimiento de la actividad, entre otras.

Según la *Carpeta Informativa: Deforestación en México del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados (2017)*, se estima que las áreas forestales están habitadas por alrededor de 11.04 millones de personas, quienes a su vez padecen altos niveles de rezago, evidenciando el uso desigual de los recursos naturales y dificultando a su vez que las comunidades se organicen mejor para la protección de los bosques. Según este reporte, un porcentaje de viviendas particulares habitadas sin drenaje es casi cuatro veces mayor en las áreas forestales que en todo el país. Algo similar se observa respecto a la disponibilidad de agua entubada, en donde el porcentaje nacional es de 11% de viviendas sin este servicio y de 30% en las áreas forestales. A pesar de que en México solo 19% de las viviendas particulares habitadas están en un área forestal, es ahí donde habita el 45% de las personas analfabetas de 15 años y más, 68% de las viviendas que no tienen drenaje y 67% de las viviendas sin energía eléctrica, entre otras características similares.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.1 Curva Ambiental de Kuznets

En 1955, Simon Kuznets publicó la investigación titulada *“Crecimiento económico y desigualdad en el ingreso”*, en el cual plantea la hipótesis de que existe una relación entre el crecimiento económico y la desigualdad. A su vez, considera que esta relación es directa durante las primeras etapas de desarrollo, pero que, se llega a un punto crítico, en el cual, la desigualdad se va reduciendo a medida que el crecimiento económico avanza. Lo anterior significa que, gráficamente, la relación de largo plazo entre crecimiento económico y desigualdad presenta la forma de una U invertida, cuando el crecimiento se encuentra en el eje horizontal y la desigualdad en el eje vertical. Esta curva en forma de U invertida se conoce desde entonces, en los estudios sobre crecimiento y distribución, como la curva de Kuznets o hipótesis de Kuznets, y en torno a ella se han elaborado numerosos trabajos para confirmar o desvirtuar su validez.

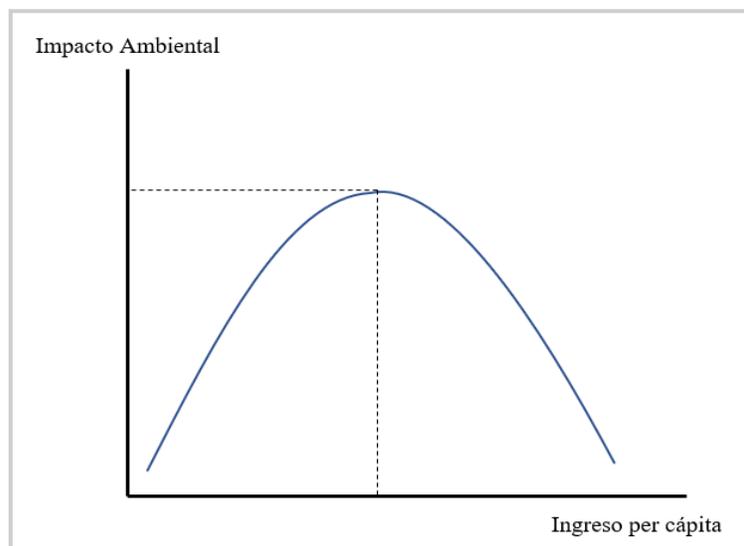
De acuerdo con Kuznets (1955), excluyendo al gobierno, hay dos fuerzas que explican la desigualdad de los ingresos, sin considerar el efecto de los impuestos, estos son: la concentración de ahorros en los grupos de mayores ingresos y la estructura industrial de la distribución de los ingresos. La primera lleva a desigualdad en ahorros, la cual, manteniendo todas las otras condiciones constantes, tiene un efecto acumulativo al incrementar la proporción de activos que producen ingresos en manos de los grupos más ricos, produciéndose así una mayor concentración de ingresos por parte de estos grupos y de sus descendientes.

La segunda es resultado del proceso de industrialización y urbanización, promoviendo un crecimiento económico que no se apoya en las actividades agrícolas. Por un lado, el proceso aumenta la proporción urbana de la población total, la cual se asume es más desigual que la rural. Por el otro, debido a que el promedio del ingreso per cápita de la población rural es usualmente más bajo que el de la urbana, Kuznets argumenta que esta brecha entre los ingresos medios relativos tiende a ensancharse como resultado de un

crecimiento más rápido de la productividad per cápita en las actividades económicas urbanas que en las agrícolas.

Esta teoría fue llevada al campo ambiental a principios de la década de 1990. En este caso, la hipótesis de la CAK plantea que el crecimiento económico y el deterioro ambiental tienen una relación de “U” invertida, es decir, que la degradación ambiental aumenta con el crecimiento económico, alcanza un máximo, y luego comienza a caer a partir de un nivel crítico de ingreso. El gráfico 6 presenta dicha relación entre el ingreso per cápita y el impacto ambiental.

**Gráfico 6. Curva Ambiental de Kuznets (CAK)**



Fuente: Elaboración propia con base en Grossman y Krueger, 1995.

La implicación de esta hipótesis para la política ambiental es que la calidad medioambiental puede ser sacrificada con la esperanza de que, en el futuro, el crecimiento económico permita mejoras en este ámbito. Es decir, se plantea que, en el largo plazo, una economía de libre mercado y el crecimiento económico, resultan ser estrategias adecuadas para resolver los problemas ambientales (Pérez *et al*, 2018).

De acuerdo con Grossman y Krueger (1995), el método para estimar empíricamente la CAK, es la salida de una variable de estrés o daño ambiental con el nivel de ingreso per cápita, lo que permite una relación no lineal como la siguiente:

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

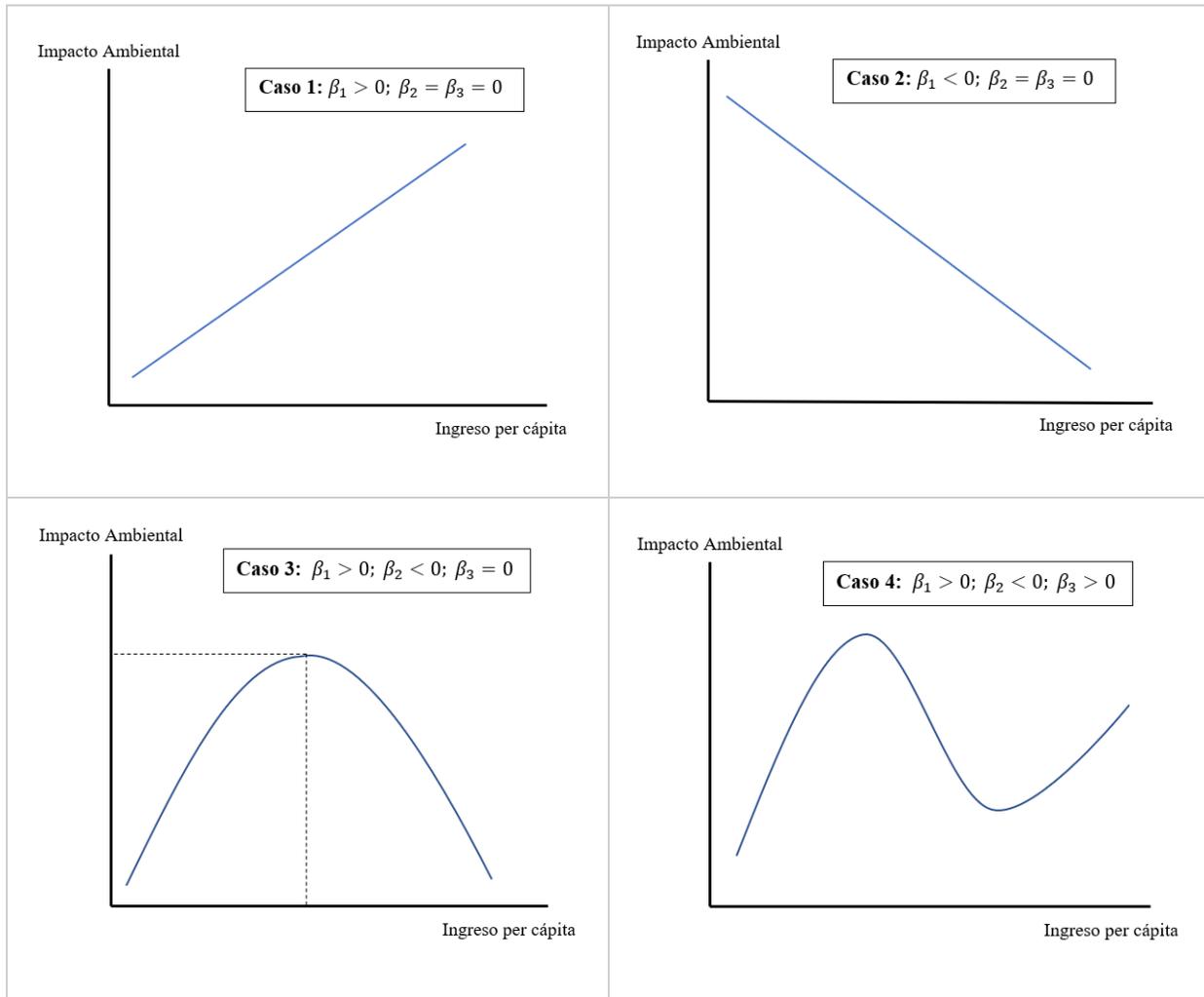
Con  $i = 1, 2, \dots, N$ .  $t = 1, 2, \dots, T$ .

Donde,  $D$  es la variable de estrés o impacto ambiental,  $Y$  es el ingreso per cápita a menudo representado por el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, y  $\varepsilon$  es el término de error. Los subíndices indican observaciones para distintos individuos  $i$ , como pueden ser países, estados, ciudades, etc., y periodos de tiempo  $t$ . Es decir, se trata de observaciones de datos de Panel.

La relación de U inversa, se encuentra cuando se estima  $\beta_1$  positivo y estadísticamente significativo y  $\beta_2$  negativo y significativo. La CAK también puede tomar otras formas que son igualmente discutibles y relevantes de analizar, tal como se muestran en el gráfico 7.

Inicialmente, se propuso la relación en forma de U invertida, propuesta por Kuznets en 1955, y posteriormente se aplica a la economía ambiental por Grossman y Krueger en 1995, cuando plantean la relación entre la calidad del medio ambiente y el ingreso per cápita (ver gráfico 6). Sin embargo, tal como se muestra en el gráfico 7, esta relación puede presentar diferentes formas en función del valor que adopten los coeficientes  $\beta$  en la ecuación (1). Los cuatro principales casos se describen en este gráfico.

Gráfico 7. Restricciones en la estimación de la CAK



Fuente: Elaboración propia con base en Grossman y Krueger, 1995.

**Caso 1:**  $\beta_1 > 0; \beta_2 = \beta_3 = 0 \rightarrow$  A medida que se incrementa el crecimiento económico, también lo hace el deterioro ambiental, es decir, se trata de una relación lineal y directa (monótona creciente), donde, mayor crecimiento económico significa mayor deterioro del medio ambiente.

**Caso 2:**  $\beta_1 < 0; \beta_2 = \beta_3 = 0 \rightarrow$  A medida que se incrementa el crecimiento económico, el deterioro ambiental se reduce, es decir, la relación es lineal e inversa (monótona decreciente). Por tanto, mayor crecimiento económico significa una mejor calidad ambiental.

**Caso 3:**  $\beta_1 > 0$ ;  $\beta_2 < 0$ ;  $\beta_3 = 0 \rightarrow$  Determina una relación cuadrática en forma de U invertida que describe la forma cóncava en la relación entre el deterioro ambiental y el crecimiento económico, tal como lo propusieron Grossman y Krueger (1995). Dicha relación indica que altos niveles de crecimiento están asociados con una mejor calidad del ambiente en el largo plazo. Existe un punto de inflexión que se determina como  $-\beta_1/2\beta_2$ .

**Caso 4:**  $\beta_1 > 0$ ;  $\beta_2 < 0$ ;  $\beta_3 > 0 \rightarrow$  Determina una relación en forma de N, se trata de una función cúbica completa (polinomio cúbico). En este caso se cumple la hipótesis de U invertida hasta cierto nivel a partir del cual el deterioro ambiental vuelve a aumentar. Esto implica que, al incrementarse el crecimiento económico, también aumenta el deterioro ambiental para contraerse eventualmente y volver a crecer después. Lo que significa que un mayor nivel de ingreso no implica una reducción en el deterioro ambiental.

## 2.2 La Hipótesis de Transición Forestal

La Hipótesis de Transición Forestal (HTF) se define como el proceso a través del cual un territorio determinado pasa de una situación en la que predomina la deforestación y la pérdida de superficie de bosques, a otra caracterizada justamente, por lo contrario, es decir, por una forestación que genera ganancias netas de superficie forestal.

A partir de la década de los 50's, el mayor impacto en la deforestación se produjo en los países tropicales en vías de desarrollo, pues, los países más desarrollados, en su mayoría talaron sus árboles en los siglos XIX y XX. Sin embargo, la llamada HTF, conocida como el proceso de cambio al pasar de la deforestación a una cubierta forestal estable, podría ser alcanzada por los países en desarrollo, una vez obtenido cierto nivel de crecimiento económico. Lo anterior puede lograrse gracias a, entre otras cosas, la creciente escasez y la mayor conciencia acerca de la importancia de los recursos forestales, lo que podría impulsar políticas de protección e inclusive reducir su pérdida (Mather, 1992).

En 1992, Mather plantea que las presiones para deforestar provienen de la economía en general y del nivel de desarrollo económico, no solo del sector forestal. Por lo tanto, a medida que se desarrolla una economía, las influencias cambian. Por ejemplo, en las primeras etapas del desarrollo económico, el crecimiento de la población y la demanda de

tierras agrícolas aumentan rápidamente y los bosques a menudo se talan para dar paso a las granjas.

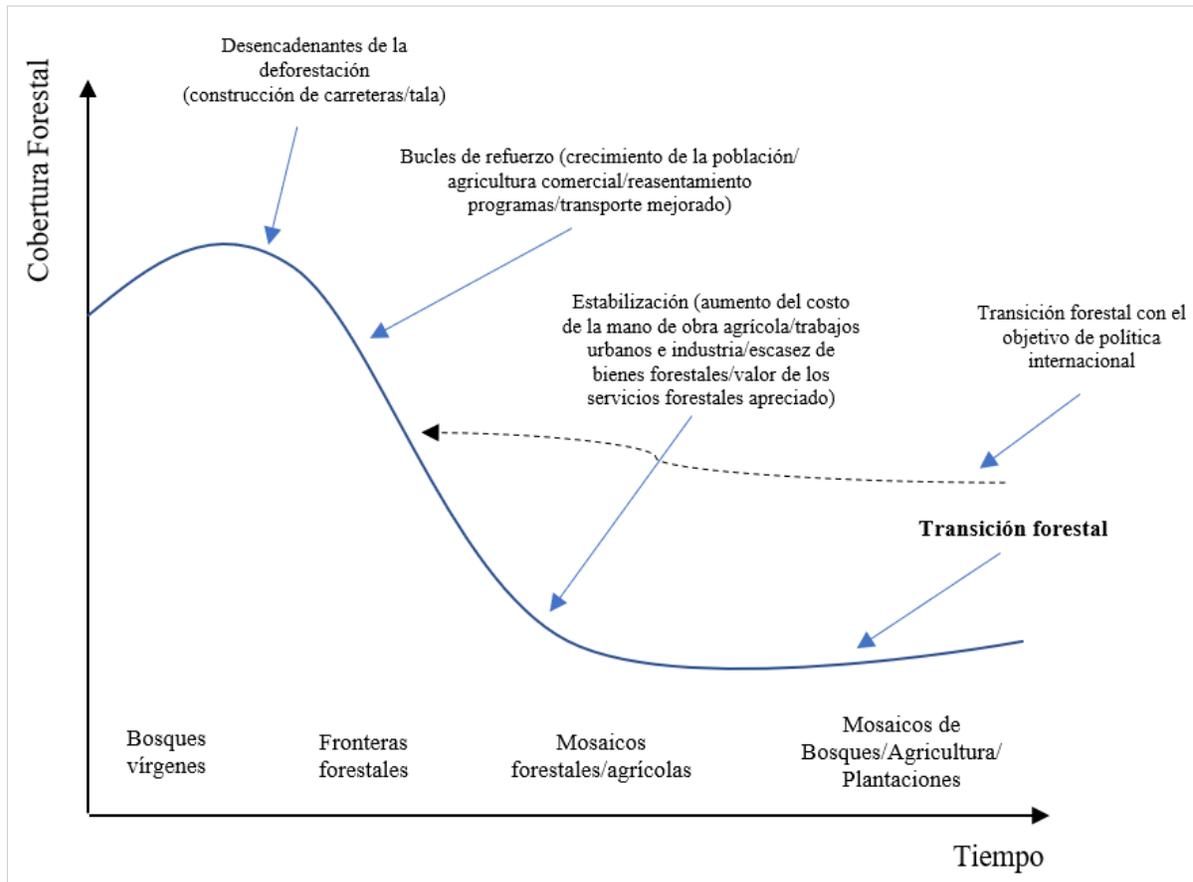
Además, los países menos desarrollados a menudo intentan aumentar las exportaciones de materias primas y fomentar la industria maderera y otras industrias primarias que causan la deforestación. Las ganancias de estas industrias crean capital que a menudo se invierte en actividades e infraestructura de transporte que fomentan una mayor deforestación. Esto conduce a una deforestación muy rápida y acelerada (Culas, 2012).

La HTF puede ocurrir con un nivel de desarrollo económico y social mayor que el nivel actual. Sin embargo, los países que no se desarrollan a medida que deforestan, sino que quedan atrapados en un ciclo de pobreza y agricultura de subsistencia (por ejemplo, Etiopía y Haití), a menudo continúan perdiendo cobertura forestal (Rudel et al., 2005).

De acuerdo con esta hipótesis, después de ocurrir la transición, la cubierta forestal permanece estable, a menudo en niveles bajos, o tiende a aumentar gradualmente, patrón que ha ocurrido en Europa y América del Norte durante los últimos dos siglos (Angelsen, 2007), así como en países como India, Bangladesh y Costa Rica en tiempos recientes (Kanninen et al., 2007). Más recientemente, China ha experimentado una transición forestal con niveles crecientes de cubierta forestal donde el crecimiento económico creó oportunidades no agrícolas y aseguró políticas de tenencia (Xu et al., 2007).

Este proceso se ilustra en el gráfico 8, de acuerdo con sus implicaciones para el objetivo de la política internacional.

Gráfico 8. La TF y el objetivo de la política internacional



Fuente: Elaboración propia con base en Culas, 2012.

Desde esta perspectiva, la teoría de la HTF se relaciona con diferentes trabajos que han tratado de identificar una CAK para los procesos de deforestación.

Las investigaciones basadas en la CAK simplifican el proceso de desarrollo económico tomando como indicador básico el crecimiento del PIB per cápita y a partir de ahí lo correlacionan con la evolución de la deforestación, encontrando en qué medida la relación entre ambas variables ha evolucionado, siguiendo una curva en forma de U invertida. Es así como ambas teorías se entrelazan para explicar el proceso de transición forestal o del cambio de uso de suelo en los países (Iriarte, 2018).

Esta mezcla se da cuando el crecimiento económico crece continuamente a lo largo del tiempo, en ese punto, la CAK para la deforestación (CAKd) tiene un parecido notable con

la HTF de Mather (1992). Dicha similitud se puede mostrar colocando la clásica relación de la CAK en forma de campana entre la tasa de deforestación y el PIB per cápita directamente encima de la relación de la transición forestal entre la cobertura forestal y el tiempo, tal como se muestra en el gráfico 9.

Esto sucede cuando la pendiente positiva de la CAK, es decir, cuando la tasa de deforestación aumenta con el PIB, se alinea precisamente con la pendiente decreciente de la HTF, o sea, cuando el nivel de cobertura forestal disminuye con el tiempo.

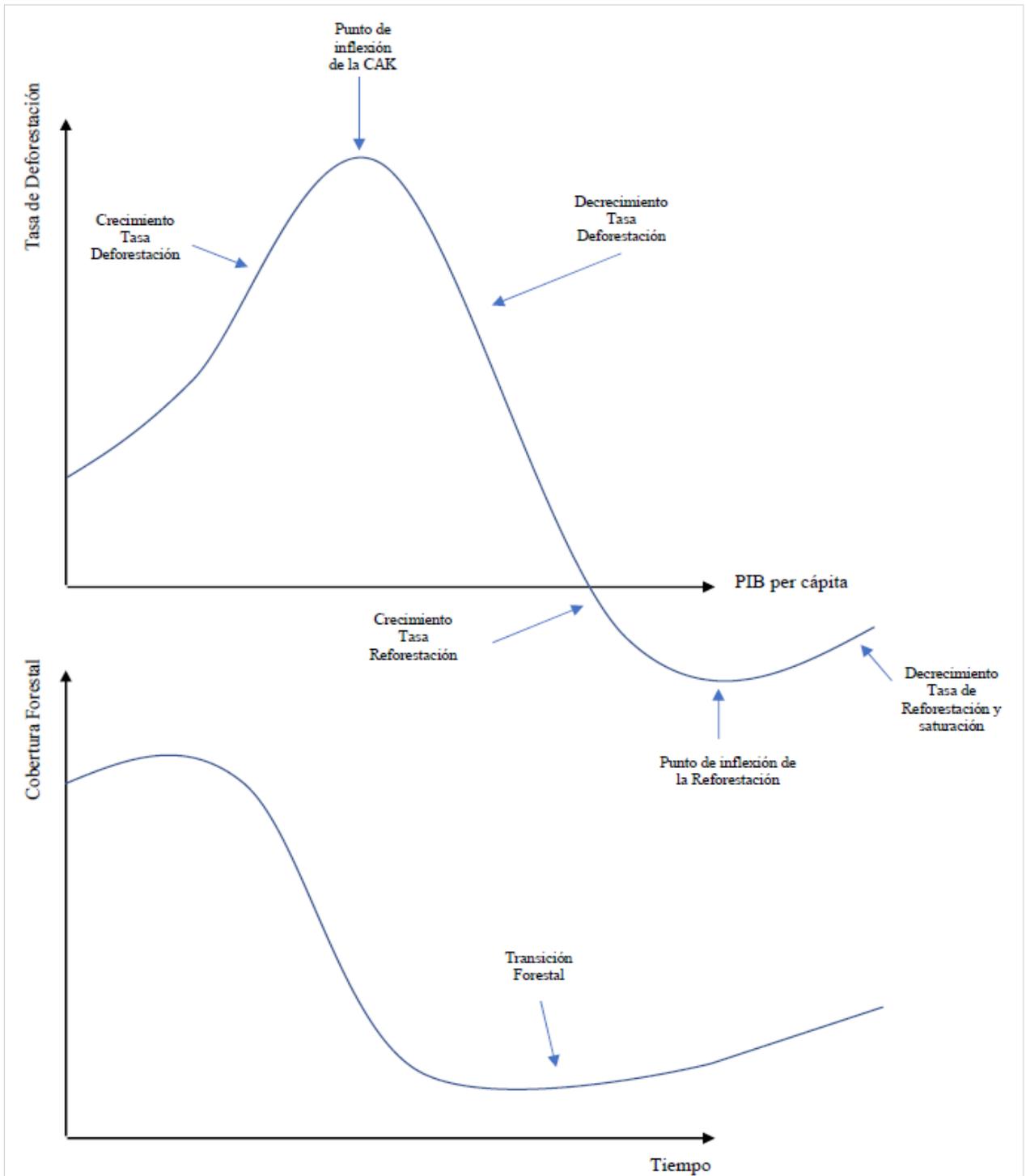
Eventualmente, donde la CAK alcanza su máximo, este punto de inflexión corresponde al primer punto de inflexión de la HTF. La deforestación continúa, aunque a un ritmo más bajo, y la cobertura forestal continúa disminuyendo hasta que la trayectoria de la HTF alcanza su mínimo (deforestación cero), y comienza su transición hacia un nuevo período de recuperación y aumento de la cobertura forestal total (tasa de reforestación).

Este segmento final de la HTF corresponde a una sección nueva y previamente no identificada de la CAK general, un segmento que es relevante para los recursos biológicos como los bosques que crecen y pueden recuperarse (Caravaggio, 2020).

Generalmente, el razonamiento tiene que ver con la población y con la presión que esta ejerce sobre la tierra. Si las altas tasas de crecimiento poblacional conllevaban una extensión de la superficie cultivada que se realiza a costa de los bosques, la desaceleración del crecimiento poblacional, unida a la mejora en los rendimientos de la agricultura, junto con políticas concretas de protección y de regeneración forestal, podrían desembocar en la HTF y eventualmente en la CAK.

Es así como, la suposición importante para cualquier comparación de la HTF con la CAK es que el tiempo en el eje horizontal de la HTF es consistente con el desarrollo económico continuo a lo largo del tiempo.

Gráfico 9. La CAK y la HTF



Fuente: Elaboración propia con base en Caravaggio, 2020.

## Capítulo 3. Contraste empírico de la Curva Ambiental de Kuznets: una revisión de la literatura

### 3.1 Curva Ambiental de Kuznets (CAK)

El uso extensivo de la curva de Kuznets en el área ambiental se originó con los artículos de Grossman y Krueger (1991) sobre los impactos ambientales del Tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN) y de Shafik y Bandyopadhyay (1992) sobre ingreso y medio ambiente, que sirvieron de base para el World Development Report del Banco Mundial, en 1992. Por su parte, en ese mismo año, Mather fue el primero en utilizar el concepto de la HTF y que, a su vez, acuñó la expresión usando los datos existentes sobre incrementos netos de superficie forestal de varios países desarrollados y trató de analizar sus principales causas.

Posteriormente, en 1995, los economistas Grossman y Krueger establecieron una relación en forma de U invertida para el ingreso y la contaminación, específicamente dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y humo, es decir, nube de finas partículas en suspensión, también conocida como esmog. Ellos descubrieron en su estudio que, las concentraciones de dióxido de azufre y humo aumentan a un nivel bajo de ingresos y disminuyen a un nivel más alto, al analizar los datos de 42 países. Los estudios sobre la CAK siguiendo a Grossman y Krueger (1991) han mostrado una tendencia irregular.

Panayotou (1995) y Song et al. (2008) mostraron que la hipótesis de CAK fue apoyada por todos los contaminantes empleados en estudios en común, mientras que Grossman y Krueger (1995), Akbostanchi et al. (2009) y Shaw et al. (2010) demostraron que la U invertida no se describe necesariamente para todos los indicadores ambientales. Más recientemente, se informa que la relación en forma de U inversa con respecto al dióxido de carbono fue aceptada para China y para Francia, pero fue rechazada para Turquía y para Rusia. También se debe señalar que estos resultados inconsistentes podrían deberse a otros factores, como la especificación del modelo y las variables empleadas (Stern, 2004).

La literatura de la CAK también otorga importancia a la tecnología, lo que sugiere que puede influir potencialmente en el patrón de U invertida al *aplanar* la CAK sin impedir el crecimiento económico de un país (Panayotou 2003). Una tecnología más avanzada, generalmente permite la sustitución de productos forestales por otros equivalentes no forestales.

Dicha importancia sucede porque las mejoras en innovaciones tecnológicas en la agricultura también pueden reducir la necesidad de expansión hacia los bosques al permitir la intensificación de los cultivos, lo que crea una mayor productividad en las tierras agrícolas ya existentes. Tales avances incluyen fertilizantes naturales y artificiales, maquinaria agrícola, nuevas prácticas de cultivo, mejor riego, etc. Sin embargo, a menudo estas innovaciones pueden resultar costosas, especialmente para estos agricultores de subsistencia. Como tal, la tecnología puede mejorar las posibilidades de una CAK, pero solo si esa tecnología puede difundirse de manera fácil y asequible.

### **3.1.1 Curva Ambiental de Kuznets para la Deforestación (CAKd)**

En un inicio, la mayoría de los estudios internacionales sobre deforestación, se habían centrado en el impacto del crecimiento demográfico en el proceso de deforestación. De hecho, mucho antes del surgimiento de la literatura de la CAK, Samuelson (1976) postuló una relación de CAK para la conservación de la naturaleza y los recursos forestales debido a sus características de bien público y los altos costos de oportunidad asociados con la preservación de los bosques. También ilustró la importancia de los impactos institucionales, inducidos por el crecimiento de los ingresos, en la decisión del aprovechamiento forestal (Bhattarai y Hammig, 2004).

De este modo, la literatura básica de la CAKd se compone de análisis entre países, la mayoría de ellos se centran en países tropicales y en desarrollo, a menudo agrupados por región geográfica: África, Asia y América Latina; aunque algunas evaluaciones también incluyen países desarrollados y templados. Choumert et al. (2013) resumió gran parte de esta literatura en un meta análisis de 69 estudios, desde principios de los noventa hasta el 2012, mostrando que varios análisis más recientes tienden a rechazar la hipótesis de una

relación en forma de U inversa entre la tasa de deforestación y el crecimiento económico. Sin embargo, algunas evaluaciones aún más recientes publicadas después de 2013 han producido los resultados opuestos, apoyando la idea de una CAKd y, por lo tanto, dejando abierta la cuestión de si la hipótesis de la CAKd es verificable (Caravaggio, 2020).

Shafik y Bandyopadhyay (1992) realizaron la primera evaluación de la pérdida forestal anual y total, la primera para 66 países durante el período de 1962 a 1988, la última para 77 países (también países desarrollados) desde 1961 hasta 1988. Utilizaron una metodología de panel de efectos fijos para examinar tres modelos básicos: lineal, cuadrático y cúbico para la CAK de cada uno de varios contaminantes, así como para la deforestación. Los signos de las variables independientes en sus regresiones fueron consistentes con la CAK, pero sus coeficientes no fueron estadísticamente significativos.

Cropper y Griffiths (1994) realizaron la primera evaluación que se centró únicamente en la deforestación. Obtuvieron datos forestales en su totalidad de los Anuarios de Producción Forestal de la FAO, una fuente común para todos estos análisis. Estimaron un modelo de efectos fijos durante el período de 1961 a 1988 para un panel de 64 países tropicales, con términos de cambio tanto lineales como cuadráticos en el PIB per cápita, utilizando como variables de control el precio de los troncos tropicales, la densidad de población rural y el cambio en la población. Sus resultados respaldaron una CAKd para África y América Latina con puntos de inflexión de 4,760 y 5,420 dólares estadounidenses, respectivamente.

Algunas otras evaluaciones recientes, enfocadas en países específicos, tienden a apoyar en general a la CAKd. Por ejemplo, Esmaeili y Nasrnia (2014) utilizaron un modelo de retraso distribuido autorregresivo (ARDL) para confirmar la CAKd de Irán con un punto de inflexión estimado de 24,555 dólares estadounidenses. También para Irán, pero con una estimación de Mínimos Cuadrados Ordinarios, Taghvaei y Shirazi (2014) confirmaron una CAK, no solo para la deforestación, sino también para la contaminación atmosférica y del agua.

Entre las contribuciones más recientes, se encuentran los trabajos de Wang et al. (2019) y Murshed (2020). Wang et al. (2019) investiga la CAKd para China, mediante la realización de un panel de Mínimos Cuadrados Generalizados a nivel provincial, utilizando datos recuperados de ocho inventarios forestales nacionales que cubren el período de 1973 a 2013. Sus resultados respaldan una CAKd, con un punto de inflexión oscilando entre 2,476 y 2,721 yuanes chinos (aproximadamente 350-380 dólares estadounidenses). Por su parte Murshed (2020) en cambio, probó la CAKd para el caso de Bangladesh con tres variables de respuesta diferentes: cobertura de área forestal, tasa de deforestación y tasa neta de agotamiento forestal. Este análisis cubre el período de 1971 a 2018 y realiza un análisis de MCO totalmente modificado (FMOLS) (Phillips y Hansen, 1990). Las estimaciones de elasticidad confirmaron la relación en forma de U invertida para los tres indicadores (Caravaggio, 2020).

En conclusión, la literatura inicial, basada en gran medida en los datos del Anuario de producción de la FAO, apoya la hipótesis de la CAKd. La literatura posterior, generalmente basada en datos diferentes de la FAO, introdujo técnicas econométricas mejoradas, pero también incertidumbre sobre la existencia de un CAKd. A pesar de esto, literatura reciente, inclusive con datos diferentes, a menudo apoya la hipótesis, particularmente para países o regiones en desarrollo. Por su parte, el estudio de los países desarrollados se ha ignorado en gran medida por la literatura, y esto es importante porque, sin datos de países desarrollados solo tenemos una imagen parcial de la CAKd y, por lo tanto, desconfianza en la veracidad del punto de inflexión de la CAKd, así como, poco conocimiento de la cola derecha de la curva. Por supuesto, gran parte del problema radica en la calidad de los datos de cobertura forestal a largo plazo disponibles para toda investigación (Caravaggio, 2020).

Aunque varios estudios han probado una CAK para la deforestación, los modelos cuantitativos de deforestación rara vez han examinado los efectos y la calidad de las políticas ambientales y los arreglos institucionales para asegurar los derechos de propiedad sobre la deforestación. Unos pocos estudios que han examinado el papel de las instituciones en la deforestación carecen de datos que se relacionen directamente con la seguridad de los derechos de propiedad o con las instituciones que protegen los derechos de propiedad. Estos estudios se han basado en medidas de inestabilidad política como

golpes de estado, revoluciones y asesinatos políticos, o índices de libertad política y libertades civiles de Gastil<sup>2</sup>. Sin embargo, capturan solo algunos de los muchos aspectos de los derechos de propiedad y arreglos contractuales.

La tabla 1 presenta un resumen de la revisión de literatura encontrada para el estudio de la CAKd, presentando a los autores principales del tema, destacando el modelo de análisis utilizado y el método de estimación. En la última columna se describe si dichos autores encontraron o no evidencia de la CAKd en forma de U invertida, tal como lo plantea la teoría. Cabe aclarar que, esta tabla presenta una serie de estudios aplicados a la comparación entre países y no para las entidades de un mismo país, tal como el análisis que aquí se presenta.

**Tabla 1. Revisión de literatura para la CAKd**

<b>Estudios entre países sobre la CAK para la deforestación</b>					
<b>Autor(es)</b>	<b>Modelo Estimado</b>	<b>Países</b>	<b>Período de Tiempo</b>	<b>Método de Estimación</b>	<b>Existencia de CAK en forma de U invertida</b>
Allen and Barnes (1985)	Lineal	39 países	1968-1978	N.A.	N.A.
Deacon (1994)		120 países	1975-1985	MCO	N.A.
Rudel and Roper (1997)		66 países	1975-1990	MCO	N.A.
Scriciu (2007)		50 países tropicales	1980-1997	EF	N.A.
Tole (1998)		90 países	1981-1990	N.A.	N.A.
Shafik (1994)	Lineal, cuadrático y cúbico	66 países	1962-1986	EF	NO
Antle and Heidebrink (1995)	Cuadrático	82 países	1980-1984	MCO	SÍ
Arcand et al. (2008)		101 países	1961-1988	MCO	NO
Barbier (2004)		Países tropicales	1960-1999	EA	NO
Barbier and Burgess (2001)		Países tropicales	1961-1994	MCO, EF, EA.	SÍ: Asia y Latinoamérica NO: África

<sup>2</sup> Este índice anual sobre libertades fundamentales califica a 195 países a través de aspectos como derechos políticos y libertades civiles y los agrupa en tres categorías: de 1 a 2.5 son considerados libres; de 3 a 5, parcialmente libres; y de 5.5 a 7 son "no libres".

Combes Motel et al. (2009)		48 países	1970-2005	EF	SÍ
Cropper and Griffiths (1994)		64 países	1961-1988	EF	SÍ: África y Latinoamérica NO: Asia
Culas (2007)		14 países tropicales en desarrollo	1972-1994	MCO, EF, EA.	SÍ: Latinoamérica NO: África y Asia
Ehrhardt-Martinez et al. (2002)		74 países	1980-1995	MCO	SÍ
Ferreira (2004)		95 países	1990-2000	N.A.	NO
Koop and Tole (1999)		76 países tropicales en desarrollo	1961-1992	MCO, EF, EA.	SÍ: Latinoamérica NO: África y Asia
Meyer et al. (2003)		117 países	1990-2000	MCO	NO
Nguyen Van and Azomahou (2007)		59 países	1972-1994	EF	NO
Bhattarai and Hammig (2001)	Cúbico	66 países	1972-1991	MCPF	SÍ: África y Latinoamérica NO: Asia
Notas: MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios; EF: Efectos Fijos; EA: Efectos Aleatorios; MCPF: Mínimos Cuadrados Ponderados Factibles; N.A.: Información no disponible.					

Fuente: Realización propia con base en Culas (2012).

En general, el crecimiento económico ha sido un tema relevante a lo largo del tiempo para las investigaciones económicas y sociales. Existen una gran cantidad de teorías que estudian esta variable económica y sus interacciones. Desde la teoría económica clásica de Adam Smith, Malthus y David Ricardo, hasta la teoría neoclásica y Keynesiana, han intentado explicar las causas en la que se da la riqueza de las naciones y los factores de su intervención. Gran parte de la literatura se basa, desde las formas de producir, hasta las capacidades tecnológicas de la producción.

Para economista como Labandeira (2007) los usos excesivos de los recursos naturales llevan a un aumento en la pobreza y un riesgo de la pérdida de la fauna y la destrucción de los bosques, llevando a las economías a la triple relación como la espiral *población, pobreza y medio ambiente*.

A través de los años, la hipótesis propuesta por Kuznets ha promovido entre los economistas nuevas líneas o enfoques de investigación. Los estudios recientes se han

dedicado a determinar el vínculo que existe entre el crecimiento económico y la calidad ambiental de un país o región, buscando confirmar la existencia, o no, de una relación en forma de U invertida entre dichas variables. La evidencia empírica parece confirmar esta hipótesis, sin embargo, sugiere que dicha correspondencia se presenta sólo en algunos casos específicos, dependiendo del tipo de contaminante que se esté analizando y de otro tipo de variables, como la topografía de la región, la densidad poblacional, el nivel de educación alcanzado por los individuos, el grado de concentración de la riqueza, entre otras.

## Capítulo 4. Estimación de la Curva Ambiental de Kuznets

### 4.1 Datos

Para el estudio se utiliza información geoespacial que muestra la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida del país, además de indicar el uso pecuario y forestal, y otros usos que se presentan en el territorio relacionados con la cubierta forestal. Para el análisis, se estima el área forestal mediante la intersección espacial de mapas temáticos de la Serie I (1980) a la VII (2018) de vegetación y uso del suelo, generados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para cada una de las entidades federativas. Para este análisis, no se considera como área forestal: zonas urbanas, asentamientos humanos, pastizales, tierras agrícolas, humedales y cuerpos de agua.

Para los datos económicos se utilizarán bases de datos del INEGI, como los del PIB y el PIBE, los cuales se presentan de manera anual, a precios constantes de 2013 y se pueden encontrar en el Banco de Información Económica (BIE).

#### 4.1.1 Variable dependiente

Para estimar el área forestal por entidades federativas se utilizaron los mapas de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, de la serie I (1980) (continuo nacional) a la serie VII (2018) del INEGI. La serie I se trata de un mapa digitalizado por el INE, con base en las cartas impresas de uso del suelo y vegetación elaboradas por el INEGI entre los años de 1980 a 1990, con base en la fotointerpretación de fotografías aéreas tomadas entre los años de 1968 a 1986.

La serie II, contiene información actualizada del uso del suelo y vegetación obtenida durante la década de los años noventa. Esta cartografía de recursos naturales muestra la ubicación, distribución y extensión de diferentes tipos de vegetación: bosques, selvas, pastizales, matorrales y tipos de agricultura, entre otros. La serie III, contiene información del uso del suelo y vegetación obtenida a partir de la interpretación tradicional de

imágenes Landsat ETM de los años 2000 y 2002, y respaldada con trabajos de campo de los años 2002 a 2004. Esta cartografía de recursos naturales muestra la ubicación, distribución y extensión de diferentes ecosistemas vegetales y agrícolas, con sus respectivas variantes como: tipos de vegetación, tipos principales de prácticas agrícolas e información ecológica relevante.

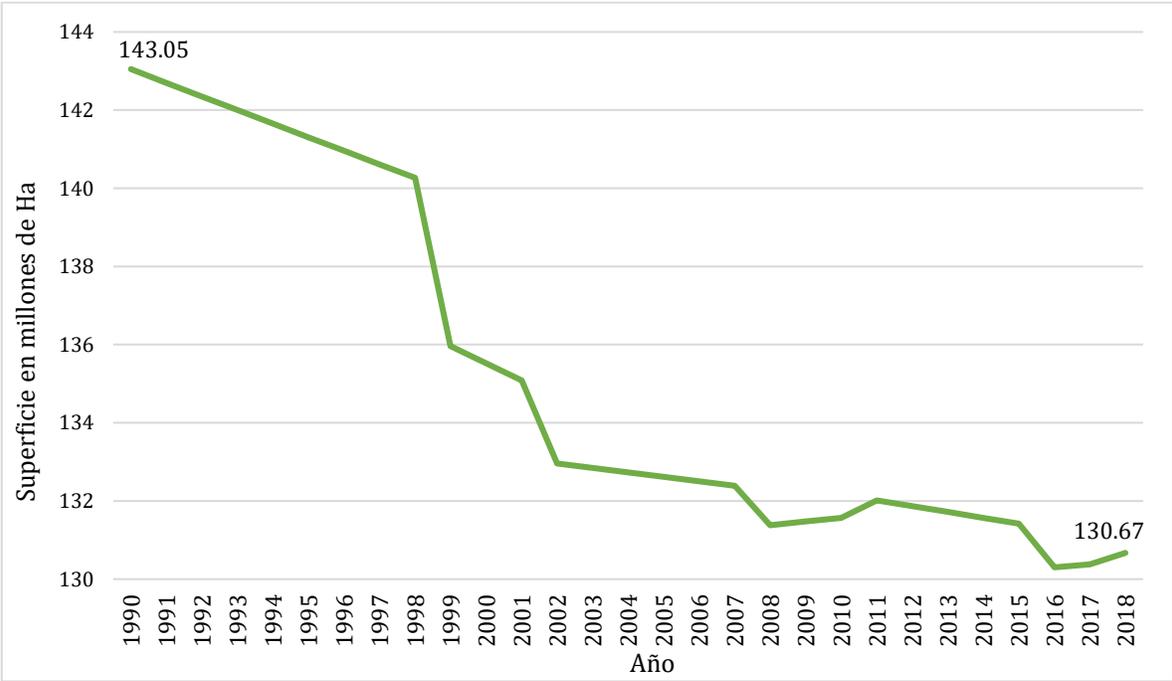
La Serie IV, contiene información obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación, con imágenes de satélite Spot, de los periodos estacionales de primavera y otoño de 2007, y escenas complementarias de la primavera del año 2008. Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo realizado en el otoño de 2007 y primavera-verano de 2008. Esta serie contiene información puntual sobre especies vegetales, representativas de los tipos de vegetación, sobre cultivos presentes en las áreas agrícolas, información vectorial-lineal de comunidades vegetales con importancia ecológica excepcional, información sobre la altura relativa de las comunidades vegetales, sobre la cobertura relativa del dosel superior de las comunidades arbóreas, sobre actividades pecuarias, así como de actividades forestales.

La Serie V, contiene información obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación, con imágenes de satélite Landsat TM5, seleccionadas del año 2011. Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo. Los Conjuntos de Datos contienen la ubicación, distribución y extensión de diferentes comunidades vegetales y usos agrícolas, con sus respectivas variantes en tipos de vegetación, de usos agrícolas, e información ecológica relevante. La Serie VI, presenta información del Uso del Suelo y Vegetación, la ubicación, distribución y extensión de diferentes comunidades vegetales y usos agrícolas, con sus respectivas variantes en tipos de vegetación e información ecológica relevante. Por último, la Serie VII contiene información obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación, con imágenes geomédianas de la constelación satelital Landsat, seleccionadas con año base 2018, procesadas en el Cubo de Datos Geográficos. Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo. Dicha información geográfica digital, contiene datos estructurados en forma vectorial, codificados de acuerdo con el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, para la Escala 1:250000 (CONABIO, 2022).

El gráfico 10 presenta información del área forestal, en millones de hectáreas, obtenida para México, durante el periodo de 1990 a 2018, en él se puede apreciar cómo a lo largo de estos últimos casi treinta años, el área forestal total del país ha tenido una tendencia a la baja, donde se han perdido poco menos de 14 millones de hectáreas de área forestal.

La FAO encontró que, en promedio, América del Sur perdió cerca de 2.6 millones de ha de bosques al año, comparando con lo que encontramos para México, el país perdió alrededor de 0.43 millones de ha de área forestal anual, en el periodo de 1990 a 2018, es decir, la sexta parte de lo que todo América del Sur perdió de bosques, lo perdió México de área forestal.

**Gráfico 10. Área Forestal de los Estados Unidos Mexicanos, 1990-2018**



Fuente: Elaboración propia con información de mapas temáticos de la Serie I (1980) a la VII (2018) de vegetación y uso del suelo, generados por INEGI (2022).



Por su parte, el gráfico 11 presenta el porcentaje de pérdida de área forestal, de 1990 a 2018, para cada una de las entidades federativas de México. En el mapa se puede apreciar que Sonora es el estado que más pérdida tuvo (13.10%), seguido de Chiapas (11.03%), Tamaulipas (10.86%), Nuevo León (8.15%) y Veracruz (6.17%). Entre estos cinco estados se encuentra el 49.31% del total de la pérdida de área forestal en el país, es decir, en cinco de los treinta y dos estados, se concentró casi la mitad de la deforestación total del país, para los últimos treinta años.

#### 4.1.2 Variables independientes

El presente estudio, utiliza información anual para determinar los efectos que tienen las variables: Producto Interno Bruto per cápita, participación del sector secundario en el PIB total, tasa de urbanización, densidad poblacional, superficie de las entidades federativas y ubicación de la entidad en la frontera norte o en la frontera sur, en el área forestal estatal. La tabla 2 describe la variable dependiente, así como las independientes.

**Tabla 2. Descripción de variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad de medida</b>
Área forestal	Uso del suelo y vegetación considerada área forestal. No se toma en cuenta zonas urbanas, asentamientos humanos, pastizales, tierras agrícolas, humedales y cuerpos de agua.	Millones de hectáreas
PIBE per cápita	Producto Interno Bruto Estatal (PIBE) dividido por la población estatal.	Millones de pesos (valores constantes)
PIBE de las actividades económicas secundarias.	Participación porcentual de la producción del sector secundario por estado.	Porcentaje de participación
Densidad Poblacional	Cociente de la población total entre la superficie territorial.	Habitantes por kilómetro cuadrado
Urbanización	Porcentaje de población urbana por estado.	Porcentaje
Superficie	Superficie de las entidades federativas.	Millones de hectáreas
Frontera Norte (FN)	Variable ficticia que toma valor 1 si un estado se ubica en la frontera norte y 0 en caso contrario.	Variable binaria: 0, 1
Frontera Sur (FS)	Variable ficticia que toma valor 1 si un estado se ubica en la frontera sur y 0 en caso contrario.	Variable binaria: 0, 1

Se obtienen los datos del Producto Interno Bruto Estatal (PIBE), publicados por el INEGI dentro de su Banco de Información Económica (BIE), estos se presentan de manera anual, a precios constantes del año 2013. Una vez obtenidos los datos, para el periodo de 1990 a 2018, se dividen por la población de cada entidad para obtener el PIBE per cápita anual.

Para los datos de la población se utilizan los censos de población publicados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). Dado que esta información, solo es publicada en los censos que realiza el INEGI cada 5 años, se realiza la construcción de tasas de población para los demás años, de manera que se pueda tener un estimado de la tasa de crecimiento poblacional. La fórmula para estimar la tasa de crecimiento es:

$$T = \frac{\{\ln(\text{año final}) - \ln(\text{año inicial})\}}{\text{Número de años del período}}$$

Esto ayudará a ponderar el ingreso estatal. El indicador se calculará simplemente dividiendo el PIBE del estado  $i$ , entre su población correspondiente en el año  $t$ , tal como sigue:

$$PIB_{it} = \frac{PIBE_{it}}{Población_{it}}$$

Se espera que el coeficiente del término PIB per cápita sea positivo y significativo, mientras que el coeficiente del término cuadrático sea negativo y significativo.

La participación porcentual de la producción del sector secundario estatal se define como la relación entre el PIBE del sector secundario (minerales, manufactura, construcción y electricidad) sobre el PIB total del país. Estos datos se obtuvieron del INEGI para los años de 1990 a 2018. Se espera que esta variable capture el efecto de la composición de la economía. Después de controlar por otros factores, se espera una relación negativa entre la participación industrial y los niveles de área forestal, ya que cuanto mayor sea la participación del sector secundario, intensivo en contaminación, la demanda de área forestal será mayor, por lo que se esperaría una reducción de las áreas forestales.

Las variables de densidad poblacional y urbanización se incluyen en el modelo para examinar el impacto de la población sobre las áreas forestales. Esas variables han sido ampliamente utilizadas en estudios empíricos previos (Cropper y Griffiths, 1994; Bhattari y Hammig, 2001; Barbier y Burgess, 2001; Culas, 2007). Se obtuvieron los datos en INEGI (Censos y Conteos de Población y Vivienda → Series históricas → Tabulados predefinidos). Se plantea que la presión demográfica podría aumentar la demanda de productos forestales o los usos alternativos de la tierra que causen pérdida de área forestal, pero también podrían funcionar para reducir esa pérdida, induciendo avances tecnológicos o cambios institucionales en el sector agrícola o forestal (Waluyo y Terawaki, 2016). Por su parte, la superficie de las entidades federativas sirve como control para ponderar el área forestal, de acuerdo con la magnitud territorial de cada entidad federativa.

Por último, las variables para la frontera norte y la frontera sur se utilizan como variables ficticias regionales, que se incluyen para controlar cualquier característica regional específica. Concretamente, se incluyeron variables ficticias para los estados de la frontera norte y los estados de la frontera sur. Los estados fronterizos del norte incluyen Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas. Mientras que los estados fronterizos del sur incluyen Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

#### **4.2 Tratamiento Econométrico**

Además del modelo (1), también se plantea analizar un segundo modelo reducido, solo que considerando que este sea cúbico, es decir, agregando el PIB per cápita estatal elevado a la tercera potencia, esperando conocer si la deforestación mantiene una relación en forma de N con el crecimiento económico.

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Con  $i = 1, 2, \dots, N.$   $t = 1, 2, \dots, T.$

El modelo paramétrico generalmente propuesto, por Grossman y Krueger (1995), para la hipótesis de la CAK es:

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3 + \sum_{j=1} \gamma_j X_{j,it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Con  $i = 1, 2, \dots, N.,$   $t = 1, 2, \dots, T.$

Donde,  $D$  es la variable de impacto ambiental,  $Y$  es el ingreso per cápita representado por el PIB per cápita,  $X_j$  es un conjunto de variables que inciden en el impacto ambiental y  $\varepsilon$  es el término de error.

Para este trabajo, la estimación del modelo (3) se llevará a cabo siguiendo la metodología de datos panel. Asimismo, se considera incluir un conjunto de variables que puedan tener incidencia en el deterioro ambiental, tales como: densidad de población, desigualdad, grado de apertura comercial, estructura productiva, tasa de urbanización, la superficie de las entidades y si estas se encuentran en la frontera norte o sur del país, las cuales serán útiles como variables de control.

Así, el modelo propuesto para este estudio en particular, que utilizará datos de panel entre estados para México será:

$$\begin{aligned} \text{Área forestal}_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \text{PIBE}_{it} + \beta_2 \text{PIBE}_{it}^2 + \beta_3 \text{PIBE}_{it}^3 + \beta_4 \text{IND}_{it} + \beta_5 \text{URB}_{it} + \\ & \beta_6 \text{DPOB}_{it} + \beta_7 \text{SUP}_{it} + \delta_1 \text{FN}_{it} + \delta_2 \text{FS}_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

Donde  $i$  indica estado y  $t$  indica el año.

Es importante tener en cuenta que, para esta investigación en particular, el área forestal representa el cambio de uso de suelo y vegetación, con lo que se tendrá una medida de la pérdida de cobertura forestal, para el estado  $i$  en el tiempo  $t$ .

El término *PIBE* es el producto interno bruto estatal per cápita, *IND* es la participación del sector secundario en el PIB total, *URB* indica la tasa de urbanización, *DPOB* es la densidad poblacional, *SUP* es la superficie de las entidades, *FN* es la variable ficticia que toma el valor de 1 si un estado se ubica en la frontera norte y 0 en caso contrario, *FS* es la variable ficticia que toma el valor de 1 si un estado se ubica en la frontera sur y 0 en caso contrario, y  $\varepsilon$  es el término de error.

Se espera que el método de datos de panel facilite la identificación del impacto neto de las variables especificadas sobre el área forestal. Se probarán modelos de regresión simple, efectos fijos y efectos aleatorios para estimar los valores de los parámetros de los modelos para cada estado. Asimismo, los modelos empíricos se corregirán por heteroscedasticidad y autocorrelación (AR1) siguiendo a Greene (1993).

### **4.3 Limitaciones**

Una de las críticas más fuertes al modelo de la CAK, es que el estudio pionero fue elaborado con base en la evolución a lo largo del tiempo de unos pocos países desarrollados. Por lo que, debido a la escasez de datos históricos confiables, los primeros estudios que se hicieron fueron de corte transversal. Sin embargo, esta metodología presenta problemas muy parecidos a los que surgen al hacer análisis de estática comparativa. En estos casos, no se pueden establecer claras relaciones de causalidad ni es posible saber cómo se puede pasar de un estado inicial dado a un estado final dado, pues se hace abstracción de los procesos de transición que ocurren en el intermedio. Es así como, quienes trabajaron primero de esta manera, analizaron el problema y asumieron que la metodología de series de tiempo sería más adecuada para hacer afirmaciones causales (Ochoa, 2003).

En general, las críticas para este tipo de análisis ponen en duda el grado de robustez de las estimaciones ante cambios de la forma funcional. Por lo que, estas investigaciones pueden obtener como resultados no solo una sino muchas curvas, pues, las experiencias de todos

los países no son iguales, y hay unos que se apartan de la trayectoria media. Algunos estudios han demostrado que, si se cambia la estimación de mínimos cuadrados ordinarios por efectos fijos, es decir, tomando en cuenta factores específicos de cada país, no se llega a la U invertida. Esto podría deberse a que lo que ocurre entre los países es diferente de lo que ocurre en el interior de cada país. En este sentido, se vuelve más complicado sacar conclusiones o que éstas sean confiables, sin considerar que, además puede existir un problema de doble causalidad entre las variables de interés (Ochoa, 2003).

Por último, se considera que otra limitante importante es la escasez de datos para el proceso de deforestación en México. La CONAFOR brinda una base de datos para la TDB de 2001 a 2018, con lo que se tienen datos confiables para 18 años, sin embargo, la teoría considera que, para realmente poder entender el proceso de deforestación, debe considerarse un análisis de por lo menos veinte a treinta años, periodo de tiempo en el cual ya sería posible apreciar algún tipo de cambio en la cobertura forestal de una región específica (Culas, 2012).

## Capítulo 5. Resultados

### 5.1 Estadísticas descriptivas

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de las variables de análisis

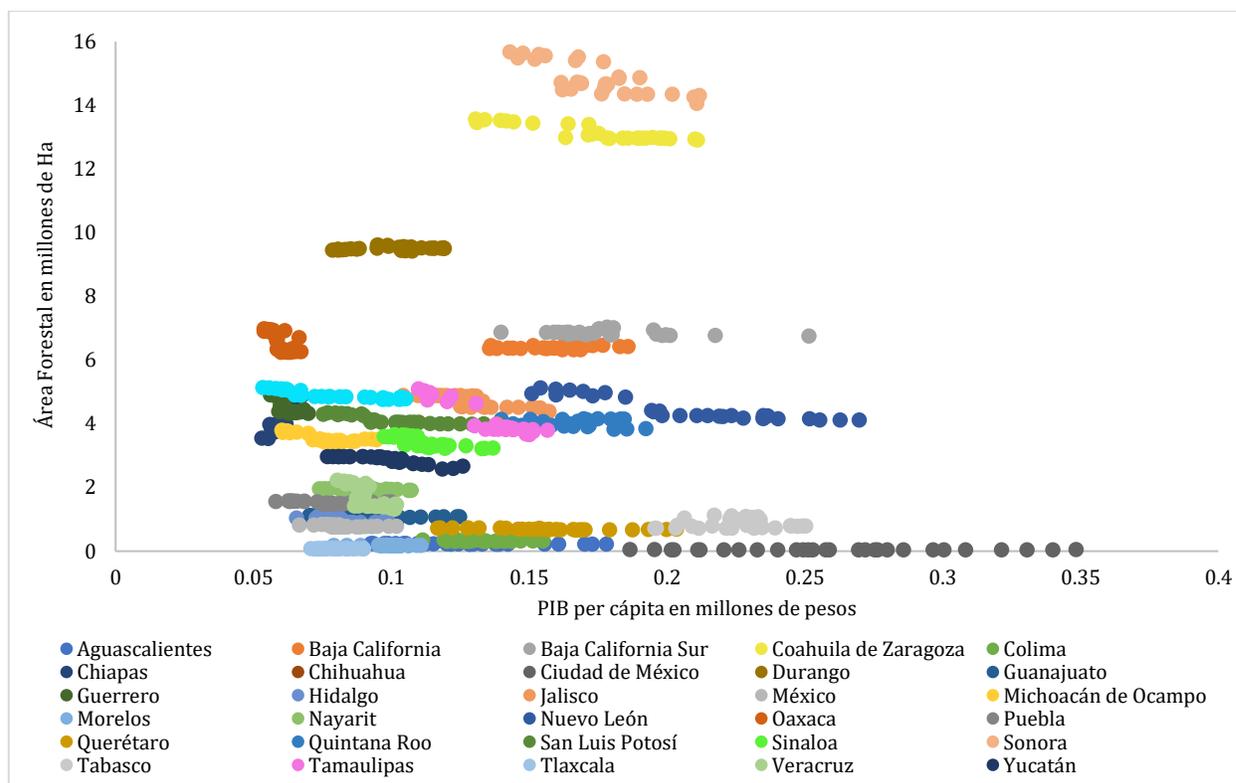
Variable	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Área forestal	928	4.22562	4.297784	.0419633	18.27338
PIBE per cápita	928	0.1538762	0.1889652	0.0530739	1.4877
PIBE de las actividades económicas secundarias.	928	3.125	3.283146	0.2716886	21.44278
Densidad Poblacional	928	270.2735	986.1001	4	6017.693
Urbanización	928	73.37441	14.85106	39.45287	99.76386
Superficie	928	6.127021	5.300001	.14943	24.74126
Frontera Norte (FN)	928	0.1875	0.3905228	0	1
Frontera Sur (FS)	928	0.15625	0.363288	0	1

Fuente: realización propia.

La tabla 3 presenta las estadísticas descriptivas de las variables de interés del estudio. Se encontró, entre otras cosas que, en promedio, un estado tiene 4.22 millones de hectáreas de área forestal. Además, se tiene que, en promedio, una persona genera \$153,876.2 pesos anuales en cada estado. También se obtuvo que la participación porcentual de la producción del sector secundario, en promedio, es del 3.12% al año por entidad. Además, se encontró que, en promedio, hay 270 habitantes por kilómetro cuadrado y que la superficie promedio de cada entidad es de alrededor de 6.12 millones de hectáreas. Por último, se obtuvo que el porcentaje de población urbana, en promedio, es del 73.37% por entidad federativa.

## 5.2 Área forestal vs PIB per cápita

Gráfico 12. Relación del Área Forestal vs PIB per cápita en México por entidad federativa, 1990-2018<sup>3</sup>



Fuente: realización propia.

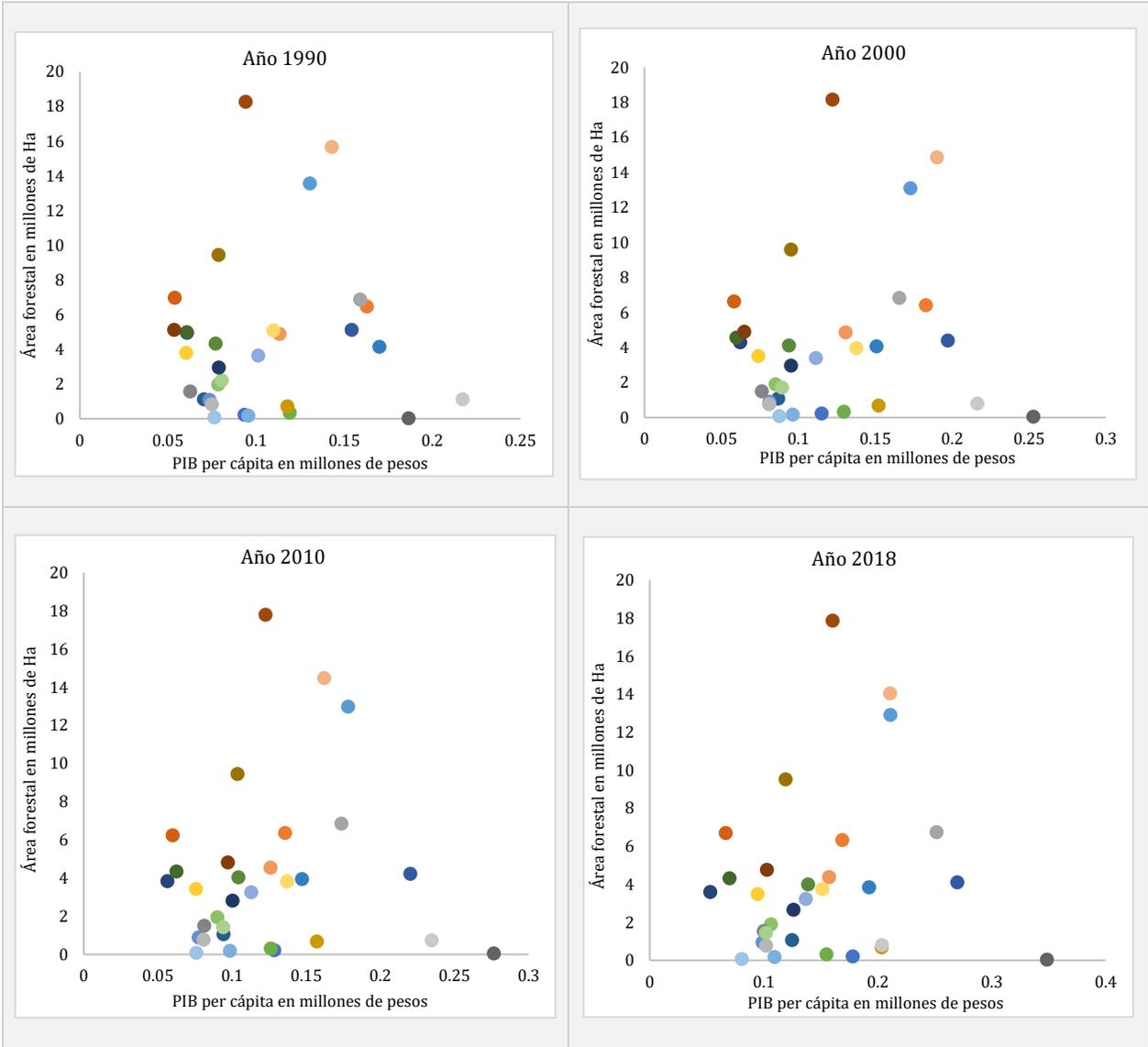
El gráfico 12 muestra la gráfica de dispersión de las entidades federativas respecto a sus áreas forestales contra el PIB per cápita, que es, por supuesto, la relación central de la CAK. Es importante mencionar, que en el gráfico se eliminó al estado de Campeche puesto que se consideró un caso atípico.

Con el gráfico, es posible notar que la mayoría de las entidades parece encontrarse entre un rango de 0.05 y 0.2 según su PIB per cápita. Mientras que, para el área forestal, los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila y Durango son los que parecen contar con

<sup>3</sup> No se considera el estado de Campeche puesto que tiene un PIB per cápita notablemente mayor, con respecto a los demás estados, debido a la producción petrolera, por lo que, se considera un dato atípico.

mayores recursos forestales. Sin embargo, el gráfico 12 no parece encontrar ninguna relación clara entre el área forestal y el PIB per cápita, al menos no alguna que se asemeje a la propuesta de la CAK. Por su parte, el gráfico 13 hace una comparación entre las gráficas de dispersión de las entidades federativas, por sus áreas forestales y el PIB per cápita, para los años específicos de 1990, 2000, 2010 y 2018.

Gráfico 13. Comparación de gráficos de dispersión 1990, 2000, 2010 y 2018



Fuente: realización propia.

Como se puede notar, el gráfico 13 tampoco parece encontrar ninguna relación clara entre el área forestal y el PIB per cápita, que se asemeje a la relación propuesta por la CAK o por la HTF.

### 5.3 Resultados de la estimación

Esta sección presenta los resultados de la estimación utilizando modelos de datos de panel. Según Wooldridge (2004), generalmente existen dos enfoques para analizar datos de panel. Un enfoque incluye el modelo de efectos aleatorios, y el otro incluye el modelo de efectos fijos o primeras diferencias. El modelo de efectos aleatorios supone que todas las variables explicativas son exógenas. En otras palabras, los efectos no observados contenidos en el término de error no están correlacionados con ninguna de las variables explicativas. Cuando se cumple este supuesto, los modelos de efectos aleatorios generan los estimadores más eficientes y consistentes además de controlar la correlación serial y la heteroscedasticidad.

Cuando no se cumple el supuesto de exogeneidad, el modelo de efectos aleatorios conduce a estimadores sesgados e inconsistentes. Si los efectos no observados que están correlacionados con las variables explicativas son invariantes en el tiempo, se pueden usar efectos fijos o modelos de primeras diferencias para obtener un estimador insesgado.

Se estiman las ecuaciones (1) y (2) con modelos de efectos aleatorios y de efectos fijos. En estos modelos reducidos, tanto para el cuadrático como para el cúbico, el área forestal es la variable dependiente de estrés o impacto ambiental, el ingreso per cápita en su forma lineal, cuadrática y cúbica son variables explicativas y  $\varepsilon$  es el término de error.

También se estiman los modelos completos, de acuerdo con la ecuación (3), el tercer modelo es cuadrático y el cuarto modelo también considero el término del PIB per cápita cúbico, tal como lo plantea la ecuación (4). Para ambas ecuaciones también se estiman para modelos de efectos aleatorios y efectos fijos.

Para los cuatro modelos estimados, los dos modelos reducidos y los dos modelos completos, no se rechazó la hipótesis nula de la prueba de Hausman<sup>4</sup>. Por lo tanto, se utiliza una metodología de datos panel de efectos aleatorios. Puesto que el resultado de la prueba indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los modelos de efectos aleatorios y de efectos fijos. De acuerdo con esto, solo se presentan los resultados de los modelos con efectos aleatorios.

Todos los modelos estimados fueron corregidos por problemas de heteroscedasticidad, correlación contemporánea y autocorrelación. El anexo 1 presenta los resultados obtenidos de la Prueba de Hausman para los modelos. Asimismo, el anexo 2 presenta las matrices de correlación.

La tabla 4 presenta los resultados para los cuatro modelos estimados, considerando efectos aleatorios, para posteriormente sacar conclusiones basadas en ellos. Cabe aclarar que, para los cuatro modelos estimados también se realizaron utilizando logaritmos, sin embargo, estos no se consideraron en el trabajo puesto que no resultaron significativas dichas estimaciones, coincidiendo con la literatura básica de la CAK, en la cual no se utilizan logaritmos en los modelos.

En general, la tabla 4 resume los principales hallazgos del análisis para los diferentes modelos estimados. En ella se puede apreciar que, los cuatro modelos estimados resultan significativos, tanto los reducidos como los completos, ya sean cuadráticos o cúbicos. La única variable que resulta no ser significativa es la dummy para los estados que se encuentran en la frontera sur, es decir, ser un estado fronterizo en el sur, no es determinante para el área forestal de ese estado, mientras que serlo en la frontera norte sí lo es. Por su parte, la tabla 5 presenta una comparación de los signos esperados, de acuerdo con la literatura revisada, contra aquellos que se encontraron en el presente estudio.

---

<sup>4</sup> La  $H_0$  de la prueba de Hausman es que los estimadores de efectos aleatorios y de efectos fijos no difieren sustancialmente. Si se rechaza la  $H_0$ , los estimadores sí difieren, y la conclusión es que efectos fijos es más conveniente que efectos aleatorios. Si no podemos rechazar  $H_0$ , no hay sesgo de qué preocuparnos y preferimos efectos aleatorios que, al no estimar tantas dummies, es un modelo más eficiente.

A pesar de que no se cumplen todos los tipos de relaciones esperadas entre el área forestal y las variables explicativas, sí se cumple la hipótesis planteada, pues, el coeficiente para el PIB per cápita tiene signo negativo, para el elevado al cuadrado presenta signo positivo y el término cúbico resultó con signo negativo, encontrando una relación de U entre el área forestal y el PIB. Es decir, se cumple la relación de U invertida entre la pérdida de área forestal y el PIB per cápita, así como una relación de N cuando se agrega el término cúbico al modelo.

**Tabla 4. Resultados de la estimación para los cuatro modelos con efectos aleatorios**

<i>Variables</i>	<i>Modelo (1) Cuadrático reducido</i>	<i>Modelo (2) Cúbico reducido</i>	<i>Modelo (3) Cuadrático completo</i>	<i>Modelo (4) Cúbico completo</i>
<b>Dependiente: Área forestal</b>				
<i>PIBE per cápita</i>	-5.419*** (-12.16)	-8.687*** (-14.43)	-3.014*** (-5.01)	-5.112*** (-6.50)
<i>PIBE per cápita al cuadrado</i>	2.734*** (12.24)	10.90*** (10.18)	1.173*** (4.54)	5.744*** (5.10)
<i>PIBE per cápita al cubo</i>		-4.014*** (-7.78)		-2.146*** (-4.18)
<i>PIBE de las actividades económicas secundarias.</i>			0.0520** (3.14)	0.0471** (2.87)
<i>Densidad Poblacional</i>			0.000431*** (3.41)	0.000443*** (3.62)
<i>Urbanización</i>			-0.0292*** (-13.12)	-0.0259*** (-11.04)
<i>Frontera Norte (FN)</i>			1.615** (3.13)	1.621*** (3.30)
<i>Frontera Sur (FS)</i>			0.567 (1.31)	0.539 (1.31)
<i>Superficie</i>			0.737*** (19.43)	0.738*** (20.44)
<i>Constante</i>	4.897*** (6.20)	5.137*** (6.61)	1.577*** (5.29)	1.512*** (5.26)
<i>N</i>	928	928	928	928
<i>Punto(s) de inflexión</i>	0.99103877	0.39848624 1.81033051	1.28473998	0.44498607 1.78440509

*Nota: Estadísticos t en paréntesis. \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001*

Fuente: realización propia.

Para todos los modelos se realizaron pruebas estadísticas de autocorrelación, donde la hipótesis nula de esta prueba es que no existe autocorrelación; naturalmente, si se

rechaza, se puede concluir que ésta sí existe. Los resultados de la prueba indican, para todos los modelos, que sí se tiene un problema de autocorrelación que es necesario corregir. En cuanto a la heteroscedasticidad, la hipótesis nula de esta prueba es que no existe problema de heteroscedasticidad, es decir,  $\sigma^2 = \sigma^2$  para toda  $i = 1 \dots N$ , donde N es el número de entidades federativas. Cuando la hipótesis nula se rechaza, se tiene un problema de heteroscedasticidad. Los resultados de la prueba indican que se rechaza la hipótesis nula de varianza constante y aceptamos la hipótesis alternativa de heteroscedasticidad. Por tanto, también hay problemas por heteroscedasticidad para los modelos.

Por último, para la prueba estadística de correlación contemporánea la hipótesis nula es que existe *independencia transversal*, es decir, que los errores entre las unidades son independientes entre sí. Si la hipótesis nula se rechaza, entonces existe un problema de correlación contemporánea. El resultado de la prueba indica que se puede rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, también es necesario corregir el problema de correlación contemporánea.

Como se mencionó anteriormente, todos los modelos fueron corregidos por problemas de autocorrelación, heteroscedasticidad y correlación contemporánea.

**Tabla 5. Signos esperados vs signos encontrados**

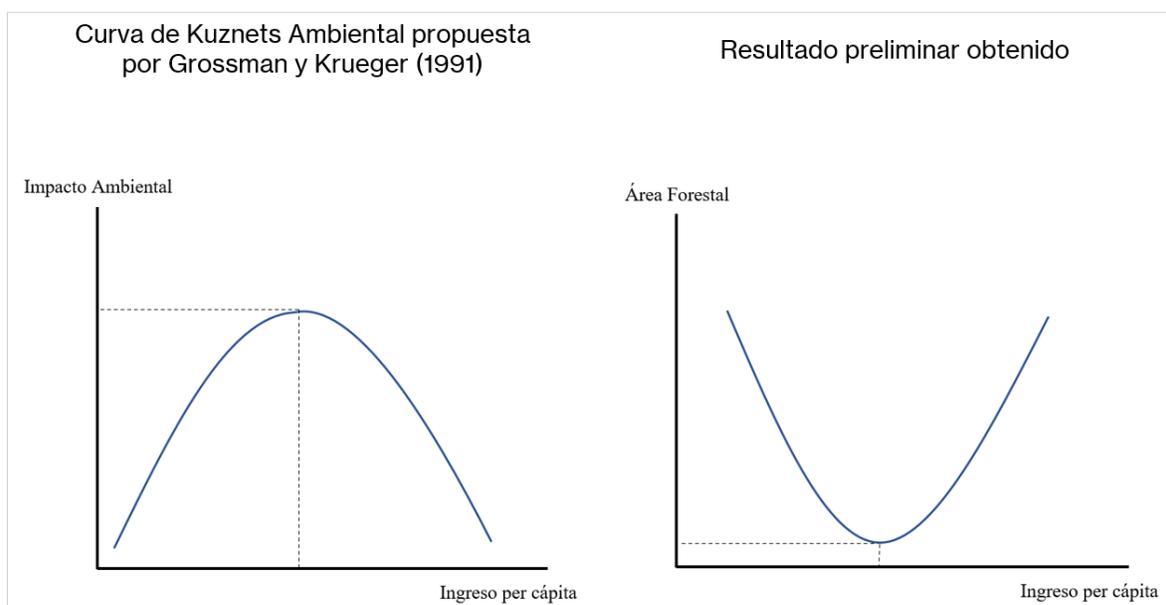
<b>Variable</b>	<b>Signo esperado</b>	<b>Signo encontrado</b>
PIBE per cápita	-	-
PIBE per cápita al cuadrado	+	+
PIBE per cápita al cubo	-	-
PIBE de las actividades económicas secundarias	-	+
Densidad Poblacional	-	+
Urbanización	-	-
Superficie	+	+
Frontera Norte (FN)	-	+
Frontera Sur (FS)	+	+

Fuente: realización propia.

## 5.4 Discusión de resultados

El modelo 1 especifica el modelo de la CAK de forma reducida, haciendo una regresión donde las variables explicativas son el PIB per cápita en su forma lineal y cuadrática. El modelo resultó ser significativamente válido a un nivel del 99% de confianza, es decir, con un valor  $p < 0.001$ . Se obtuvo un coeficiente negativo para la variable del PIB per cápita y uno positivo para el PIB per cápita al cuadrado, lo que apoya la hipótesis de la CAK y de la HTF. El gráfico 14 muestra la relación del resultado obtenido en el primer modelo y la CAK planteada por Grossman y Krueger en 1991. Mientras que el gráfico 15 grafica la ecuación del modelo reducido cuadrático, estimada con los datos de este estudio.

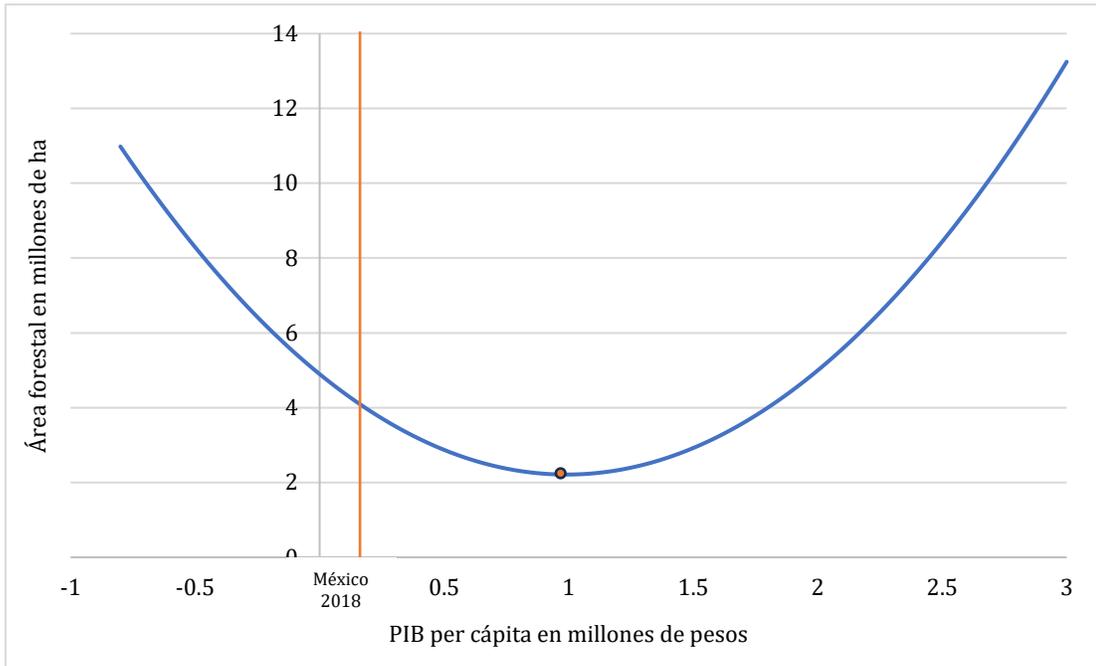
Gráfico 14. CAK vs Resultados del Modelo Reducido (1)



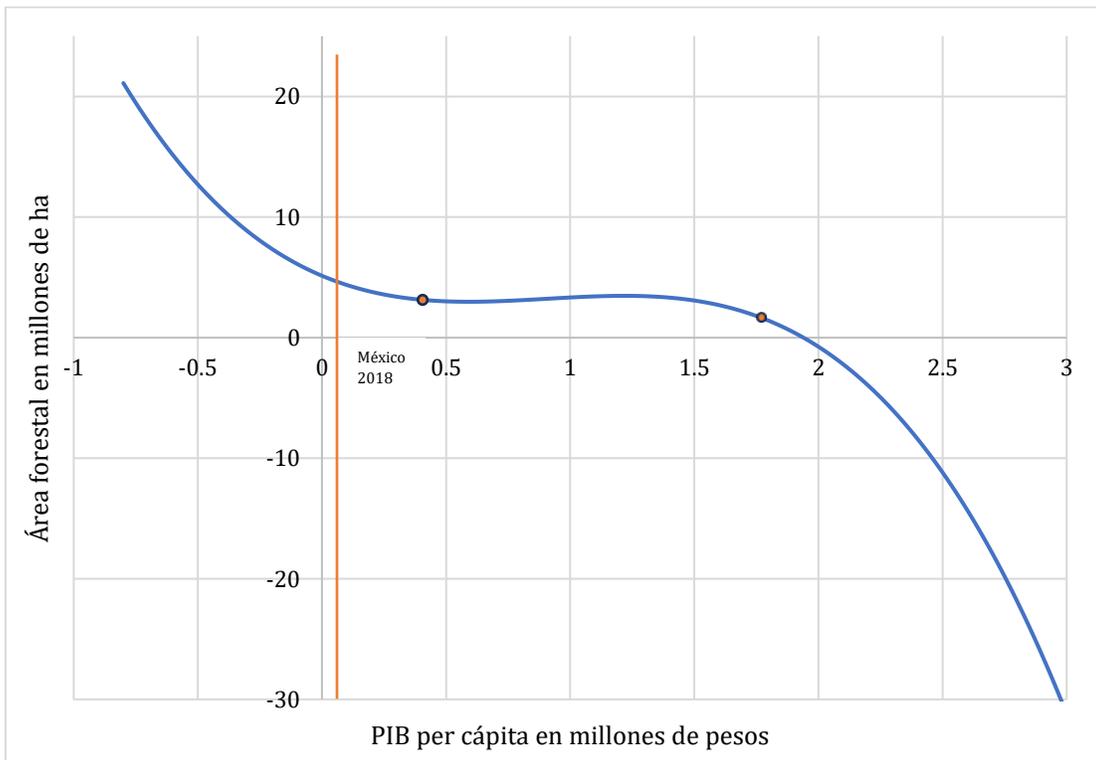
Fuente: realización propia.

Dado que la variable dependiente es el área forestal, lo que sería lo contrario a la deforestación, se esperaría que, para cumplir con la hipótesis de la CAK, la relación encontrada entre el área forestal y el crecimiento económico siga una relación de U, tal como se aprecia en el lado derecho del gráfico 14.

**Gráfico 15. Resultados obtenidos para el modelo reducido (1)**



**Gráfico 16. Resultados obtenidos para el modelo reducido (2)**



El modelo 2, agrega al modelo reducido, el término del PIB per cápita al cubo, con la intención de conocer, de ser el caso, si se encuentra algún otro punto de inflexión, como resultó en la estimación, donde parece ser válido para México la relación en forma de N para el deterioro forestal y el ingreso per cápita. El gráfico 16 muestra cómo sería esta relación al ser graficada en un plano.

El gráfico 15 grafica la ecuación encontrada en el modelo reducido cuadrático (1) y el 16 grafica la ecuación para el modelo reducido cúbico (2). Como se puede notar, para ambas ecuaciones se cumplen las hipótesis planteadas, para el modelo cuadrático, el punto de inflexión se da cuando el PIB per cápita toma el valor de 0.991, es decir, cuando el PIB per cápita alcanza el nivel de 1 millón de pesos ocurre la transición y el área forestal empieza a crecer. De acuerdo con los resultados encontrados para el modelo cúbico, el primer punto de inflexión ocurre cuando el PIB per cápita es igual a 0.398 millones de pesos, momento en el que el área forestal empieza a crecer, sin embargo, al alcanzar el nivel de 1.810 millones de pesos de PIB per cápita, el área forestal empieza a decrecer nuevamente. En estos gráficos se señala con la línea naranja el nivel de ingresos en el que se encuentra el país, haciendo notar que para ningún modelo estimado ha alcanzado su punto de transición.

Cabe resaltar que, la media del PIB per cápita es de 153,876 pesos, por lo que, el nivel para alcanzar el primer punto de inflexión, en ambos modelos reducidos, aún es muy superior que el nivel promedio a nivel nacional. De acuerdo con el modelo cúbico, el área forestal del país empezaría a crecer al alcanzar un nivel de PIB per cápita de 398,486 pesos, que es el umbral más cercano, según los modelos estimados. De acuerdo con el modelo cuadrático, esta transición se daría hasta alcanzar el millón de pesos de ingresos per cápita. Sin embargo, hay que recordar que el valor mínimo de los datos para el PIBE per cápita es de 0.053 y el máximo de 1.487 millones de pesos constantes de 2013. Por lo tanto, aún faltaría analizar los resultados encontrados por entidades.

El modelo tres agrega, a cada uno de los dos modelos anteriores, variables de control, estas son: el PIB de las actividades económicas secundarias, la densidad poblacional, la urbanización, la superficie y las variables ficticias para la frontera norte y la frontera sur

de las entidades federativas. Es decir, los modelos (3) y (4) se refieren a los modelos completos cuadrático y cúbico, respectivamente.

Para estos últimos modelos, también se obtuvo que los coeficientes para la variable del PIB per cápita fueros negativos y significativos, para este término al cuadrado fueron positivos y significativos y para el término cúbico también fue negativo y significativo, al 99% de nivel de confianza. Los resultados obtenidos en estos modelos también apoyan la hipótesis de la CAK y la HTF.

Para estas estimaciones, el único coeficiente que no resultó significativo fue el de la variable dummy de la frontera sur, por lo que, de acuerdo con estos resultados, el área forestal de una entidad no depende de si dicho estado se encuentra en la frontera sur, pero sí si se encuentra en la frontera norte. Todas las demás variables explicativas resultaron ser significativas en los modelos, es por esto por lo que, hasta ahora, los cuatro modelos, tanto reducidos como completos, son aceptados, sin embargo, los modelos (3) y (4) resultan ser los más robustos.

Según el modelo completo cúbico, el área forestal del país empezaría a crecer al alcanzar un nivel de PIB per cápita de 444,986 pesos, para posteriormente, alcanzar un segundo umbral al llegar a 1,784,405 pesos de ingreso per cápita, momento en que el área forestal empezaría a decrecer a medida que el crecimiento económico avance. Los resultados del modelo completo cuadrático encuentran la transición en la cual el área forestal crece se daría al alcanzar 1,284,739 pesos de PIB per cápita.

En cuanto al análisis por entidades federativas, se realizaron estimaciones para ambos modelos reducidos, los resultados para el modelo cuadrático resultaron significativos para 18 entidades: Aguascalientes, Campeche, Chihuahua, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Yucatán y Zacatecas. El anexo 3 presenta las estimaciones para las 32 entidades y el anexo 5 presenta el valor del punto de inflexión encontrado para las entidades para las cuales el modelo resultó significativo, comparándolo con el PIB per cápita en 2018 de esas 18 entidades, así como la diferencia que hay entre ellos. El punto

de inflexión va desde los 64,491 pesos de PIB per cápita para Oaxaca, hasta los 1,187,544 pesos para Campeche.

Por su parte, los resultados para el modelo reducido cúbico (2), resultó significativo solo para 3 entidades: Querétaro, Tamaulipas y Yucatán. El anexo 4 presenta los resultados para todas las entidades y el anexo 6 presenta el punto de inflexión para las tres entidades para las cuales resultó significativo el modelo, comparándolo con el PIB per cápita en 2018 de esas 3 entidades, así como la diferencia que hay entre ellos. El primer punto de inflexión va desde los 50,823 pesos de PIB per cápita para Yucatán, hasta los 70,611 pesos para Querétaro. El segundo punto de inflexión ocurre a los 207,369 pesos para Yucatán y a los 296,431 pesos para Querétaro.

Según estos resultados, de las 18 entidades para las que resultó significativa la relación de U entre el área forestal y el PIB per cápita, 16 de ellos ya han pasado su punto de inflexión, solo Tabasco y Campeche permanecen por debajo de ese umbral.

Mientras que, para las 3 entidades para las que es válida la relación de N invertida entre el área forestal y el PIB per cápita, todas ya han superado el primer umbral de la transición forestal, pero ninguna de ellas ha alcanzado su segundo punto de inflexión, en el cual el área forestal empieza a decrecer nuevamente.

## Conclusiones y recomendaciones

En general, se concluye que los modelos propuestos y analizados en este trabajo, respaldan la relación de la CAK entre el crecimiento económico y la pérdida de área forestal en México. Estos modelos, resultan aplicables para nuestro país, encontrando que la CAKd se cumple, tanto para los modelos cuadráticos como para los cúbicos. Para los modelos completos, la variable dicotómica para identificar a los estados que se encuentran en la frontera sur es la única que no resulta ser significativa en el modelo. Lo que sugiere que, ser un estado que pertenece a la frontera sur, no determina el área forestal en esa entidad, sin embargo, pertenecer a la frontera norte sí resulta relevante.

También se puede concluir que la urbanización tiene un impacto negativo en el área forestal, tal como se esperaba encontrar, lo que sugiere que, mientras que la población urbana crece, el área forestal decrece. Asimismo, se respalda la afirmación acerca de la producción del sector secundario, es decir, se encontró que las actividades industriales promueven la protección del medio ambiente, relación no esperada entre estas variables, pero que, sin embargo, podría deberse a la relación directa entre la actividad industrial y el desarrollo socioeconómico del país.

Asimismo, se encontró que la densidad poblacional mantiene una relación positiva con el área forestal, lo que, en primera instancia no queda muy claro, pues, de acuerdo con la teoría, se esperaba que dicha relación fuera negativa. Sin embargo, este resultado apoya la idea de que mientras más habitantes haya por kilómetro cuadrado de superficie, más se preservan las áreas forestales, lo que podría significar que, de manera directa, a medida que más se concentra la población, se limita a su vez la deforestación. Pero, esto a su vez, no significa que sea positiva la relación entre el área forestal y la densidad poblacional, puesto que, el crecimiento poblacional exige de muchas maneras, tanto directas como indirectas, recursos medioambientales, los cuales pueden estar siendo demandados de otros estados, e inclusive de otros países, a pesar de existir una mayor concentración poblacional.

La implicación general de los resultados encontrados, sugieren que México aún se encuentra en la primera etapa de la transición forestal, en la cual, a medida que el PIB per cápita avanza, el deterioro forestal avanza con él. Esta transición ocurre hasta alcanzar los 398,486 pesos de PIB per cápita, que es el umbral más cercano de acuerdo con los modelos estimados. Sin embargo, el PIB per cápita promedio en el país, al año 2018, es de 162,822 pesos, encontrándonos aún por debajo de la mitad de dicho punto, nos faltaría crecer poco más del doble para pasar al lado derecho de la CAK, donde, a medida que el crecimiento económico avanza, el área forestal también. A pesar de esto, para 2018, Campeche y la Ciudad de México ya habían alcanzado dicho umbral.

De acuerdo con lo anterior, es importante reconocer que México es un país polarizado, por lo que, quizá el PIB per cápita promedio no describa del todo bien la situación general del país, es decir, existen diferencias importantes en los niveles de ingresos entre las entidades, de allí la relevancia del análisis estatal. De este análisis, se puede concluir que, la CAK solo es significativa para 18 entidades, de las cuales 16 ya han superado el primer umbral de la transición y se encuentran del lado derecho de la curva, es decir, su nivel de ingresos per cápita ya permite beneficios forestales para su entidad.

Por su parte, Tabasco se encuentra muy cerca de alcanzar ese umbral de transición, por lo que, mantener una política ambiental robusta podría acelerar, o en su caso, mantener este proceso, una vez alcanzado el punto de inflexión. Sin embargo, Campeche aún se encuentra muy lejos para pasar dicho umbral, tendría que generar ingresos de casi el doble de su nivel actual para alcanzar dicho punto, lo que parece ser un objetivo poco factible, a corto plazo, para la entidad.

Por último, el modelo cúbico solo resultó significativo para tres entidades: Yucatán, Tamaulipas y Querétaro. Estas tres entidades ya han superado el primer umbral de transición, encontrándose en la mejor etapa de la curva, pues, al pasar el segundo umbral, el área forestal empezará a decrecer nuevamente. Por lo tanto, se considera que, para estas entidades, la política ambiental debería ir muy de la mano con las políticas aplicadas en materia económica, procurando que a la par que se promueve el crecimiento, no se descuiden los temas ambientales. Quizá incentivar y promover actividades económicas no

intensivas en el uso del suelo, y, por el contrario, procurar la producción de energías renovables, sería una buena política económica. Sin embargo, también hay que considerar que estas entidades viven contextos socioeconómicos diferentes, y que lo que funcione para una, no necesariamente funcionará para la otra.

En este sentido, los resultados obtenidos cobran mayor relevancia cuando se construyen políticas públicas. Puesto que, en muchos casos, no se toman en cuenta factores como la contaminación, independientemente del tipo de que se trate, ni tampoco se considera el impacto que estas políticas puedan generar en el medio ambiente. Además, en la mayoría de los casos, especialmente para los países en desarrollo, los gobiernos no han tomado medidas preventivas efectivas, que ayuden a mitigar el impacto negativo que tiene la producción de bienes y servicios, en la calidad del medio ambiente.

Para ello, el ámbito político en general, requiere de conocer cuál es la relación entre los temas ambientales y el crecimiento económico de un país, ya que, los acuerdos ambientales internacionales, demandan obligaciones en torno al cambio de la vegetación y el uso del suelo y condicionan las nuevas decisiones políticas asociadas a estas convenciones. De esta manera, los programas sociales emprendidos por todo gobierno requieren de conocer la condición anterior, actual y probablemente futura del uso del suelo y vegetación para la efectiva planeación de políticas y estrategias operacionales en materia de medio ambiente y para así, dirigir eficientemente el uso de los recursos. Aquí radica la importancia de desarrollar técnicas que refinen las mediciones sobre los recursos forestales, como medida para incentivar a que, quienes hacen política, comiencen a incluir tales diagnósticos en sus decisiones.

Actualmente, el Gobierno Federal opera una serie de programas prioritarios como son: *Producción para el Bienestar, Protección Forestal, Conservación para el Desarrollo Sostenible, Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable, Fertilizantes, Sembrando vida, Precios de Garantía a Productos Alimentarios Básicos*, entre algunos otros, a los que es importante dar seguimiento, y conocer si sus objetivos y entidades de acción prioritarias, se alinean con los resultados encontrados por la presente investigación.

## Referencias Bibliográficas

- Carpeta Informativa: Deforestación en México del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados (2017). Disponible en: <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/camara/Centros-de-Estudio/CESOP/Novedades/Carpeta-Informativa.-Deforestacion-en-Mexico>
- Caravaggio, Nicola. (2020). Economic growth and the forest development path: A theoretical re-assessment of the environmental Kuznets curve for deforestation, *Forest Policy and Economics*, Volume 118, 2020, 102259, ISSN 1389-9341, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102259>.
- Caravaggio, Nicola. (2020). A global empirical re-assessment of the Environmental Kuznets curve for deforestation, *Forest Policy and Economics*, Volume 119, 2020, 102282, ISSN 1389-9341, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102282>.
- CONAFOR (2020). Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico. Jalisco, México. URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7768Documento%20tecnico%202020%20Deforestacion%20Bruta%20Final.pdf>
- Culas, Richard J. (2012). REDD and forest transition: Tunneling through the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics*, Volume 79, 2012, Pages 44-51, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.015>.
- FAO (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca9825es/ca9825es.pdf>
- Ferrari, G; Montero, J; Modéjar, L. y Vargas, M. (2009). "Impacto Ambiental de las Actividades Económicas". Editorial: septem ediciones S. A. de C. V., primera edición, abril 2009.
- Gobierno de México (2015). México asume compromiso de deforestación cero al 2030. Disponible en: <https://www.gob.mx/gobmx/articulos/mexico-asume-compromiso-de-deforestacion-cero-al-2030>

- Goodstein, E.S. (2002), Economics and the environment, John Wiley and sons. Capítulo 7.
- GREENPEACE (2020). La carne que está consumiendo al planeta. Disponible en: [https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/05/0dad8ed4-resumen\\_granjas\\_web.pdf](https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/05/0dad8ed4-resumen_granjas_web.pdf)
- GREENPEACE (2021). 5 datos sobre la deforestación en México. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/10540/5-datos-sobre-la-deforestacion-en-mexico/>
- Grossman, Gene y Krueger, Alan (1991). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. NBER. Working Paper 3914.
- Grossman, Gene y Krueger, Alan (1993). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. In: Garber, P. (Ed.), The U.S. – Mexico Free Trade Agreement. MIT Press, Cambridge, pp. 13–56.
- Gudynas, E. (2004). Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible. 5ta Edición. Editorial coscorobia. Disponible en URL: <http://www.ecologiapolitica.net/gudynas/GudynasDS5.pdf>
- Guimarães, R. (1994). El desarrollo sustentable: ¿propuesta alternativa o retorica neoliberal? Revista EURE Vol. XXI. Nº 61. Disponible en URL: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0831.pdf>
- Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2018). Informe de Resultados 2009-2014. URL: <https://snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Resultados%20Hist%C3%B3ricos%20INFyS/2009%20-%202014/Informe%20de%20resultados/Informe%20inventario%202009%20-%202014.pdf>
- Kolstad, Charles (2001). Economía ambiental. Oxford University Press, México.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. The American Economic Review, 45(1), 1–28. <http://www.jstor.org/stable/1811581>
- Leff, E. (2002). Saber Ambiental. Editorial: Siglo XXI PNUMA S. A. de C. V.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2018). Diario Oficial - martes 5 de junio de 2018.

Linares, P. y Romero, C. (2012). Economía y medio ambiente: herramientas de valoración ambiental. Universidad pontificia Comillas de Madrid. URL: <http://www.iit.upcomillas.es/pedrol/documents/becke08.pdf>

MacGregor, F. y Ortega, A. (2013). "Ecología Urbana. Experiencias en América Latina". URL:[http://www1.inecol.edu.mx/libro\\_ecologia\\_urbana/ecologia\\_urbana\\_experiencias\\_en\\_america\\_latina.pdf](http://www1.inecol.edu.mx/libro_ecologia_urbana/ecologia_urbana_experiencias_en_america_latina.pdf)

Madhusudan Bhattarai And Michael Hammig (2004). Governance, economic policy, and the environmental Kuznets curve for natural tropical forests. Environment and Development Economics, null, pp 367-382 doi:10.1017/S1355770X03001293.

Meza, M. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Vol. XIV, núm. 331. Disponible en URL: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm>

Ochoa C, Lina. (2003). CRECIMIENTO Y DISTRIBUCION: UNA EVALUACION DE LA HIPÓTESIS DE KUZNETS. Cuadernos de Economía, 22(38), 47-68. URL: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-47722003000100003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722003000100003&lng=en&tlng=es).

ONU, Informe sobre crecimiento demográfico. 2019. Disponible en: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_PressRelease\\_ES.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf)

Pérez-Cirera, Vanessa, Schmelkes, Elisa, López-Corona, Oliver, Carrera, Francisco, García-Teruel, Ana Paula, & Teruel, Graciela. (2018). Ingreso y calidad del aire en ciudades: ¿Existe una curva de Kuznets para las emisiones del transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México? El trimestre económico, 85(340), 745-764. <https://doi.org/10.20430/ete.v85i340.717>

Pierri, N. y Foladori, G. (2005). ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable. Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. Editorial Porrua. Disponible en URL:

[http://estudiosdel desarrollo.net/coleccion\\_america\\_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad5.pdf](http://estudiosdel desarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad5.pdf)

Ramírez, T., Sánchez, J. y García, A. (2004). Ramírez Treviño, Alfredo; Sánchez Núñez, Juan Manuel; García Camacho, Alejandro. Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle. vol. 6, núm. 21. Disponible en URL: <http://www.redalyc.org/pdf/342/34202107.pdf>

Rivas, D. (2001). Beneficios de los árboles Urbanos. Universidad Autónoma de Chapingo. Disponible en URL: <http://www.rivasdaniel.com/Pdfs/Beneficios Arboles Urbanos.pdf>

Salcedo Guzmán, María; Martín Reboloso Fidel y Barber Kuri, Carlos. (2010). “El Desarrollo Sustentable. Modelo De Conciliación Entre El Ambiente”. Revista Gestión y Estrategia. N° 37. URL: [http://content.ebscohost.com/pdf27\\_28/pdf/2010/50F9/01Jan10/66808658.pdf?T=P&P=AN&K=66808658&S=R&D=a9h&EbscoContent=dGJyMMvl7ESepq84zdneyOLCmr0qeqK5Srqe4SrGWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPGpslCuqbBKuePfgeyx44Dt6fIA](http://content.ebscohost.com/pdf27_28/pdf/2010/50F9/01Jan10/66808658.pdf?T=P&P=AN&K=66808658&S=R&D=a9h&EbscoContent=dGJyMMvl7ESepq84zdneyOLCmr0qeqK5Srqe4SrGWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPGpslCuqbBKuePfgeyx44Dt6fIA)

Sarmiento, M. (2003). Desarrollo de un Nuevo método de valoración medioambiental. Universidad politécnica de Madrid; Departamento de Ingeniería Forestal. Tesis Doctoral. URL: <http://oa.upm.es/105/1/07200318.pdf>

Shafik, N., y S. Bandyopadhyay (1992), “Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence”, 904, Banco Mundial.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (2000). Manejo de las áreas verdes urbanas. Disponible en URL: <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2010/07148es.pdf>

Valls, J. (2004). Gestión de Destinos Turísticos Sostenibles. Editorial: Gestión 2000 S.A. de C.V.

Vázquez, R. (2004). Turismo Ecológico, Turismo Sustentable. Revista Hospitalidad ESDAI. N° 167.

## Anexos

### Anexo 1. Pruebas de Hausman

Modelo	chi2	Prob>chi2
Modelo 1: Cuadrático reducido	0.7	0.7038
Modelo 2: Cúbico reducido	-2.33	-
Modelo 3: Cuadrático completo	-5.68	-
Modelo 4: Cúbico completo	-2.27	-

### Anexo 2. Matriz de correlación

	Área forestal	PIB per cápita	PIB per cápita al cuadrado	PIBE de las actividades secundarias	Densidad poblacional	Urbanización	Superficie	Frontera Norte	Frontera Sur
Área forestal	1								
PIBE per cápita	0.049	1							
PIBE per cápita al cuadrado	0.0222	0.9667	1						
PIBE de las actividades secundarias	0.0555	0.808	0.7585	1					
Densidad poblacional	-0.2309	0.0817	-0.0072	0.1779	1				
Urbanización	0.1209	0.146	0.0158	0.2182	0.3378	1			
Superficie	0.972	-0.0022	-0.0127	0.0712	-0.2564	0.0355	1		
Frontera Norte	0.6646	0.0215	-0.0606	0.1855	-0.1172	0.4685	0.6448	1	
Frontera Sur	-0.0909	0.415	0.3913	0.2722	-0.0991	-0.1676	-0.1082	-0.2067	1

### Anexo 3. Resultado del modelo reducido (1) por entidades federativas

Entidad	Coefficiente PIB per cápita	Error estándar	z	P> z	Coefficiente PIB per cápita al cuadrado	Error estándar	z	P> z
<b>Aguascalientes</b>	-2.0849	0.2651	-7.86	0.000	6.4728	0.9880	6.55	0.000
<b>Baja California</b>	-11.9235	12.1739	-0.98	0.327	41.2556	38.3646	1.08	0.282
<b>Baja California Sur</b>	4.6243	6.2694	0.74	0.461	-15.0876	16.1324	-0.94	0.350
<b>Campeche</b>	3.7984	1.2476	3.04	0.002	-1.5993	0.5895	-2.71	0.007
<b>Chiapas</b>	187.0368	472.1621	0.40	0.692	-611.8285	3901.0120	-0.16	0.875
<b>Chihuahua</b>	-42.8312	11.9484	-3.58	0.000	136.6227	47.6080	2.87	0.004
<b>Ciudad de México</b>	-0.0753	0.0115	-6.57	0.000	0.1410	0.0215	6.56	0.000
<b>Coahuila</b>	-31.0536	11.0472	-2.81	0.005	65.3242	32.5767	2.01	0.045
<b>Colima</b>	-13.7357	6.0957	-2.25	0.024	48.0829	22.7484	2.11	0.035
<b>Durango</b>	27.5415	11.2197	2.45	0.014	-134.9353	56.6129	-2.38	0.017
<b>Guanajuato</b>	-10.8719	0.9279	-11.72	0.000	50.9394	4.7955	10.62	0.000
<b>Guerrero</b>	-312.1019	377.5834	-0.83	0.408	2143.4180	2985.7090	0.72	0.473
<b>Hidalgo</b>	-62.3864	23.6957	-2.63	0.008	343.7521	140.3669	2.45	0.014
<b>Jalisco</b>	-7.4717	25.0754	-0.30	0.766	-12.5787	94.7979	-0.13	0.894
<b>México</b>	-23.0740	8.6634	-2.66	0.008	125.1930	50.6380	2.47	0.013
<b>Michoacán</b>	-109.5831	12.3332	-8.89	0.000	651.5009	80.9651	8.05	0.000
<b>Morelos</b>	-2.9802	3.0544	-0.98	0.329	15.2659	15.9823	0.96	0.339
<b>Nayarit</b>	-5.8329	10.5650	-0.55	0.581	24.8850	57.9703	0.43	0.668
<b>Nuevo León</b>	-49.2278	7.6012	-6.48	0.000	95.7203	18.2938	5.23	0.000
<b>Oaxaca</b>	-900.0040	265.6420	-3.39	0.001	6977.6880	2197.7910	3.17	0.001
<b>Puebla</b>	-29.8427	4.2055	-7.10	0.000	180.5488	26.6821	6.77	0.000
<b>Querétaro</b>	-6.0536	1.0189	-5.94	0.000	16.7272	3.2019	5.22	0.000
<b>Quintana Roo</b>	14.9303	33.0745	0.45	0.652	-47.9759	99.6261	-0.48	0.630
<b>San Luis Potosí</b>	-41.9000	5.7383	-7.30	0.000	168.8764	27.1941	6.21	0.000
<b>Sinaloa</b>	-94.4832	33.1244	-2.85	0.004	358.1381	141.5903	2.53	0.011
<b>Sonora</b>	-95.0922	49.0898	-1.94	0.053	209.3433	137.7039	1.52	0.128
<b>Tabasco</b>	102.8898	43.2374	2.38	0.017	-229.3324	96.6958	-2.37	0.018
<b>Tamaulipas</b>	-116.8446	46.8039	-2.50	0.013	327.8537	179.1508	1.83	0.067
<b>Tlaxcala</b>	6.2198	3.8501	1.62	0.106	-37.8967	23.8454	-1.59	0.112
<b>Veracruz</b>	-388.8303	187.9074	-2.07	0.039	1894.3030	1013.6560	1.87	0.062
<b>Yucatán</b>	22.7459	8.0455	2.83	0.005	-155.5191	40.1454	-3.87	0.000
<b>Zacatecas</b>	-40.2435	5.6859	-7.08	0.000	209.2136	35.1701	5.95	0.000

## Anexo 4. Resultado del modelo reducido (2) por entidades federativas

Entidad	Coeficiente PIB per cápita	Error estándar	z	P> z	Coeficiente PIB per cápita al cuadrado	Error estándar	z	P> z	Coeficiente PIB per cápita al cubo	Error estándar	z	P> z	
<b>Aguascalientes</b>	3.4561	2.4591	1.41	0.160	-35.9682	18.7642	-1.92	0.055	105.8044	46.72352	2.26	0.024	
<b>Baja California</b>	-325.1573	224.4719	-1.45	0.147	2004.5640	1405.5110	1.43	0.154	-4079.317	2919.32	-1.4	0.162	
<b>Baja California Sur</b>	51.2388	56.2692	0.91	0.363	-257.6185	291.4194	-0.88	0.377	413.3374	495.9128	0.83	0.405	
<b>Campeche</b>	-5.2773	6.6731	-0.79	0.429	7.3022	6.4621	1.13	0.258	-2.808559	2.030921	-1.38	0.167	
<b>Chiapas</b>	-	16867.3200	8851.7800	-1.91	0.057	282880.4000	147002.2000	1.92	0.054	-1566827	812209.4	-1.93	0.054
<b>Chihuahua</b>	246.5693	127.7098	1.93	0.054	-2201.4300	1028.8570	-2.14	0.032	6193.753	2723.077	2.27	0.023	
<b>Ciudad de México</b>	-0.2296	0.1109	-2.07	0.038	0.7297	0.4217	1.73	0.084	-0.7345781	0.5254776	-1.4	0.162	
<b>Coahuila</b>	231.7788	127.3903	1.82	0.069	-1488.2580	751.1389	-1.98	0.048	3022.687	1460.236	2.07	0.038	
<b>Colima</b>	58.3579	93.1506	0.63	0.531	-495.7286	701.5335	-0.71	0.480	1360.433	1754.096	0.78	0.438	
<b>Durango</b>	376.0140	159.7339	2.35	0.019	-3658.4310	1612.5390	-2.27	0.023	11761.42	5379.804	2.19	0.029	
<b>Guanajuato</b>	7.1649	10.3237	0.69	0.488	-138.6301	108.2026	-1.28	0.200	651.6167	371.6	1.75	0.080	
<b>Guerrero</b>	3518.2280	9357.0980	0.38	0.707	-58774.8300	148726.2000	-0.4	0.693	322214.7	786499.6	0.41	0.682	
<b>Hidalgo</b>	639.1192	327.8726	1.95	0.051	-8260.3770	4014.4780	-2.06	0.040	34853.37	16253.15	2.14	0.032	
<b>Jalisco</b>	499.5410	358.0428	1.40	0.163	-3929.8750	2761.4920	-1.42	0.155	10000.56	7045.997	1.42	0.156	
<b>México</b>	102.4250	104.4682	0.98	0.327	-1384.2370	1253.3360	-1.1	0.269	5996.986	4975.649	1.21	0.228	
<b>Michoacán</b>	190.9188	173.3678	1.10	0.271	-3298.4200	2274.8950	-1.45	0.147	17104.51	9845.418	1.74	0.082	
<b>Morelos</b>	41.8597	56.7574	0.74	0.461	-455.6875	595.4876	-0.77	0.444	1638.534	2071.081	0.79	0.429	
<b>Nayarit</b>	-190.7117	164.3320	-1.16	0.246	2073.0600	1817.8250	1.14	0.254	-7507.133	6659.59	-1.13	0.260	
<b>Nuevo León</b>	40.6751	74.9744	0.54	0.587	-339.7204	361.7943	-0.94	0.348	691.107	573.5201	1.21	0.228	
<b>Oaxaca</b>	9528.3900	6265.2590	1.52	0.128	-	165864.3000	103777.5000	-1.6	0.110	952373.2	571705.3	1.67	0.096
<b>Puebla</b>	47.6471	43.5247	1.09	0.274	-808.0875	553.5405	-1.46	0.144	4146.616	2319.272	1.79	0.074	
<b>Querétaro</b>	31.5375	9.7069	3.25	0.001	-223.3186	61.8147	-3.61	0.000	502.2376	129.2182	3.89	0.000	
<b>Quintana Roo</b>	-1075.6270	508.1700	-2.12	0.034	6553.1630	3071.7200	2.13	0.033	-13257.55	6166.362	-2.15	0.032	
<b>San Luis Potosí</b>	-28.8405	55.5043	-0.52	0.603	43.4206	531.0455	0.08	0.935	394.102	1666.023	0.24	0.813	
<b>Sinaloa</b>	-33.3284	604.8975	-0.06	0.956	-169.8157	5216.2120	-0.03	0.974	1509.647	14909.9	0.1	0.919	
<b>Sonora</b>	-705.2223	773.2344	-0.91	0.362	3669.9650	4379.1990	0.84	0.402	-6485.743	8203.327	-0.79	0.429	
<b>Tabasco</b>	246.9841	1051.2570	0.23	0.814	-875.9407	4714.4100	-0.19	0.853	963.8918	7026.241	0.14	0.891	
<b>Tamaulipas</b>	1997.4480	511.9097	3.90	0.000	-15838.1200	3906.3710	-4.05	0.000	40893.85	9875.123	4.14	0.000	
<b>Tlaxcala</b>	-140.2749	90.0603	-1.56	0.119	1782.2700	1118.2770	1.59	0.111	-7515.203	4616.239	-1.63	0.104	
<b>Veracruz</b>	2879.7770	4529.8990	0.64	0.525	-33852.6700	49509.3300	-0.68	0.494	129916.6	179896.6	0.72	0.470	
<b>Yucatán</b>	378.3319	78.9536	4.79	0.000	-3722.0170	790.0799	-4.71	0.000	11770.68	2605.562	4.52	0.000	
<b>Zacatecas</b>	-73.6745	47.7443	-1.54	0.123	639.2329	610.8298	1.05	0.295	-1800.476	2553.353	-0.71	0.481	

## Anexo 5. Punto de inflexión de las estimaciones significativas del modelo reducido (1)

Entidad	Coefficiente PIB per cápita	Coefficiente PIB per cápita al cuadrado	Punto de inflexión	PIB per cápita 2018 (pesos constantes 2013)	Diferencia
Oaxaca	-900.004	6977.688	\$ 64,491.56	\$ 66,628.06	\$ 2,136.50
Yucatán	22.7459	-155.5191	\$ 73,129.06	\$ 125,918.80	\$ 52,789.74
Puebla	-29.8427	180.5488	\$ 82,644.30	\$ 99,867.75	\$ 17,223.45
Michoacán	-109.5831	651.5009	\$ 84,100.50	\$ 94,616.25	\$ 10,515.75
Hidalgo	-62.3864	343.7521	\$ 90,743.30	\$ 98,825.09	\$ 8,081.79
México	-23.074	125.193	\$ 92,153.87	\$ 101,894.74	\$ 9,740.87
Zacatecas	-40.2435	209.2136	\$ 96,178.07	\$ 102,690.78	\$ 6,512.71
Durango	27.5415	-134.9353	\$ 102,054.28	\$ 119,014.63	\$ 16,960.35
Guanajuato	-10.8719	50.9394	\$ 106,713.92	\$ 124,812.94	\$ 18,099.02
San Luis Potosí	-41.9	168.8764	\$ 124,055.11	\$ 138,762.79	\$ 14,707.68
Sinaloa	-94.4832	358.1381	\$ 131,908.93	\$ 136,914.96	\$ 5,006.03
Chihuahua	-42.8312	136.6227	\$ 156,749.79	\$ 160,285.32	\$ 3,535.53
Aguascalientes	-2.0849	6.4728	\$ 161,052.97	\$ 178,022.36	\$ 16,969.39
Querétaro	-6.0536	16.7272	\$ 180,951.17	\$ 203,465.29	\$ 22,514.12
Tabasco	102.8898	-229.3324	\$ 224,324.60	\$ 203,656.84	-\$ 20,667.76
Nuevo León	-49.2278	95.7203	\$ 257,143.76	\$ 269,713.69	\$ 12,569.93
Ciudad de México	-0.0753	0.141	\$ 267,262.99	\$ 348,389.24	\$ 81,126.25
Campeche	3.7984	-1.5993	\$ 1,187,544.94	\$ 617,307.20	-\$ 570,237.74

## Anexo 6. Punto de inflexión de las estimaciones significativas del modelo reducido (2)

Entidad	Coefficiente PIB per cápita	Coefficiente PIB per cápita al cuadrado	Coefficiente PIB per cápita al cubo	Puntos de inflexión		PIB per cápita 2018	Diferencia	
Yucatán	378.3319	-3722.017	11770.68	\$ 50,823.51	\$ 210,807.25	\$ 125,918.80	\$ 75,095.29	-\$ 84,888.45
Tamaulipas	1997.448	-15838.12	40893.85	\$ 63,058.24	\$ 258,198.89	\$ 151,507.22	\$ 88,448.98	-\$ 106,691.67
Querétaro	31.5375	-223.3186	502.2376	\$ 70,611.09	\$ 296,431.54	\$ 203,465.29	\$ 132,854.20	-\$ 92,966.25