

Revisión de la literatura: modelos económicos sobre deforestación

El desarrollo de modelos de los procesos de cambio en el uso/cubierta del suelo tiene tres objetivos: 1) un mejor entendimiento de las causas y los mecanismos que gobiernan los cambios en el uso/cubierta del suelo, 2) generar predicciones sobre las futuras tasas de cambio en la cubierta forestal al tomar en cuenta los factores que causan o controlan estos cambios, y 3) contribuir al diseño de políticas que den respuestas a estos cambios.

En los últimos 10 años se ha observado un auge en el desarrollo de modelos de deforestación, los cuales se clasifican, según el método de análisis que utilizan, como cualitativos y cuantitativos; y de acuerdo a la escala o unidad del análisis como individuales o comunitarios, regionales y nacionales o globales. Dentro del método cualitativo se encuentran los modelos analíticos cuyas características principales son su nivel de abstracción teórica y que no incluye información empírica: se basan en funciones matemáticas expresadas de forma algebraica. Estos modelos sirven para ayudar a determinar las implicaciones lógicas de los supuestos que se establecen. Dentro del análisis cuantitativo se encuentran los modelos empíricos y de simulación. Los modelos empíricos cuantifican la relación entre las distintas variables utilizando datos empíricos y métodos estadísticos, mientras que los modelos de simulación utilizan parámetros basados en hechos estilizados tomados de diversas fuentes para construir escenarios y analizar el impacto de los cambios en las políticas.

En cuanto a su naturaleza temporal –si son estáticos o dinámicos o por el horizonte de tiempo que consideran –la mayoría de los modelos son esencialmente estáticos. En el caso de los modelos empíricos, casi todos utilizan información de corte transversal o de panel.

Kaimowitz y Angelsen (1998) utilizan el siguiente marco conceptual para clasificar las variables en distintos tipos, y su relevancia para modelar varía según el enfoque utilizado:

- *Magnitud y ubicación de la deforestación*: esta es la principal variable dependiente.
- *Agentes de la deforestación*: se refiere a los individuos o empresas, y sus características, involucrados en el cambio del uso del suelo. Casi todos los modelos consideran el número de agentes como exógeno, aunque algunos lo consideran endógeno (migración). Las principales características de los agentes que se consideran son: los atributos culturales, los recursos con los que cuentan (riqueza inicial), la educación, población inicial, sus preferencias y objetivos, entre otros.
- *Variables de decisión*: son las actividades sobre las cuales los agentes toman las decisiones. Por definición, son endógenas. Las decisiones con respecto a las variables de decisión determinan la cantidad que se deforesta, siendo ejemplos de estas la asignación o uso de la tierra, trabajo y capital, la migración, el consumo y otras variables tecnológicas y de manejo.
- *Parámetros de decisión de los agentes*: estas variables afectan directamente las decisiones de los agentes con respecto a las variables de decisión, sin embargo, son externas a los agentes. Ejemplos de esto son: los precios de los insumos y productos, costos del trabajo,

accesibilidad, riesgo, derechos de propiedad, restricciones legales, factores físico-geográficos, información disponible, etc.

- *Variables macro e instrumentos de política*: estas variables no afectan directamente las decisiones de los agentes, sin embargo tienen influencia sobre los parámetros de decisión. Casi siempre son consideradas exógenas.

Para analizar la dinámica y la relación entre los principales tipos de variables y la deforestación, hay que empezar por identificar quiénes son los agentes que toman las decisiones y cuál es su importancia relativa con el proceso de deforestación. A las acciones que estos agentes realizan se les conoce como *fuentes directas* de deforestación. El siguiente nivel se da con la combinación de las variables y los parámetros de decisión, que ilustra el problema de decisión de los agentes. Estos agentes toman las decisiones en función de las opciones que tienen basados en sus propias características y en los parámetros de decisión exógenos. La combinación de estas variables constituyen las *causas inmediatas* de la deforestación ya que su efecto en los agentes es directo. Por último, se considera que las fuerzas económicas, políticas, tecnológicas, sociales y culturales más amplias constituyen las *causas subyacentes* de la deforestación. Cabe destacar que como las causas subyacentes determinan a los parámetros de decisión, el mezclar estos dos niveles puede crear serios problemas en los modelos de regresión, ya que se estaría alterando la relación de causalidad.

El marco conceptual anterior está estrechamente vinculado con el aspecto de la escala o unidad del análisis. Según el nivel en que se realice el análisis se podrán resolver distintas interrogantes. Por un lado, si la escala es muy amplia, los altos niveles de agregación de la información no permitirán observar la variabilidad de las situaciones y sus relaciones, mostrando promedios que pueden no significar nada. Por el contrario, si la escala es demasiado pequeña, pueden pasarse por alto procesos significativos que ocurren a niveles más altos de agregación. No obstante, los resultados que se obtienen de analizar las causas inmediatas, es decir, cuando la unidad de análisis es menor, por lo general resultan mucho más concluyentes.

Las principales escalas utilizadas en los modelos se dividen en escalas *micro*: individual, familiar y comunal; *meso*: municipal, estatal y regional; y *macro*: nacional y mundial. Dependiendo de la escala las diferentes variables pueden considerarse como endógenas o exógenas. En los niveles más desagregados (micro), los agentes deciden cómo asignar sus recursos en un contexto donde los precios, recursos iniciales y preferencias, las políticas, instituciones y alternativas tecnológicas, se encuentran determinadas exógenamente.

Sin embargo, los modelos de subsistencia y Chayanovianos son una excepción en este nivel de agregación, ya que no consideran a todos los precios como exógenos. Estos modelos suponen que los agentes toman decisiones entre consumo y ocio, sin tener interés por consumir más de una determinada cantidad de bienes. Esto los conduce a tomar decisiones en función de los precios sombra determinados subjetivamente (endógenos), es decir, su determinación va de acuerdo con sus preferencias en lugar del mercado.

La mayoría de los modelos de pequeña escala ponen gran énfasis en variables geográficas o relacionadas con estas, tales como el clima, la topografía, calidad del suelo, tipo de vegetación, acceso a los caminos y mercados, tenencia de la tierra, población, etc. Dentro de los modelos empíricos, las regresiones espaciales representan el tipo de modelo más común.

Dentro del siguiente nivel se encuentran los modelos regionales, los cuales poseen diversas características ecológicas, de estructura agraria, historia política, instituciones, relaciones comerciales, infraestructura y uso del suelo. En este nivel, algunos precios, instituciones y tendencias demográficas son endógenos. Debido a limitaciones en la información, la mayoría de los modelos utilizan a los municipios o estados como *proxies* regionales para la deforestación. Estos modelos buscan encontrar la forma en que los parámetros de decisión a nivel meso influyen en las tasas de deforestación. Además, la mayoría de estos modelos también incorporan variables de tipo espacial.

En el último nivel, se encuentran los modelos a escalas nacionales y globales que ponen énfasis en la relación que existe entre las variables subyacentes, los parámetros de decisión y la deforestación. Sin embargo, para efectos de este estudio no resultan relevantes este tipo de modelos, ya que por su nivel de agregación no se permite analizar adecuadamente las causas inmediatas de la deforestación, lo cual es el principal objetivo de esta tesis.

Dos ejemplos de modelos empíricos de deforestación en México

Los modelos que aquí se analizan son los dos modelos, que por la información con la que cuentan y su nivel de desagregación, resulta indispensable hacer referencia a ellos ya que hasta ahora representan los dos estudios empíricos más completos que se han hecho sobre las principales variables que afectan la deforestación en México. Estos modelos ilustran dos niveles o escalas de análisis, siendo el primero a nivel meso y el segundo a nivel micro.

Para el primer tipo de modelo se analiza el desarrollado por Deininger y Minten (1996)¹. Su objetivo es señalar la importancia que tres factores: la pobreza, las políticas gubernamentales y la seguridad en los derechos de propiedad, tienen sobre la deforestación en México. Su unidad de análisis es el municipio y utiliza un modelo de dos períodos: 1980 y 1990. En el modelo analítico el productor representativo busca maximizar sus ganancias y su problema de decisión es cómo divide sus horas de trabajo disponibles entre cuatro alternativas, que son: el sector laboral, recibiendo un salario; el sector agrícola, obteniendo un beneficio que depende de la función de producción menos los costos asociados; el sector forestal, del que obtiene un beneficio (sólo en el primer período) relacionado con los precios de la madera; e invertir en el mejoramiento de la tierra para hacerla más productiva. De aquí se deriva el modelo empírico en el que establece que el área deforestada en el municipio es una función de los precios de los productos agrícolas y forestales (relacionados con las políticas de

¹ *Poverty, Policies and Deforestation: The Case of Mexico*, Klaus W. Deininger y Bart Minten, Banco Mundial, 1996.

precios gubernamentales), las políticas encaminadas a incrementar la productividad en la tierra ya cultivada y los salarios y recursos con los que se cuenta (como indicadores del nivel de pobreza).

El segundo modelo se refiere al desarrollado por Jennifer Alix et. al. (2003).² El periodo que se considera es 1993-2000 y se utiliza una encuesta realizada por el INE-UCB que contiene una muestra de 450 ejidos y que fue levantada en el 2002. Este modelo analiza los incentivos que existen a nivel comunidad y hogar dentro de comunidades, para entender los procesos de la deforestación. Este enfoque es relevante para el caso de México, ya que se estima que alrededor del 80% de los recursos forestales se encuentran bajo el régimen de propiedad comunal.

Se proponen dos patrones distintos de comportamiento que conducen a que se deforeste. El primer patrón es el efecto de la cooperación dentro de la comunidad donde los bosques no se manejan con propósitos comerciales como una forma de mitigar la demanda excesiva por tierra; el segundo se refiere a la forma en que se dividen las ganancias donde se aprovecha el bosque con fines comerciales, como una herramienta para minimizar los incentivos a expandir la frontera agrícola (economía política).

Para la implementación empírica, primero se determina la probabilidad de que un ejido o comunidad decida entrar en un régimen forestal, y utiliza un modelo probit simple. Posteriormente estima la deforestación para los dos tipos de comunidad, utilizando el estimador de Hausman de máxima verosimilitud para información completa.

Encuentra que el tamaño del ejido, las características físicas y los efectos municipales son importantes para determinar el régimen (actividad forestal o no), y esta decisión se toma conjuntamente con la de deforestación. A nivel individual, la migración y la experiencia previa en posiciones de liderazgo afectan la decisión de uso del común. Además, las características geofísicas como la cantidad de tierra de calidad para la agricultura propician que se deforeste. A nivel comunidad, encuentra que la experiencia y educación de los líderes actuales y la distribución de la tierra son determinantes importantes en la deforestación. Por último, encuentra que la pobreza tiene un efecto positivo sobre la deforestación en las comunidades con actividad forestal.

Cabe hacer referencia a un modelo anterior desarrollado por Jennifer Alix (2001).³ El objetivo de este modelo también es analizar el caso mexicano del régimen de propiedad comunal para estudiar los efectos que la cooperación y la forma de organización en las comunidades tienen sobre el cambio en el uso del suelo y la deforestación. Dentro del modelo analítico se describe el proceso de la toma de decisiones de una comunidad. Esta comunidad busca maximizar sus ganancias, sujetas a una función de costos en la que se incluyen los costos por cooperar. Son dos las actividades que les generan ganancias: la agropecuaria y la forestal, y el uso que se le da a la tierra depende de diversos factores como los precios de los productos e insumos, la capacidad de organización y

² Jennifer Alix, Alain de Janvry y Elizabeth Sadoulet, "*Partial Cooperation, Political Economy & Common Property Resource Management: The case of deforestation in Mexico*", Mayo 2003 (borrador).

³ *Deforestation in the Commons: A Village Level Approach*, Jennifer Alix, Universidad de California en Berkeley, 2001.

cooperación de la comunidad y las condiciones físico-geográficas en que se encuentren. La decisión sobre el uso de la tierra se relaciona directamente con el nivel de deforestación. De esta manera, en el modelo empírico se incorporan esas variables para determinar el cambio en la superficie forestal por ejido expresado de dos maneras: el cambio absoluto (hectáreas) y porcentual en la superficie forestal.

La muestra que Alix utiliza es de 79 ejidos para el modelo anterior que en una encuesta reportaron contar con bosque en su terreno. Aquí se observa una diferencia importante con la información utilizada por Deininger y Minten, no sólo por la escala sino también porque el tamaño de la muestra del primer modelo es mucho mayor: 2100 municipios del país aproximadamente, excluyendo los urbanos. Sin embargo, la escala utilizada por Alix presenta la ventaja de describir con mayor detalle cuáles son las variables que están en contacto directo con los que toman las decisiones, que en su mayoría son las comunidades, en lugar de generalizar el comportamiento de los agentes –tanto individuos como comunidades –y que no siempre actúan bajo las mismas premisas.

En el siguiente cuadro se describen los principales aspectos de los dos modelos:

CUADRO COMPARATIVO DE DOS MODELOS CUANTITATIVOS DE DEFORESTACIÓN.

	Deininger y Minten (1996)	Jennifer Alix (2001)
Objetivo	Estimar los efectos que 3 factores -pobreza, políticas gubernamentales (y sus precios asociados) y seguridad en los derechos de propiedad -tienen sobre la deforestación en México.	Estimar los efectos que la cooperación y la forma de organización en las comunidades (propiedad comunal) tienen sobre el cambio en el uso del suelo y la deforestación.
Tipo de información / Unidad de análisis	Se utilizan mapas digitales y Censos de Población y Agrícola / La unidad de análisis es el municipio (se excluye a los municipios urbanos).	Se utiliza información satelital y de la SRA y Berkeley / La unidad de análisis es el ejido (muestra de 79 ejidos que reportan tener bosque) .
Modelo teórico	Modelo de dos períodos: 1980 y 1990. El productor representativo distribuye sus horas de trabajo -en el sector laboral, agrícola forestal o mejorar la productividad de la tierra -buscando maximizar sus ganancias. El área deforestada es función de los precios agrícolas y de la madera, los salarios y la calidad de la tierra y su potencial para mejorarla.	Se considera el período 1994-2000. La comunidad en su conjunto busca maximizar sus ganancias a través de 2 actividades principales -agropecuaria y forestal -sujeta a una función de costos para lograr que los individuos cooperen.
Variable dependiente	La variable que se estima es el área deforestada en 1990, expresada como el porcentaje del área inicial forestal en 1980.	Realiza dos estimaciones: primero estima el cambio en la superficie boscosa de 1994 a 2000, expresada en el número de hectáreas, y después estima el cambio como porcentaje del área total del ejido.
VARIABLES	<p>Pobreza: % de la PEA que recibe hasta un salario mínimo, % de la población mayor a 15 años sin primaria, % de la población sin acceso a servicios públicos.</p> <p>Var. instrumentales de pobreza: % del área con pendiente, % del área muy inclinada, precipitación, % de tierra fértil , % área agrícola con irrigación, % población indígena.</p> <p>Políticas agrícolas y precios: % de campesinos con créditos de Banrural, densidad de los depósitos en el estado, % madera suave en bosque, % tierra protegida.</p> <p>Tenencia: % tierra bajo propiedad comunal (ejidos).</p>	<p>Geofísicas: % del área con pendiente pronunciada, distancia a la ciudad más cercana, sequía (dummy para 4 estados del norte), tamaño total del área comunal y población*.</p> <p>Precios: cambio porcentual en el precio de la madera y maíz para el período 1995-1999.</p> <p>Cooperación: % de la población que asiste a las asambleas, número de asistentes a las asambleas, inequidad en distribución de las parcelas individuales, existencia de leyes escritas.</p>
Modelo empírico	Es un modelo tobit ponderado para corregir la heteroscedasticidad. Además se utilizan ecuaciones instrumentando mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) para las estimaciones de pobreza.	Utiliza el método de mínimas desviaciones absolutas (LAD) y después realiza una comparación con el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). Señala la ventaja de usar LAD en presencia de heteroscedasticidad y no requiere el supuesto de normalidad en el término del error.
Resultados (relación con deforestación)	<p>Políticas: densidad de depósitos (relación positiva), precios de la madera (positiva), asistencia técnica (negativa: incremento en productividad en tierra agrícola existente), créditos de Banrural (positiva), áreas protegidas (negativa).</p> <p>Pobreza: niveles de pobreza (relación significativa y positiva), población indígena (negativa: contrario a lo que se esperaba).</p> <p>Tenencia de la tierra: % de tierra bajo propiedad ejidal (insignificante: las comunidades pueden haber desarrollado formas de organización que trasciendan la "tragedia de los comunes").</p>	<p>Primera regresión (núm. hectáreas): precios de la madera (relación fuerte y positiva), pendiente (casi siempre es negativa: funciona como protección natural), distancia a ciudad (positiva: esta inconsistencia se puede explicar debido a que quizá los ejidos más cercanos ya no tienen bosque que cortar), tamaño del área común (positiva: difícil monitoreo entre mayor sea), participación absoluta y porcentual en asambleas (negativa: contribución en toma de decisiones), inequidad (consistente con la idea de un óptimo de equidad), reglas escritas (positiva: la inconsistencia puede explicarse porque esas reglas quizá se escribieron para corregir un comportamiento negativo). Segunda regresión (%): las variables geográficas son muy dominantes, en especial distancia y sequía (relación positiva), precios de la madera (fuerte y positiva), precios (casi no son significativos).</p>

□

El Modelo

El modelo que se estimará y en el que se basa este estudio es un modelo estático de competencia espacial utilizado por Chomitz y Gray para estudiar la deforestación en Belice, y que a su vez se basa en el modelo de Von Thünen (1966).⁴ La hipótesis de este modelo es que se le dará a la tierra el uso que potencialmente genere la renta más alta.

La distancia a los mercados y otras variables geográficas relacionadas juegan un papel muy importante para determinar la renta, y por lo tanto el uso de suelo, al afectar los precios de los productos e insumos.

De acuerdo con Von Thünen (1966), suponemos que existe una renta potencial (valor de la producción menos los costos de los insumos) asociada a cada uso y por cada parcela de tierra. El modelo señala que la tierra se dedicará a la actividad k si:

$$R_{ik} > R_{ij}, \quad \text{para todos los usos } j \neq k$$

Donde R_{ik} representa la renta potencial, o bien, el valor presente de los rendimientos esperados de la tierra bajo el uso k en el punto i en el caso de que se contara con información sobre las tasas de interés. Sin embargo, R_{ik} se considera aquí como la renta potencial y se define por:

$$(1) \quad R_{ik} = P_{ik} Q_{ik}(P_{ik}, C_{ik}) - C_{ik} X_{ik}(P_{ik}, C_{ik})$$

Donde P_{ik} representa el precio del producto obtenido del uso de suelo k en el punto i , C_{ik} es el vector de precios de los insumos para k en ese punto, X_{ik} son las cantidades óptimas de insumos para k por unidad de tierra, y Q_{ik} es el producto potencial de k en ese punto.

Similarmente, la renta potencial para el uso j en el punto i está dada por:

$$(2) \quad R_{ij} = P_{ij} Q_{ij}(P_{ij}, C_{ij}) - C_{ij} X_{ij}(P_{ij}, C_{ij})$$

Sin embargo, P , C y Q no sólo son endógenos, sino también no observables. No obstante, es posible conocer los determinantes de las diferencias en los precios y la productividad en los diferentes puntos del espacio, y de ahí formular una forma reducida del modelo. (Todas las variables del lado derecho se determinan conjuntamente con el uso de suelo en un equilibrio espacial y por lo tanto son endógenas. De aquí que, para estimar directamente las ecuaciones (1) y (2) se deban instrumentar estas variables a través de ecuaciones auxiliares paralelas a aquellas utilizadas para derivar la forma reducida.)

Se asume que los diferenciales espaciales en los precios netos que los productores enfrentan se deben a las diferencias en los costos de transporte a los mercados más grandes. Para cada producto se especifican funciones que relacionan los precios del producto e insumos con la distancia D al mercado:

$$(3) \quad P_{ik} = \exp(\gamma_{0k} + \gamma_{1k} D_i)$$

⁴ *Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize*, Kenneth M. Chomitz and David A. Gray, World Bank, 1996.

$$C_{ik} = \exp(\delta_{0k} + \delta_{1k} D_i) \quad (\text{en este caso para el uso } k)$$

Tradicionalmente, se asume que los precios de los productos decrecen con la distancia ($\gamma_{1k} < 0$) y que los costos de los insumos se incrementan ($\delta_{1k} > 0$). El segundo supuesto es muy factible para los insumos como los agroquímicos, pero es menos claro para el insumo trabajo, ya que existe muy poca información sobre la estructura espacial de los salarios en las áreas boscosas con una densidad baja de población.

La función de producción para el uso k , expresada aquí como la producción por unidad de tierra, es:

$$(4) \quad Q_{ik} = S_{ik} X_{ik}^{\beta_k} \quad 0 < \beta_k < 1$$

El factor de productividad S se puede expresar como el producto de variables agroclimáticas y de otro tipo, s_i , describiendo la fertilidad del suelo y otras características de la tierra:

$$S_{ik} = \lambda_{0k} s_{1i}^{\lambda_{1k}} s_{2i}^{\lambda_{2k}} \dots$$

De la ecuación (4) se puede derivar la demanda por X_{ik} :

$$(5) \quad X_{ik} = \left[\frac{C_{ik}}{P_{ik} S_{ik} \beta_k} \right]^{1/(\beta_k - 1)}$$

Sustituyendo las ecuaciones (4) y (5) en la ecuación (1), sin considerar los subíndices y simplificando, se tiene que:

$$(6) \quad R = PQ - CX = PSX^\beta - CX = X[PSX^{\beta-1} - C] = C^{\beta/(\beta-1)} [PS\beta]^{1/(1-\beta)} (1-\beta)/\beta$$

Las ecuaciones (5) y (6) muestran que la renta y la intensidad de los insumos se incrementan al aumentar los precios de los productos y disminuyen al incrementarse los costos de los insumos.

Sin embargo, las rentas potenciales R_{ik} y R_{ij} pueden variar de manera importante de un sitio a otro. Las diferencias en factores no observados como las habilidades y condiciones de los individuos, las restricciones dentro de las comunidades, las expectativas en los precios, las condiciones del mercado local, etc., pueden conducir a los dueños de la tierra con un mismo potencial productivo a escoger diferentes usos de la tierra mientras cada uno maximiza sus rentas potenciales.

De esta forma, la decisión de los dueños de los bosques (y potenciales productores agrícolas) sobre la asignación del uso de la tierra depende de la diferencia en las rentas potenciales de cada actividad y de un término aleatorio no observable:

$$R_{ik}^* = R_{ik} + u_{ik}$$

$$R_{ij}^* = R_{ij} + u_{ij}$$

Donde u es una variable aleatoria no observable con media cero y varianza finita. Así, la probabilidad de dedicar la tierra al uso k en el punto i , está dada por:

$$(7) \quad \begin{aligned} \Pr(y_{ik} = 1) &= \Pr(R_{ik}^* > R_{ij}^*) = \Pr(R_{ik} + u_{ik} > R_{ij} + u_{ij}) \\ &= \Pr(u_{ij} - u_{ik} < R_{ik} - R_{ij}) \end{aligned}$$

Aquí, y_{ik} representa el uso del suelo k al final del periodo, que en este caso es igual a un uso agrícola o ganadero, por lo que $\Pr(y_{ik} = 1)$ es equivalente a la probabilidad de que el punto i se deforeste (esto será cierto para la base de datos que se utilizará ya que todos los puntos en el periodo inicial se encuentran bajo un uso forestal).

La diferencia en las dos rentas de los dos usos del suelo se puede obtener utilizando las ecuaciones (1) y (2), o más específicamente si se utiliza la función descrita por la ecuación (6).

$$(8) \quad \begin{aligned} R_{ik} - R_{ij} &= (P_{ik} Q_{ik} - P_{ij} Q_{ij}) - (C_{ik} X_{ik} - C_{ij} X_{ij}) \\ \text{ó} &= \left[C^{\beta/(\beta-1)} [PS\beta]^{1/(1-\beta)} (1-\beta)/\beta \right]_{ik} - \left[C^{\beta/(\beta-1)} [PS\beta]^{1/(1-\beta)} (1-\beta)/\beta \right]_{ij} \end{aligned}$$

De esta forma se tiene:

$$(9) \quad \Pr(y_{ik} = 1) = \Pr(\varepsilon_i < R_{ik} - R_{ij}) = F(R_{ik} - R_{ij})$$

Donde F es la función de distribución acumulada (fda). La distribución de F depende de la distribución del término aleatorio $\varepsilon_i = u_{ij} - u_{ik}$. Si las u 's tienen una distribución normal, entonces la combinación lineal de ellas también tiene una distribución normal; F es la fda normal y por lo tanto, con sólo dos usos del suelo, se implica un modelo probit binomial. La explicación formal para los modelos probit binomial y probit ordenado se encuentra en el Anexo 1.

Estrategia empírica

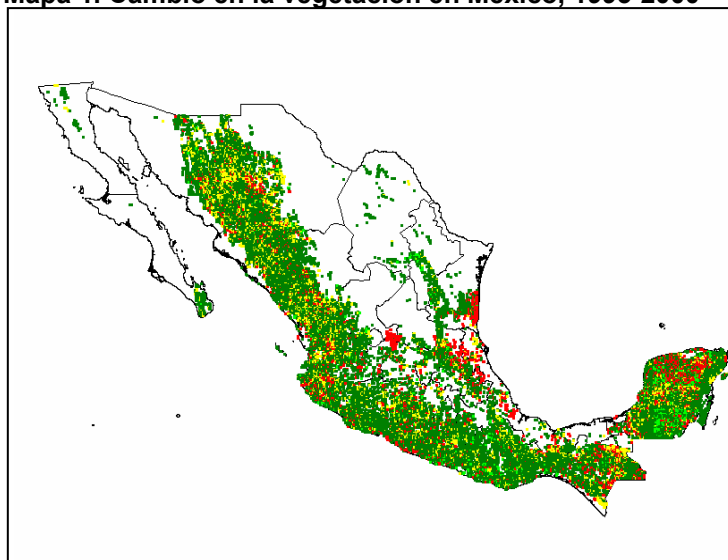
La base de datos se obtuvo utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), de donde se generó un *grid* o retícula con un total de 23,402 *pixeles* u observaciones a lo largo de todo el territorio nacional. Para explicar mejor el proceso de extracción de la información utilizando los SIGs, se visualiza un mapa digital de México y se colocan encima distintas capas con información relevante. Se atraviesa un alfiler por esas capas y toda la información mapeada para ese punto – pendiente, precipitación, distancia a mercados, índice de marginación, régimen de propiedad, población, etc. – se registra y agrupa. La información detallada se explica más adelante.

Fuentes de información

La principal información utilizada para este análisis proviene de los Inventarios Nacionales Forestales de 1993 y 2000, los Censos Agropecuarios y Ejidales de 1990 y la base de datos del registro de propiedad privada de 1990-1992. Se utilizó la interpretación del Inventario Nacional

Forestal realizada por el Instituto Nacional de Ecología⁵ para identificar los cambios en el uso del suelo en todo el territorio nacional a una escala 1:250,000.

Mapa 1. Cambio en la vegetación en México, 1993-2000



Los puntos amarillos y rojos indican una degradación y deforestación, mientras que los puntos verde claro indican una recuperación.

El *grid* o retícula se creó sobre el área que en 1993 tenía bosques primarios o secundarios (ver Mapas 1 y 2). Los puntos de esta retícula se localizan a una distancia de 0.05 grados (\approx 5 km) entre sí, en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste (ver Mapa 2). Estas distancias relativamente grandes entre los puntos responden a dos necesidades. La primera fue para reducir el tiempo computacional que se necesita para calcular las variables relacionadas con el costo de viaje o accesibilidad. La segunda fue para reducir el efecto de la correlación espacial en el término del error. La incorporación de la dependencia espacial es un aspecto muy importante para los análisis de corte transversal, pero que sin embargo se encuentra fuera del alcance de esta tesis. El cambio en la cubierta vegetal que se analiza en esta tesis corresponde a un periodo de siete años: 1993 - 2000.

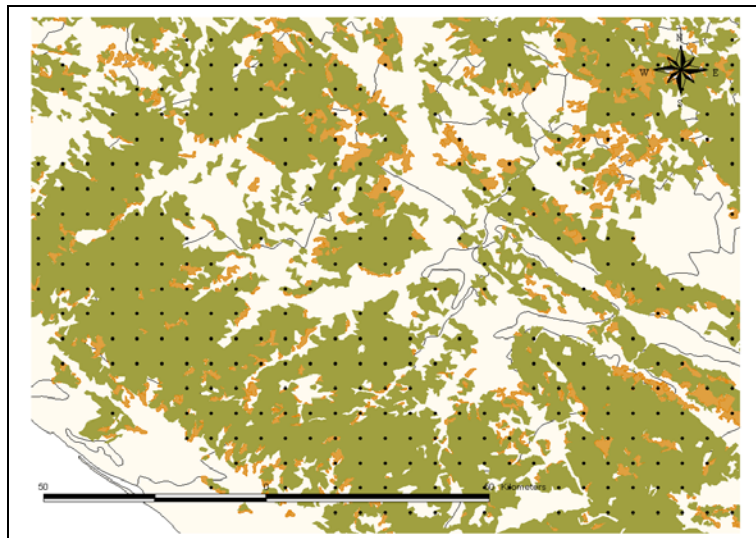
Para fines econométricos, se debió hacer una consideración adicional sobre la base de datos. Esto es, debido a que sólo el 25% de las observaciones originales presentaron un cambio en la cubierta forestal (la variable dependiente) durante el periodo que se estudia, me enfrenté al problema clásico de desbalance de la muestra para modelos de variables discretas analizado por King y Zeng (2001).⁶ Ellos señalan que un desbalance así limita el poder explicativo de un modelo al obtener estimadores sesgados, e incluso pudiera implicar la imposibilidad de predecir un resultado positivo (es decir, se subestima la probabilidad de deforestación) y por lo tanto se obtienen niveles bajos en la bondad de ajuste, particularmente con el estimador McFadden. Para corregir esto, se realizaron cortes aleatorios en la muestra original para obtener niveles más simétricos en la variable

⁵ Alejandro Velázquez, Jean F. Mas y José Luis Palacio, "Análisis del Cambio de Uso del Suelo," INE-IGG (UNAM), Enero 2002.

⁶ Gary King y Langche Zeng, "Logistic Regression in Rare Events Data," Society for Political Methodology, 2001.

dependiente (con un 40.25% de resultados positivos), creando una submuestra de 14,709 observaciones. No obstante, se realizó el análisis econométrico para las 2 muestras.

Mapa 2. Representación gráfica de la construcción del grid



Los cuatro resultados potenciales que para cada *pixel* generan un cambio cualitativo y ordenado en la cobertura vegetal son los siguientes:

- 1) Deforestación total
- 2) Degradación, de bosque primario a bosque secundario
- 3) Sin cambio en el tipo de bosque observado
- 4) Recuperación, de bosque degradado a bosque primario

Variables explicativas

La señal de los mercados para la deforestación de un predio en particular es el costo de oportunidad de su uso como agricultura o pastizal, comparado con las rentas positivas que el bosque provee bajo un aprovechamiento sustentable o como fuente local de materiales y alimento, e incluso comparado con rentas igual a cero cuando no se utiliza. Estas rentas potenciales dependen de las características físicas del predio y de los precios relativos de los productos e insumos. Sin embargo, las mismas señales del mercado tienen resultados distintos dependiendo de las instituciones que regulan las decisiones sobre el uso del suelo. Para el caso de México, esto implica hacer la distinción entre derechos de propiedad privados y comunes y considerar la reciente existencia de títulos de propiedad de la tierra más precisos. También implica considerar la definición y el grado de coerción a nivel nacional de las regulaciones sobre el cambio en el uso del suelo, las cuales generalmente sólo son relevantes en las zonas donde han sido declaradas como Áreas Naturales Protegidas (ANP).

Existen dos variables endógenas importantes que afectan el resultado del uso del suelo. La primera es la decisión de los dueños de los bosques de realizar actividades forestales legales. Esto sería una señal de que existen rentas positivas obtenidas del bosque, y en el caso de los bosques dentro de comunidades, que al menos una organización básica ha surgido para manejar los recursos comunes bajo restricciones de cooperación costosas. Al ser operaciones legales también significa que sus dueños requieren realizar actividades de reforestación y tener un plan de manejo de largo plazo para el bosque. Sin embargo, se conoce que su grado de coerción es bajo y varía considerablemente en el espacio.

Otra variable endógena importante es la pobreza. Esta es una característica de los dueños y otros habitantes que puede influenciar las decisiones sobre el uso de la tierra en varias formas. Para poder utilizar estas variables en la explicación de los cambios en el uso del suelo, se obtuvieron sus valores para el periodo inmediato anterior a la observación inicial de la cubierta forestal, para lograr al menos que estas sean exógenas al periodo en que se midió la deforestación.

Las variables potencialmente explicativas se clasifican en tres grupos principales. El primero se refiere a las características físicas del *pixel* que tienen una influencia en la productividad relativa de la tierra para generar madera u otros productos forestales por un lado, y productos agrícolas o pecuarios por el otro. El segundo grupo de variables se refiere a los costos de transacción de traer insumos y enviar productos a los mercados, creando una divergencia entre los precios netos locales y el nivel de precios a nivel nacional. El tercer grupo se refiere al marco institucional que limita estas decisiones, incluyendo el tipo de propiedad y las características de los dueños. Estas se describen con más detalle a continuación.

Estadísticas descriptivas

Las tablas 3.3 y 3.4 al final de esta sección muestran las medias, varianzas, mínimo y máximo valor de las variables para todo el *grid* y para la muestra balanceada. Además, en las tablas 3.5. y 3.6 se resumen las medias y varianzas divididas por el tipo de cambio que tuvieron: deforestado, degradado, regenerado o sin cambio.

- *Deforestación y Degradación*: el 25% de los píxeles del *grid* presentó una deforestación o degradación, lo que corresponde con la tasa observada en el periodo de 7 años utilizando todo el inventario forestal. El 11% de los píxeles experimentó una deforestación, mientras que el 14% fue sólo degradado. Por otro lado, la muestra balanceada tiene, por construcción, el 40.25% de los píxeles deforestados o degradados.

El *grid* se construyó sobre los bosques que existían en 1993, que incluyen bosques primarios –aquellos que presentan una composición de especies y una estructura de un bosque bien preservado –y bosques secundarios, donde se ha experimentado algún tipo de degradación. Los primarios representan el 70% del *grid* (y el 72% de la muestra balanceada). En el análisis econométrico se hace esta distinción del estado original en 1993.

- *Productividad de la tierra y sus proxies*: El grupo de variables relacionadas con las características físicas del *pixel* son su altitud, la precipitación media anual y la pendiente. Mientras el cultivo de la tierra puede ser un problema en altitudes muy grandes, existe un rango en donde esta variable no haría alguna diferencia. Por otro lado, pendientes muy pronunciadas se espera que siempre tengan una influencia para reducir la rentabilidad de la agricultura a través de más altos costos por cultivar y una mayor erosión en el mediano plazo, lo que igual sucede con la posibilidad de introducir ganado.

De hecho, se puede observar en la tabla 3.5 que existen diferencias significativas entre la pendiente promedio de los pixeles deforestados (10.5%) y aquellos que no tuvieron cambios en la cubierta forestal (19.6%). Para la muestra balanceada, la diferencia también se encuentra por alrededor de 9 puntos porcentuales: una pendiente promedio de 10.5% para los puntos deforestados y 19.4% para los que no cambiaron.

La expectativa de mayores rendimientos agrícolas en un área particular provee incentivos directos para deforestar. Una *proxy* disponible para la productividad de la tierra para la mayor parte de las observaciones es el rendimiento promedio de maíz por hectárea, registrado en 1990 en el Censo Agropecuario donde se localiza el pixel. Se reconoce que este es un *proxy* imperfecto para la productividad agrícola debido a que los rendimientos observados no sólo dependen de las características favorables de la tierra para la producción de maíz, sino también en las decisiones de insumos, que dependen de los precios relativos, restricciones de liquidez de los productores y de un término aleatorio. También, la ausencia de información de un registro en el censo puede ser una señal de que no existe producción de maíz en el área y que por sí misma contiene información sobre la productividad de la tierra. Sin embargo, estadísticamente hablando, las tablas 3.5 y 3.6 no muestran un patrón definido para el grid y la muestra balanceada de que existan mayores rendimientos en los pixeles que fueron deforestados o degradados con respecto a aquellos pixeles que no experimentaron un cambio.

El tipo de bosque que existió en 1993 en un pixel es importante por dos razones. Por un lado, representa las rentas potenciales que se pudieran generar de la madera bajo un aprovechamiento depredador o sustentable. Por otro lado, los tipos de suelo y las condiciones microclimáticas también son importantes para determinar cuánto se pudiera obtener de una actividad agropecuaria que sustituyera al bosque. En un sentido, la cubierta forestal puede resumir todas las características físicas del pixel en un solo indicador. El Inventario Nacional Forestal distingue entre 15 categorías de bosque, las cuales se agruparon en 5, dividiéndose primero en bosques templados y tropicales (selvas), ordenándolas dentro de cada división de acuerdo con lo que se considera el ingreso potencial comercial por hectárea bajo aprovechamiento sustentable.

Bosques templados:

- 1) Bosques de coníferas
- 2) Bosques de pino-encino y mesófilo de montaña

3) Bosques de encino, bajo abierto y tascate

Bosques tropicales o selvas:

- 1) Selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia (húmedas)
- 2) Selva mediana y baja caducifolia y subcaducifolia (secas)

A pesar de esta ordenación respecto al valor de la madera que se podría obtener por hectárea, no se puede sugerir *a priori* cuál podría ser el efecto neto de cada tipo de bosque. Lo que al final resulta relevante es la rentabilidad relativa entre la actividad forestal y los usos alternativos de la tierra.

Es interesante ver que en las tablas 3.5 y 3.6 los bosques de coníferas tienen una mayor representación en el grupo de píxeles que mantuvieron sus bosques que entre aquellos que se deforestaron, mientras que lo opuesto sucede con las selvas húmedas.

- *Variaciones espaciales de los precios y costos de transporte:* Al incorporar los costos de transporte se busca encontrar una fuente de variación espacial en los precios. Se obtuvieron dos medidas de costos de transporte. El primero es el tiempo de viaje desde el píxel hasta el centro poblacional más cercano, definido como cualquier localidad con una población mayor a 50 habitantes. El segundo es el tiempo de viaje desde el píxel hasta el centro urbano mayor de 15,000 habitantes, más cercano. Se espera que el primero capture el costo de transportar la mano de obra para las actividades agropecuarias y los productos para autoconsumo o ventas locales, y el segundo capture el efecto del costo de transporte de los diferentes productos para los mercados regionales, incluyendo el acceso a los mercados laborales urbanos.

Estas variables fueron creadas con SIGs utilizando la red de carreteras e introduciendo pesos ponderados con base en la literatura para definir los costos de viaje dentro y fuera de los caminos. Basándose también en modelos digitales de elevación y en los tipos de vegetación se estimó el tiempo mínimo de viaje desde cualquier píxel a los centros de población y urbanos más cercanos, medido en cortes de 30 minutos.

La distancia promedio de un píxel al centro poblacional más cercano para el *grid* es de 114 minutos y de 110 minutos para la muestra balanceada. La diferencia en esta variable entre los píxeles que fueron deforestados y los que conservaron sus bosques es importante: 43 minutos, tanto para el *grid* como para la submuestra, siendo esta distancia menor en los píxeles deforestados. Esta diferencia opera en el mismo sentido al considerar la distancia al centro urbano más cercano: 84 minutos para el *grid* y 81 para la muestra balanceada.

- *Derechos de propiedad:* Las señales del mercado a favor o en contra de la deforestación también se interpretan bajo la estructura de derechos de propiedad que gobierna el uso del bosque. Para el *grid*, de los píxeles en los que se puede identificar el tipo de propiedad, el 69% (14,133 observaciones) cae en terrenos de propiedad colectiva (50% cae en ejidos y 19% en comunidades), mientras que el 31% (6,350 observaciones) cae en propiedad privada. Sin embargo, para el 12% de las observaciones (2,918) no se tiene información

sobre la tenencia. Estas cifras están por debajo de las estimaciones tradicionales de que el 80% de los bosques se encuentran bajo propiedad colectiva. Sin embargo, cabe mencionar que la capa de información sobre la tenencia está más completa para las propiedades privadas que para la de tierras colectivas.

Dentro de las tierras bajo propiedad colectiva, una variable que se utiliza para explicar el distanciamiento del comportamiento como un solo agente para el manejo de los recursos comunes, es el tamaño del número de miembros. Esta variable se tomó del Censo y aquí se utiliza como una medida del costo de cooperar. Se espera que exista una creciente probabilidad de deforestación conforme aumente el número de miembros.⁷ Sin embargo, resulta dudosa la forma en que se midió esta variable en el Censo, ya que el número de miembros en las comunidades es mayor que el de los ejidos. Después de hacer una prueba estadística se confirmó que dicha diferencia es muy grande y significativa. Esto pudiera explicarse como un error de levantamiento debido a que es común que en las comunidades se considere que todo habitante tiene derechos reconocidos como miembro de la comunidad, lo que no sucede en el caso de los ejidos. Así, se introdujo una *dummy* para las comunidades que intenta captar esta y otras diferencias no cuantificables con los ejidos.

Dentro de los bosques comunitarios, existen diversos grados de certidumbre y definición en los derechos de propiedad. Los certificados otorgados por el PROCEDE presuntamente dan mayor certidumbre sobre los límites y derechos en la propiedad. También se espera que provean los incentivos para realizar inversiones de largo plazo en la tierra y por lo tanto reduzcan la deforestación. Sin embargo, debe considerarse un fenómeno que en la práctica se ha asociado a esto. En el trabajo realizado por Muñoz, De Janvry y Sadoulet (2003) se encuentra evidencia de que después de las reformas de 1992, los ejidos iniciaron un proceso de *parcelamiento individual* sobre la tierra que poseían en el común y PROCEDE fue el mecanismo mediante el cual se formalizaron estas nuevas parcelas. Debido a las economías de escala en las actividades forestales, se esperaría que un hogar particular recibiera un mayor ingreso de convertir una parcela pequeña de bosque a tierras agrícolas o a pastizales, lo que no ocurriría si se tuviera un bosque en una porción de terreno grande.

Para capturar el efecto de la definición en los derechos de propiedad y el potencial efecto de la división del común, se introducen dos variables adicionales para los pixeles que cayeron dentro de ejidos y comunidades: 1) si sus miembros cuentan con títulos PROCEDE, y 2) por cuántos años los han tenido respecto al 2000. Las tablas 3.3 y 3.4 muestran que el 54% de los pixeles del *grid* contaban con títulos PROCEDE y para ellos, el número promedio de años con título es de 2.1. Para la muestra balanceada, el 37% cuenta con títulos PROCEDE y un promedio de 1.5 años con sus títulos.

⁷ Es importante resaltar que debido a la forma en que se construyó el *grid* existe la probabilidad de que varios pixeles hayan caído en el mismo ejido. Esto se toma en cuenta en el análisis econométrico corrigiendo el término del error por la naturaleza de conglomerados de la información.

- *Pobreza*: Como ya se discutió en el capítulo 2, para medir el efecto que la pobreza tiene sobre la deforestación, se utilizó el índice de marginación de la CONAPO para 1995, asociando cada pixel con el valor de este índice en el centro poblacional rural más cercano. Su rango va de 1, representando el nivel de marginación más bajo, a 5, la marginación más alta. El índice promedio para el *grid* y la muestra balanceada es de 3.3.
- *Actividades forestales legales en el Censo*: Se reconoce que esta variable es endógena a las características de los bosques. El aprovechamiento forestal comercial incrementa el valor de un bosque y por lo tanto se supone que existen los incentivos para mantener este tipo de uso del suelo en el mediano o largo plazo. En este contexto la endogeneidad sería un problema debido a que las características de una parcela determinan simultáneamente la existencia de un régimen forestal y donde ocurre la deforestación. Se trató de eliminar la endogeneidad al utilizar la variable que correspondía al Censo Agropecuario de 1990, el más cercano anterior al periodo que se estudia. La tabla 3.3 muestra que el 61% de los pixeles caen dentro de las áreas en las que el Censo registró actividades forestales legales en 1990.
- *Áreas Naturales Protegidas (ANP)*: Estas áreas representan otra institución que regula las decisiones de los dueños de los bosques, aunque el grado de coerción entre regiones varía considerablemente. Las restricciones tienen dos niveles: el núcleo de las reservas, en donde no se permite ninguna actividad económica, y la periferia, donde las actividades “sustentables” o de baja intensidad que no cambien el uso del suelo son permitidas. En la tabla 3.7 se puede observar que para el *grid* el 5% de los bosques primarios y el 3% de los secundarios que existían en 1993 se encontraban en ANP’s. Mientras que sólo el 4% del total de los bosques se encontraban en ANP’s, el 5% de los bosques que se preservaron y el 11% de los bosques secundarios que se regeneraron cayeron en las ANP’s, sugiriendo que la regulación y vigilancia en estas zonas sí tiene un efecto considerable en la conservación. Esta hipótesis se probará en el análisis econométrico.

Análisis econométrico

Se utilizaron tres modelos de regresión discretos para estimar la probabilidad de que cierto pixel se deforeste dadas sus características geofísicas, institucionales, sociales y económicas. Se modeló el cambio en el uso del suelo como el resultado de la maximización de ganancias de un individuo o ejido, que depende de la rentabilidad potencial de la tierra por actividades forestales y alternativas, la accesibilidad a los mercados y los límites institucionales, entre otras variables.

Se hizo una distinción entre bosques primarios y secundarios debido a que el proceso de cambio en el uso del suelo podría presentar patrones distintos en un periodo de tiempo como el que aquí se estudia. De esta manera, los tres modelos se estimaron para estos dos tipos de bosques por separado.

El primer modelo es un probit simple, en donde el valor positivo ($Y = 1$) de la variable dependiente es el cambio en la cubierta forestal, de bosque primario a secundario o sin bosque, y de bosque secundario a sin bosque al final del periodo, es decir, si existió una deforestación o degradación al final del periodo 1993-2000. El segundo modelo es un probit ordenado, cuya variable dependiente es el cambio en la cubierta forestal inicial, como un cambio gradual que va desde la recuperación a sin cambio, degradación y deforestación. Por último, el tercer modelo es un logit multinomial con la misma variable dependiente que el probit ordenado. El uso de estos dos últimos modelos fue sólo con la intención de comparar los resultados debido a que, aunque este proceso pareciera ser un cambio gradual u ordenado, no es conveniente asumirlo así para un periodo de 7 años, ya que durante los años intermedios de este proceso los fenómenos no necesariamente ocurrieron de manera ordenada.

Una consideración importante es que, dada la definición del cambio en la vegetación, la variable dependiente utilizada en los dos últimos modelos es distinta para los bosques primarios y secundarios. Debido a que los pixeles caen en donde existía alguno de estos dos tipos de bosque, los bosques primarios de 1993 no podrían regenerarse ya al final del periodo; mientras que los bosques secundarios o degradados de 1993 no podrían presentar un cambio de una degradación, es decir, o permanecían como estaban (sin cambio) o se deforestaban completamente o se regeneraban. De esta manera, para los bosques primarios los posibles eventos en la variable dependiente es: deforestado, degradado o sin cambio. De igual forma, para los bosques secundarios es: deforestado, sin cambio o recuperado.

Finalmente, debido a la forma en que se construyó el *grid*, varios pixeles cayeron dentro de una misma propiedad, lo que muy probablemente indicará una dependencia entre ciertos grupos de observaciones. Esto se tomó en consideración a la hora de hacer la estimación introduciendo el análisis con *clusters* para los ejidos y comunidades, lo cual implica que para las observaciones que cayeron dentro de un mismo ejido o comunidad, se considerará a estos como observaciones dependientes entre ellas e independientes con el resto de los pixeles.

Tabla 3.1
Variables explicativas de la deforestación y sus efectos esperados

Variable	Signo esperado sobre la deforestación/degradación
Características físicas	
Altitud	-
Precipitación media	+
Pendiente	-
Tipo de bosque	+/-
Rendimiento en la producción agrícola	+
Costo de acceso (modificador de precios)	
Tiempo de viaje al centro poblacional más cercano	-
Tiempo de viaje al centro urbano más cercano	-
Marco institucional	
Propiedad colectiva (vs. propiedad privada)	+/-
# de miembros	+
Título PROCEDE	-
Años con PROCEDE	-
Área Natural Protegida	-
Pobreza	
Índice de marginación	+/-
Aprovechamiento forestal	
Extracción legal de madera en el censo	-

Interpretación de resultados

Los resultados para el *grid* y la muestra balanceada se muestran en las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

Las variables físicas que mostraron un efecto significativo sobre la probabilidad de degradación y deforestación son la pendiente del terreno del pixel, los rendimientos promedio por hectárea del maíz y el tipo de bosque. De acuerdo con lo que se esperaba, entre mayor sea la pendiente es menos probable que haya ocurrido una degradación o deforestación en el pixel. Esto refuerza la idea de que existen mayores costos y menores rendimientos al realizar actividades agrícolas y pecuarias en las zonas de altas pendientes. Por otro lado, mayores rendimientos de maíz generalmente se asocian a una mayor probabilidad de deforestación, señalando un mayor costo de oportunidad de la tierra con uso forestal, al controlar por el resto de las variables. Sin embargo, esta variable es una medida imperfecta del costo de oportunidad ya que este no sólo depende de las características del suelo, precipitación y otros patrones climáticos, sino de las decisiones del productor respecto al tipo y cantidad de insumos utilizados.

Los tipos de bosques en 1993 son el resultado de las características de la tierra. La altitud, precipitación y temperatura son determinantes ecológicos del bosque que se observa en un área particular. La cantidad y tipo de madera que es posible extraer, multiplicado por su valor de mercado, es una señal de la rentabilidad de extraerlo el día de hoy, y de la rentabilidad potencial de emprender un aprovechamiento forestal sustentable en el futuro. Sin embargo, los tipos de suelo que se crean, además de otras condiciones ecológicas, también son un *proxy* de los rendimientos que ese terreno tendría si se convirtiera a tierra agrícola o a pastizal. Así, la rentabilidad relativa entre los distintos usos de la tierra es lo que cuenta para el efecto final.

La categoría base que aquí se utiliza es la de los bosques de coníferas que, de acuerdo con los expertos forestales, tienen las rentas por hectárea más altas. Comparado con esa categoría, los bosques de pino-encino y mesófilos tienen una mayor probabilidad de ser deforestados y degradados, mientras que los bosques de tascate y el resto de los bosques templados tienen todavía un mayor coeficiente. De acuerdo con los expertos, en el caso de los bosques templados las rentas económicas de los usos alternativos parecen moverse en la dirección opuesta que las rentas derivadas del aprovechamiento forestal. Sin embargo, los bosques tropicales o selvas muestran un contraste interesante. Mientras que en general las selvas húmedas, que contienen numerosas especies maderables, presentan coeficientes positivos mayores comparado con las selvas bajas secas, que no son consideradas importantes para la comercialización de los productos forestales, y estas últimas tienen la menor diferencia con respecto a los bosques templados más rentables. La explicación pudiera recaer en el hecho de que esas tierras no son de mucho uso ni siquiera para la agricultura o los pastizales.

El segundo grupo de variables representan los costos de transacción de ingresar a los mercados, que en un análisis de corte transversal como este, representan las únicas variaciones observables en los precios netos recibidos tanto para los productos e insumos forestales y no forestales. Para este caso, las variables son la distancia a los centros poblacionales más cercanos (cualquier centro o pueblo mayor a 15 habitantes) y la distancia al centro urbano más cercano (con más de 15,000 habitantes). Es importante resaltar que el efecto del primero se relaciona con el costo de acceso de algún individuo, tanto si tiene derechos sobre la tierra o es potencialmente clandestino, mientras que el último es más importante para determinar el precio neto de los insumos agrícolas, el precio de venta de la mano de obra y el precio neto de los productos forestales y/o agrícolas. En este caso, el costo de acceso desde el centro poblacional más cercano tiene un efecto significativo sobre la probabilidad de deforestación. De acuerdo a lo esperado, mientras más alejado se encuentre el pixel, mayor será la probabilidad de haber sido conservado como bosque. Aquí es importante considerar que se estaría capturando el efecto de que los bosques no se encuentren bajo alguna actividad que genere ingresos. Lo mismo ocurre con el costo de acceso a los mercados locales, indicando que la probabilidad de que un predio se deforeste también disminuye con la distancia a los mercados.

El tercer grupo de variables se compone de indicadores de la solidez de las instituciones que regulan las decisiones tomadas por los dueños de los bosques respecto del uso del suelo. En

cuanto a los derechos de propiedad, al interior del régimen de propiedad comunal se observan distintos niveles de seguridad, medibles en parte por la posesión de títulos formales y precisos que provienen del programa PROCEDE. Las variables dicotómicas que capturan el hecho de que el ejido haya recibido sus títulos PROCEDE y el número de años desde que los recibieron, no tienen coeficientes significativos. Al parecer ni el efecto del parcelamiento de los terrenos comunes, o por el contrario, el de la mayor seguridad en los derechos de propiedad fueron evidentes.

Los costos de cooperación, para el aprovechamiento forestal sustentable o para reducir la deforestación al utilizar los recursos naturales colectivos de los bosques, se espera que aumenten al ser mayor el número de miembros con derechos en la comunidad. Sin embargo, en el análisis econométrico este efecto tampoco resultó significativo.

Los dos tipos de propiedad colectiva en México –ejidos y comunidades –tienen algunas distinciones institucionales y culturales. Una diferencia importante se relaciona con el sistema organizacional comunitario, particularmente con el grado de coerción y cohesión entre los miembros. Siendo las comunidades una entidad legal más antigua que los ejidos, generalmente se esperaría que aquellas hubieran desarrollado mejores reglas de organización y tuvieran más intereses en común, que probablemente reduzcan los costos de transacción de preservar sus recursos comunes. Los resultados de la variable dicotómica aquí utilizada para las comunidades tuvieron un resultado de acuerdo con lo esperado, donde los bosques que se encontraban dentro de comunidades tuvieron un efecto negativo y significativo en la probabilidad de ser deforestados.

Otro aspecto institucional importante es la regulación gubernamental sobre el cambio en el uso del suelo y su grado de coerción. Mientras que ningún dueño de un bosque tiene el derecho de cambiar el uso del suelo, esta restricción es en la realidad mejor vigilada y monitoreada en las Áreas Naturales Protegidas (ANPs). Estas incluyen desde las grandes áreas de las Reservas de la Biosfera, hasta las áreas más pequeñas protegidas por los estados. Los efectos de esta variable son fuertemente negativos y significativos en los resultados, lo que comprueba que las ANPs cumplen relativamente bien su función.

La variable que aquí se utiliza para pobreza tiene efectos positivos y significativos sobre la deforestación. Estos resultados están en línea con la literatura que sugiere que los pobres caerán en aquellas actividades con mayores beneficios esperados en el corto plazo, dadas sus bajas posibilidades de inversión en la tierra ya cultivada. Sin embargo, sería riesgoso sacar conclusiones contundentes respecto a esta variable, ya que aquí se utiliza el índice de marginación para un momento en el tiempo anterior a aquél en el que ocurre la deforestación para prevenir los problemas de endogeneidad frecuentemente citados en la literatura sobre el tema.

En cuanto a la extracción legal de madera se observa que tiene un efecto positivo sobre la probabilidad de deforestación para los bosques primarios durante el período de estudio. Esto podría deberse a la heterogeneidad en los planes de aprovechamiento del país, donde la baja infraestructura y capacidad de reinversión prevalecen. Esta es una señal de que los sistemas de aprovechamiento sustentable generalmente se encuentran ausentes.

Tabla 3.2**Signos esperados y obtenidos de la relación entre deforestación y las variables explicativas**

Variable	Signo esperado	Signo obtenido
Características físicas		
Altitud	–	n.s. ¹
Precipitación media	+	n.s. ¹
Pendiente	–	–
Tipo de bosque		
Bosque de coníferas (referencia)		
Bosque de pino-encino y mesófilo	+/-	+
Bosque bajo abierto y tascate	+/-	+
Selva alta y mediana perennifolia	+/-	+
Selva mediana y baja caducifolia	+/-	+
Rendimientos agrícolas	+	+
Costos de acceso		
Minutos al centro poblacional más cercano	–	–
Minutos al centro urbano más cercano	–	–
Marco institucional		
Propiedad colectiva (vs. propiedad privada)	+/-	n.s. ¹
# de miembros	+	n.s. ¹
Título PROCEDE	–	n.s. ¹
Años con PROCEDE	–	n.s. ¹
Área Natural Protegida	–	–
Pobreza		
Índice de marginación	+/-	+
Aprovechamiento forestal		
Extracción legal de madera en el censo	–	+

n.s.: No Significativo

TABLAS

Tabla 3.3
Estadísticas descriptivas para el *grid*

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Pixel deforestado	23402	0.111		0	1
Pixel deforestado o degradado	23402	0.253		0	1
Pendiente (%)	23402	18.4	18.50	0.0	154.0
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	20605	0.9114	0.6460	0.0	8.1
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	23402	113.6	85.27	15.0	1155.0
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	23402	297.4	186.02	15.0	1695.0
Tenencia					
Sin información sobre tenencia	23402	0.12		0.0	1.0
Pixel dentro de propiedad privada	20484	0.31		0.0	1.0
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i> <i>Si Ejido o Comunidad...</i>	20484	0.69		0.0	1.0
<i>Con título PROCEDE</i>	14069	0.54		0.0	1.0
Si PROCEDE, años con título	14069	2.14	2.44	0.0	7.0
<i>Número de miembros</i>	12719	533.8	1491.05	6.0	15000.0
<i>Comunidad</i>	14069	0.27		0.0	1.0
Pixel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	23402	0.04		0.0	1.0
Índice de marginación de Conapo para 1995	23393	3.3	1.22	1.0	5.0
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	19539	0.61		0	1
Tipo de bosque					
Bosques de coníferas	23402	0.11		0.0	1.0
Bosques de pino-encino y mesófilo	23402	0.21		0.0	1.0
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	23402	0.18		0.0	1.0
Selva alta y mediana húmeda	23402	0.15		0.0	1.0
Selva mediana y baja seca	23402	0.35		0.0	1.0

Tabla 3.4
Estadísticas descriptivas para la muestra balanceada

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Pixel deforestado	14709	0.18		0.0	1.0
Pixel deforestado o degradado	14709	0.4025		0.0	1.0
Pendiente (%)	14709	17.9	18.5	0.0	140.0
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	13069	0.91	0.61	0.0	8.26
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	14709	109.73	81.86	15.0	1155.0
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	14698	293.27	185.88	45.0	1695.0
Tenencia					
Sin información sobre tenencia	14709	0.12		0.0	1.0
Pixel dentro de propiedad privada	14709	0.28		0.0	1.0
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i>	12871	0.68		0.0	1.0
<i>Si Ejido o Comunidad...</i>					
<i>Con título PROCEDE</i>	12871	0.37		0.0	1.0
Si PROCEDE, años con título	12871	1.49	2.28	0.0	7.0
<i>Número de miembros</i>	12042	345.39	1240.73	0.0	15000.0
<i>Comunidad</i>	12871	0.18		0.0	1.0
Pixel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	14709	0.05		0.0	1.0
Índice de marginación de Conapo para 1995	14701	3.29	1.21	1.0	5.0
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	12409	0.61		0.0	1.0
Tipo de bosque					
Bosques de coníferas	14709	0.10		0.0	1.0
Bosques de pino-encino y mesófilo	14709	0.21		0.0	1.0
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	14709	0.19		0.0	1.0
Selva alta y mediana húmeda	14709	0.15		0.0	1.0
Selva mediana y baja seca	14709	0.35		0.0	1.0

Tabla 3.5
Estadísticas descriptivas para el grid, por cambio en la vegetación

Variable	Deforestación y degradación N=5143		Deforestación N=2230		Degradación N=2913		Sin cambio N=13663	
	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.
Pendiente (%)	15.71	18.07	10.52	15.13	19.77	19.11	19.59	18.55
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	0.91	0.65	0.88	0.62	0.94	0.68	0.92	0.65
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	96.32	65.59	76.08	48.66	112.12	72.40	118.86	88.18
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	278.57	184.89	221.73	155.40	322.91	193.74	305.59	186.63
Tenencia								
Sin información sobre tenencia	0.12		0.11		0.12		0.13	
Pixel dentro de propiedad privada	0.33		0.34		0.32		0.31	
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i>	0.67		0.66		0.68		0.69	
<i>Si Ejido o Comunidad...</i>								
<i>Con título PROCEDE</i>	0.56		0.61		0.52		0.53	
Si PROCEDE, años con título	2.31	2.51	2.52	2.54	2.15	2.48	2.07	2.41
<i>Número de miembros</i>	492.34	1549.02	416.89	1310.49	551.35	1710.65	555.47	1503.40
<i>Comunidad</i>	0.21		0.15		0.26		0.30	
Pixel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	0.02		0.02		0.02		0.05	
Índice de marginación de Conapo para 1995	3.33	1.20	3.39	1.11	3.28	1.26	3.26	1.23
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	0.63		0.63		0.64		0.60	
Tipo de bosque								
Bosques de coníferas	0.03		0.05		0.03		0.14	
Bosques de pino-encino y mesófilo	0.22		0.13		0.29		0.21	
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	0.23		0.15		0.29		0.17	
Selva alta y mediana húmeda	0.17		0.19		0.16		0.13	
Selva mediana y baja seca	0.35		0.49		0.24		0.35	

Tabla 3.6
Estadísticas descriptivas para la muestra balanceada, por cambio en la vegetación

Variable	Deforestación y degradación N=5921		Deforestación N=2595		Degradación N=3326		Sin cambio N=8788	
	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.
Pendiente (%)	15.71	18.06	10.51	15.13	19.77	19.11	19.39	18.57
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	0.91	0.64	0.89	0.63	0.94	0.65	0.91	0.59
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	96.32	65.58	76.07	48.66	112.11	72.40	118.76	90.10
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	278.65	184.86	221.88	155.36	322.91	193.74	303.13	185.93
Tenencia								
Sin información sobre tenencia	0.12		0.11		0.12		0.13	
Pixel dentro de propiedad privada	0.29		0.30		0.28		0.27	
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i>	0.67		0.66		.68		0.69	
<i>Con título PROCEDE</i>	0.38		0.40		0.35		0.36	
Si PROCEDE, años con título	1.55	2.32	1.67	2.39	1.46	2.27	1.46	2.24
<i>Número de miembros</i>	319.07	1268.91	267.38	1068.26	360.25	1407.31	363.28	1220.98
<i>Comunidad</i>	0.14		0.10		0.18		0.42	
Pixel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	0.03		0.02		0.04		0.07	
Índice de marginación de Conapo para 1995	3.33	1.20	3.39	1.11	3.28	1.26	3.27	1.22
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	0.63		0.63		0.64		0.59	
Tipo de bosque								
Bosques de coníferas	0.03		0.05		0.03		0.14	
Bosques de pino-encino y mesófilo	0.22		0.13		0.29		0.21	
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	0.23		0.15		0.29		0.16	
Selva alta y mediana húmeda	0.17		0.19		0.16		0.14	
Selva mediana y baja seca	0.35		0.48		0.24		0.35	

Tabla 3.7
Estadísticas descriptivas para el grid, por tipo de bosque en 1993

Variable	Primarios			Secundarios		
	Obs	Media	Desv. est.	Obs	Media	Desv. est.
Pixel deforestado	16357	0.07		7045	0.20	
Pixel deforestado o degradado	16357	0.28		7045	0.20	
Pendiente (%)	16357	19.77	19.04	7045	15.28	16.78
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	14154	0.91	0.64	6451	0.92	0.65
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	16357	123.43	90.48	7045	90.73	66.33
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	16357	326.53	194.09	7045	229.81	144.72
Tenencia						
Sin información sobre tenencia	16357	0.13		7045	0.11	
Pixel dentro de propiedad privada	14201	0.31		6283	0.32	
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i>	14201	0.69		6283	0.68	
<i>Si Ejido o Comunidad...</i>						
<i>Con título PROCEDE</i>	9809	0.53		4260	0.55	
<i>Si PROCEDE, años con título</i>	9809	2.11	2.43	4260	2.20	2.47
<i>Número de miembros</i>	8864	576.79	1675.40	3855	434.96	931.31
<i>Comunidad</i>	9809	0.29		4260	0.23	
Píxel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	16357	0.05		7045	0.03	
Índice de marginación de Conapo para 1995	16348	3.25	1.23	7045	3.34	1.19
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	14124	0.60		5415	0.62	
Tipo de bosque						
Bosques de coníferas	16357	0.10		7045	0.12	
Bosques de pino-encino y mesófilo	16357	0.25		7045	0.11	
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	16357	0.20		7045	0.13	
Selva alta y mediana húmeda	16357	0.16		7045	0.11	
Selva mediana y baja seca	16357	0.28		7045	0.52	

Tabla 3.8
Estadísticas descriptivas para la muestra balanceada, por tipo de bosque en 1993

Variable	Primarios			Secundarios		
	Obs	Media	Desv. est.	Obs	Media	Desv. est.
Pixel deforestado	10526	0.12		4183	0.33	
Pixel deforestado o degradado	10526	0.43		4183	0.33	
Pendiente (%)	10526	19.44	19.02	4183	14.04	16.33
Rendimiento promedio de maíz en AGEB (ton. por hectárea)	9182	0.91	0.61	3887	0.92	0.60
Distancia al centro poblacional más cercano (minutos)	10526	118.96	86.16	4183	86.51	64.29
Distancia al centro urbano más cercano (>15,000 habitantes) (minutos)	10516	322.31	193.54	4182	220.27	140.71
Tenencia						
Sin información sobre tenencia	10526	0.13		4183	0.11	
Pixel dentro de propiedad privada	10526	0.31		3732	0.34	
Pixel dentro de <i>Ejido</i> o <i>Comunidad</i>	9139	0.69		3732	0.66	
<i>Si Ejido o Comunidad...</i>						
<i>Con título PROCEDE</i>						
Si PROCEDE, años con título	9139	1.48	2.27	3732	1.52	2.30
Número de miembros	8539	379.02	1412.70	3503	263.39	646.47
Comunidad	9139	0.19		3732	0.14	
Píxel dentro de un Área Natural Protegida (ANP)	10526	0.07		4183	0.02	
Índice de marginación de Conapo para 1995	10518	3.27	1.22	4183	3.36	1.18
Actividades forestales legales registradas en el Censo en 1990	9154	0.61		3255	0.61	
Tipo de bosque						
Bosques de coníferas	10526	0.09		4183	0.11	
Bosques de pino-encino y mesófilo	10526	0.25		4183	0.10	
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	10526	0.21		4183	0.12	
Selva alta y mediana húmeda	10526	0.16		4183	0.12	
Selva mediana y baja seca	10526	0.27		4183	0.55	

Tabla 3.9

Estimaciones para el probit, probit ordenado y logit multinomial para el *grid*

Bosques primarios

Variables dependientes: 1= deforestado o degradado, 0= sin cambio

2= deforestado, 1= degradado, 0=sin cambio

Variable	Probit con clusters	Probit ordenado con clusters	Logit multinomial con clusters (categoría base=0)	
			Degradado (1)	Deforestado (2)
Pendiente	-0.0034 (0.00114) (0.003)	-0.0039 (0.00110) (0.000)	-0.0035 (0.00203) (0.088)	-0.0154 (0.00408) (0.000)
Rendimiento de maíz	0.0991 (0.03826) (0.010)	0.0698 (0.03433) (0.042)	0.2117 (0.06699) (0.002)	0.0365 (0.09788) (0.709)
Distancia al centro poblacional más cercano	-0.0031 (0.00051) (0.000)	-0.0032 (0.00050) (0.000)	-0.0040 (0.00095) (0.000)	-0.0103 (0.00184) (0.000)
Distancia al centro urbano más cercano	-0.0008 (0.00037) (0.026)	-0.0010 (0.00034) (0.002)	-0.0004 (0.00073) (0.558)	-0.0039 (0.00095) (0.000)
Dentro de propiedad colectiva	-	-	-	-
<i>Título PROCEDE</i>	-0.0671 (0.07900) (0.396)	-0.0482 (0.07762) (0.534)	-0.1389 (0.13830) (0.315)	-0.0683 (0.21605) (0.752)
Años con título	0.0180 (0.01447) (0.241)	0.0146 (0.01419) (0.304)	0.0340 (0.02602) (0.192)	0.0252 (0.03944) (0.523)
Número de miembros	0.0000 (0.00001) (0.619)	0.0000 (0.00001) (0.563)	0.0000 (0.00001) (0.916)	-0.0000 (0.00004) (0.560)
Dummy para comunidad	-0.3318 (0.06617) (0.000)	-0.3126 (0.06412) (0.000)	-0.5376 (0.11536) (0.000)	-0.6718 (0.18589) (0.000)
Dentro de Area Natural Protegida (ANP)	-0.3851 (0.16854) (0.022)	-0.3905 (0.16173) (0.016)	-0.5447 (0.31933) (0.088)	-1.0984 (0.56279) (0.051)
Indice de marginación	0.0572 (0.02324) (0.014)	0.0612 (0.02221) (0.006)	0.0720 (0.04082) (0.078)	0.2070 (0.06143) (0.001)
Actividades forestales en 1990	0.1371 (0.04735) (0.004)	0.1239 (0.04355) (0.004)	0.2328 (0.09027) (0.010)	0.1857 (0.11389) (0.103)
Bosques de coníferas	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)
Bosques de pino-encino y mesófilo de montaña	0.9443 (0.07768) (0.000)	0.8055 (0.07832) (0.000)	2.1866 (0.18891) (0.000)	0.7635 (0.21388) (0.000)
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	1.1314 (0.08546) (0.000)	0.9837 (0.08284) (0.000)	2.4638 (0.19687) (0.000)	1.2443 (0.22040) (0.000)
Selvas húmedas	0.8970 (0.08194) (0.000)	0.8068 (0.08284) (0.000)	1.9888 (0.19364) (0.000)	1.0840 (0.19798) (0.000)
Selvas secas	0.7152 (0.07857)	0.6223 (0.1021602)	1.7362 (0.18787)	0.7109 (0.20508)

	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.001)
Constante	-1.1442		-3.0291	-1.8983
	(0.13929)		(0.27873)	(0.34645)
	(0.000)		(0.000)	(0.000)

*Los resultados se presentan en el siguiente orden: coeficientes, errores estándar y valor *p*

Tabla 3.10

Estimaciones para el probit, probit ordenado y logit multinomial para el *grid*

Bosques secundarios

Variables dependientes: 1= deforestado, 0= sin cambio o regenerado

2= deforestado, 1= sin cambio, 0= regenerado

Variable	Probit con clusters	Probit ordenado con clusters	Logit multinomial con clusters (categoría base=0)	
			Sin cambio (1)	Deforestado (2)
Pendiente	-0.0174 (0.00326) (0.000)	-0.0050 (0.00154) (0.001)	0.0088 (0.00486) (0.070)	-0.0310 (0.00760) (0.000)
Rendimiento de maíz	-0.1085 (0.06956) (0.119)	0.0722 (0.04453) (0.105)	0.7369 (0.19096) (0.000)	0.4233 (0.19709) (0.032)
Distancia al centro poblacional más cercano	-0.0051 (0.00152) (0.001)	-0.0051 (0.00107) (0.000)	-0.0100 (0.00384) (0.009)	-0.0179 (0.00422) (0.000)
Distancia al centro urbano más cercano	-0.0029 (0.00083) (0.001)	-0.0035 (0.00062) (0.000)	-0.0073 (0.00235) (0.002)	-0.0111 (0.00243) (0.000)
Dentro de propiedad colectiva	-	-	-	-
<i>Título PROCEDE</i>	-0.0007 (0.10675) (0.995)	0.0158 (0.08941) (0.860)	-0.0822 (0.23271) (0.724)	-0.0931 (0.26258) (0.723)
Años con título	-0.0028 (0.01969) (0.888)	-0.0016 (0.01731) (0.925)	0.0017 (0.04411) (0.969)	-0.0027 (0.04824) (0.956)
Número de miembros	-0.0001 (0.00005) (0.059)	0.0000 (0.00002) (0.128)	0.0000 (0.00009) (0.675)	-0.0002 (0.00010) (0.110)
<i>Dummy para comunidad</i>	-0.3843 (0.12965) (0.003)	-0.2469 (0.07350) (0.001)	-0.2325 (0.19086) (0.223)	-0.9849 (0.27693) (0.000)
Dentro de Area Natural Protegida (ANP)	-0.3411 (0.28926) (0.238)	-0.8264 (0.21667) (0.000)	-1.7273 (0.37683) (0.000)	-1.6996 (0.58525) (0.004)
Índice de marginación	0.1254 (0.03831) (0.001)	0.1121 (0.02737) (0.000)	0.1623 (0.06819) (0.017)	0.3726 (0.08263) (0.000)
Actividades forestales en 1990	-0.0916 (0.07182) (0.202)	0.0021 (0.06061) (0.973)	0.2982 (0.16902) (0.078)	0.0477 (0.17508) (0.785)
Bosques de coníferas	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)
Bosques de pino-encino y mesófilo de montaña	0.4438 (0.17802) (0.013)	-0.2572 (0.09111) (0.005)	-2.0431 (0.31741) (0.000)	-0.7545 (0.45579) (0.098)
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	0.6666 (0.19262) (0.001)	0.0713 (0.09470) (0.452)	-1.0339 (0.33036) (0.002)	0.4948 (0.48612) (0.309)
Selvas húmedas	0.7218 (0.15800) (0.000)	-0.0916 (0.09933) (0.356)	-2.0120 (0.31464) (0.000)	-0.2501 (0.43221) (0.563)
Selvas secas	0.7873	0.1035	-1.5930	0.1362

	(0.15105) (0.000)	(0.07366) (0.160)	(0.28787) (0.000)	(0.41376) (0.742)
Constante	-0.6827 (0.26907) (0.011)		3.3975 (0.55118) (0.000)	2.1252 (0.67188) (0.002)

* Los resultados se presentan en el siguiente orden: coeficientes, errores estándar y valor *p*

Tabla 3.11

Estimaciones para el probit, probit ordenado y logit multinomial para la muestra balanceada

Bosques primarios

Variables dependientes: 1= deforestado o degradado, 0= sin cambio

2= deforestado, 1= degradado, 0=sin cambio

Variable	Probit con clusters	Probit ordenado con clusters	Logit multinomial con clusters (categoría base=0)	
			Degradado (1)	Deforestado (2)
Pendiente	-0.0040 (0.00132) (0.002)	-0.0055 (0.00114) (0.000)	-0.0043 (0.00225) (0.055)	-0.0155 (0.00418) (0.000)
Rendimiento de maíz	0.0837 (0.04316) (0.052)	0.0430 (0.01848) (0.020)	0.1813 (0.07487) (0.015)	-0.0060 (0.10891) (0.956)
Distancia al centro poblacional más cercano	-0.0030 (0.00060) (0.000)	-0.0027 (0.00053) (0.000)	-0.0037 (0.00104) (0.000)	-0.0099 (0.00191) (0.000)
Distancia al centro urbano más cercano	-0.0007 (0.00043) (0.103)	-0.0012 (0.00031) (0.000)	-0.0002 (0.00080) (0.827)	-0.0035 (0.00104) (0.001)
Dentro de propiedad colectiva				
<i>Título PROCEDE</i>	-0.0325 (0.08967) (0.717)	-0.0030 (0.08629) (0.972)	-0.0754 (0.15063) (0.616)	0.0122 (0.22948) (0.958)
Años con título	0.0079 (0.01680) (0.640)	0.0050 (0.01602) (0.754)	0.0142 (0.02885) (0.623)	0.0069 (0.04244) (0.871)
Número de miembros	0.0000 (0.00001) (0.432)	0.0000 (0.00001) (0.526)	0.0000 (0.00001) (0.635)	0.0000 (0.00004) (0.467)
<i>Dummy para comunidad</i>	-0.3170 (0.07181) (0.000)	-0.3025 (0.06920) (0.000)	-0.4944 (0.12049) (0.000)	-0.6126 (0.18552) (0.001)
Dentro de Area Natural Protegida (ANP)	-0.4690 (0.18513) (0.011)	-0.3493 (0.12659) (0.006)	-0.6594 (0.33073) (0.046)	-1.1880 (0.55055) (0.031)
Indice de marginación	0.0519 (0.02534) (0.041)	0.0647 (0.01639) (0.000)	0.0590 (0.04264) (0.167)	0.1825 (0.06301) (0.004)
Actividades forestales en 1990	0.1918 (0.05390) (0.000)	0.1384 (0.03573) (0.000)	0.3170 (0.09740) (0.001)	0.2675 (0.12112) (0.027)
Bosques de coníferas	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)
Bosques de pino-encino y mesófilo de montaña	1.0066 (0.09053) (0.000)	0.7719 (0.06864) (0.000)	2.1978 (0.19805) (0.000)	0.7641 (0.22715) (0.001)
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	1.2311 (0.09820) (0.000)	1.0136 (0.06806) (0.000)	2.5235 (0.20669) (0.000)	1.3087 (0.23086) (0.000)
Selvas húmedas	0.9639 (0.09363) (0.000)	0.7958 (0.07343) (0.000)	2.0029 (0.20159) (0.000)	1.0805 (0.20861) (0.000)

Selvas secas	0.7552 (0.09002) (0.000)	0.6216 (0.06731) (0.000)	1.7206 (0.19520) (0.000)	0.6641 (0.21265) (0.002)
Constante	-0.8012 (0.16045) (0.000)		-2.3910 (0.30111) (0.000)	-1.2567 (0.36881) (0.001)

*Los resultados se presentan en el siguiente orden: coeficientes, errores estándar y valor *p*

Tabla 3.12

Estimaciones para el probit, probit ordenado y logit multinomial para la muestra balanceada.

Bosques secundarios

Variables dependientes: 1= deforestado, 0= sin cambio o regenerado

2= deforestado, 1= sin cambio, 0= regenerado

Variable	Probit con clusters	Probit ordenado con clusters	Logit multinomial con clusters (categoría base=0)	
			Sin cambio (1)	Deforestado (2)
Pendiente	-0.0194 (0.00365)	-0.0116 (0.00167)	0.0000 (0.00621)	-0.0387 (0.00866)
Rendimiento de maíz	(0.000) -0.1449 (0.08007) (0.070)	(0.000) 0.0219 (0.02892) (0.449)	(1.000) 0.8232 (0.25461) (0.001)	(0.000) 0.4516 (0.25012) (0.071)
Distancia al centro poblacional más cercano	-0.0103 (0.00250) (0.000)	-0.0122 (0.00157) (0.000)	-0.0214 (0.00543) (0.000)	-0.0348 (0.00626) (0.000)
Distancia al centro urbano más cercano	-0.0029 (0.00104) (0.006)	-0.0020 (0.00099) (0.045)	-0.0060 (0.00338) (0.078)	-0.0097 (0.00340) (0.004)
Dentro de propiedad colectiva	0.0877 (0.12371) (0.478)	0.0652 (0.11392) (0.567)	-0.3829 (0.30923) (0.216)	-0.1850 (0.32927) (0.574)
<i>Título PROCEDE</i>	-0.0329 (0.02354) (0.162)	-0.0233 (0.02240) (0.298)	0.0579 (0.06414) (0.366)	-0.0076 (0.06398) (0.906)
Años con título	-0.0001 (0.00008) (0.066)	-0.0001 (0.00005) (0.011)	-0.0001 (0.00013) (0.377)	-0.0004 (0.00014) (0.010)
<i>Número de miembros</i>	-0.4688 (0.14788) (0.002)	-0.3632 (0.09637) (0.000)	-0.4040 (0.26197) (0.123)	-1.2405 (0.34044) (0.000)
Dentro de Area Natural Protegida (ANP)	-0.3025 (0.35838) (0.399)	-0.2783 (0.30319) (0.359)	-1.3766 (0.59689) (0.021)	-1.3854 (0.74322) (0.062)
Indice de marginación	0.1335 (0.04371) (0.002)	0.1380 (0.02581) (0.000)	0.3607 (0.09059) (0.000)	0.5388 (0.10316) (0.000)
Actividades forestales en 1990	-0.0558 (0.08418) (0.507)	-0.0067 (0.04796) (0.889)	0.3320 (0.22280) (0.136)	0.1709 (0.22361) (0.445)
Bosques de coníferas	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)	(categoría base)
Bosques de pino-encino y mesófilo de montaña	0.3512 (0.19781) (0.076)	-0.0475 (0.13030) (0.715)	-2.2009 (0.44303) (0.000)	-1.1477 (0.55153) (0.037)
Bosques de encino, bajo abierto y tascate	0.6844 (0.21322) (0.001)	0.1531 (0.08601) (0.075)	-1.2467 (0.45760) (0.006)	0.2077 (0.58841) (0.724)
Selvas húmedas	0.7235 (0.17843) (0.000)	0.1846 (0.13036) (0.157)	-2.1893 (0.43462) (0.000)	-0.5165 (0.53365) (0.333)

Selvas secas	0.7906 (0.17069) (0.000)	0.3286 (0.08106) (0.000)	-1.5826 (0.41552) (0.000)	0.0032 (0.52247) (0.995)
Constante	0.0427 (0.32441) (0.895)		3.3663 (0.76026) (0.000)	3.3256 (0.87409) (0.000)

*Los resultados se presentan en el siguiente orden: coeficientes, errores estándar y valor *p*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar de que en los últimos 50 años México ha experimentado logros importantes en materia económica, continua enfrentándose con ciertos obstáculos que limitan su capacidad para desarrollar una economía que asegure el bienestar social de largo plazo. Al incorporar al capital natural dentro de la función de bienestar social resulta claro que el estado en que se encuentra actualmente el medio ambiente y los recursos naturales en México conduce a cuestionar si el modelo actual en el que se basa nuestro desarrollo económico es realmente sustentable.

Uno de los síntomas que más preocupan en México es la situación actual de sus bosques y selvas. Su papel esencial en la regulación y el sustento de funciones para la vida en el planeta, así como su provisión directa e indirecta de insumos para ciertas actividades económicas, implica que este tipo de recursos genera importantes externalidades positivas para la sociedad.

México cuenta con uno de los acervos más importantes a nivel mundial de recursos forestales, tanto en términos de superficie cubierta como por la diversidad de especies que habitan dentro en estos. Con todo, los niveles de deforestación del país en los últimos veinte años han reducido alrededor del 50% de su superficie y actualmente se ubica entre las cinco tasas más altas del planeta.

Si bien, los primeros intentos por tratar de detener la deforestación fueron enfocados hacia el establecimiento de una regulación más estricta y la creación de algunos programas, hasta ahora estos resultados han probado ser bastante limitados. Uno de los orígenes de dichas limitaciones, sin duda se debe a la ausencia de análisis empíricos que identifiquen y combatan aquellos factores que realmente originan este problema.

El planteamiento principal de esta tesis se orientó a realizar un diagnóstico cabal de las causas de la deforestación en México. Cabe mencionar que este trabajo inició con una investigación de campo en donde se realizaron entrevistas directas a los dueños de los recursos forestales sobre sus decisiones de uso de la tierra. Lo anterior sirvió de base para orientar el planteamiento de este análisis y así poder encontrar los patrones de la deforestación.

De acuerdo con los modelos de asignación óptima de recursos desarrollados por Von Thünen y Chomitz y Gray, la tierra se dedicará al uso que genere la renta más alta dada cierta localización respecto de los mercados, que a su vez afecta los precios netos de los productos. Así, se espera que el principal elemento que evalúen los dueños de los bosques para decidir cambios en el uso del suelo sea el costo de oportunidad de utilizar o preservar su tierra bajo el uso forestal. Se encontró que en todos los casos y de acuerdo a lo que se esperaba, las variables *proxies* utilizadas para estimar este costo indican que si la rentabilidad potencial relativa de otras actividades agrícolas con respecto a la rentabilidad forestal es mayor, entonces se eliminará la cubierta forestal para establecer en su lugar este tipo de actividades.

Sin embargo, es difícil distinguir entre aquellos bosques y selvas que se conservaron porque no se encuentran bajo uso alguno y aquellos que se mantuvieron conservados bajo un uso sustentable. Se encontró que aquellos bosques que se encuentran más alejados de los poblados tienen una menor probabilidad de ser deforestados, ya que los costos de acceso para realizar cualquier tipo de

actividad a esas zonas son demasiado elevados, lo que sugiere que estos bosques se encuentran protegidos por una barrera natural, capturando así el efecto de que no se realice ninguna actividad.

Los costos de acceso a los mercados también juegan un papel importante sobre la deforestación. Si dos zonas forestales tienen las mismas características económicas potenciales, pero una se encuentra más cerca de la ciudad, ésta será más probable que se deforeste en el futuro. Lo anterior permitiría estimar el impacto ecológico, por ejemplo, de la construcción de infraestructura carretera que vaya de una ciudad a otra y atraviese una zona forestal.

Otra parte de la literatura que se utilizó para ampliar este análisis se relaciona con los aspectos institucionales en cuanto a las reglas que se establecen para el manejo de los recursos naturales y que crean ciertos incentivos para los dueños de la tierra una vez que perciben las señales del mercado. De acuerdo con la literatura se esperaría que una mayor seguridad en los derechos de propiedad, por un lado cree los incentivos para reducir los problemas relacionados con el acceso abierto y, por el otro, conduzca hacia un parcelamiento de las tierras (Muñoz, et. al., 2003), lo que al reducirse el tamaño de las parcelas se eliminan los incentivos a mantener los bosques debido a los rendimientos crecientes a escala que esta actividad posee. Sin embargo, no se encontró que la variable para medir dicha seguridad en los derechos de propiedad –si se cuenta con el certificado de PROCEDE– tenga un efecto significativo sobre el manejo de los recursos naturales, por lo que una posibilidad es que los efectos arriba mencionados se cancelen entre sí.

Otro aspecto institucional importante se relaciona con el aspecto coercitivo directo que se ejerce dentro de las Áreas Naturales Protegidas, en donde un mayor monitoreo y vigilancia para evitar los cambios en el uso del suelo se esperaría que tuvieran efectos importantes en la reducción de la deforestación. Se encontró que efectivamente existe una menor probabilidad de que se deforeste si los bosques se encuentran protegidos dentro de una ANP.

Por último, la literatura señala que los agentes económicos que se encuentran en condiciones económicas particulares –en este caso de pobreza– se esperaría que tomen decisiones distintas a las de los demás agentes. Esto puede deberse a fallas en el mercado de capitales, en donde las personas que se encuentran bajo esta condición no tienen acceso a las fuentes de financiamiento que les permita realizar las inversiones que la explotación forestal requiere. Otro aspecto que de acuerdo con la literatura prevalece bajo pobreza, es que la urgencia de satisfacer las necesidades inmediatas evita que los dueños de la tierra puedan maximizar su función de beneficios de largo plazo, lo que contribuye a perpetuar el círculo vicioso de una mayor pobreza y deforestación. En este caso, el análisis econométrico encontró que la pobreza contribuye a una mayor deforestación. Lo anterior es un argumento adicional que permite entender el por qué es tan importante para la conservación de los bosques y selvas combatir efectivamente la pobreza en las zonas rurales.

De acuerdo con las conclusiones anteriores, a continuación se expresan las siguientes recomendaciones de política encaminadas a corregir los incentivos que promueven altos niveles de deforestación bajo los criterios de eficiencia y equidad:

- Se debe impulsar un mecanismo que ayude a contrarrestar el costo de oportunidad del uso del suelo forestal que evite crear distorsiones en el mercado. Una alternativa deseable es el sistema de pagos por servicios ambientales, de reciente creación, en donde la sociedad o los principales beneficiarios de este tipo de servicios que generan los bosques paguen a los dueños de esos recursos el monto de la diferencia de las ganancias que recibiría de quitar el bosque y establecer otra actividad económica. Los criterios esenciales para definir quienes deben recibir este pago se debe hacer de acuerdo a su importancia en la provisión de beneficios ambientales y al riesgo de deforestación que estos bosques presenten de acuerdo a sus características aquí analizadas.

Este mecanismo tiene una ventaja importante en términos de equidad sobre una regulación más estricta sobre los cambios en el uso del suelo, ya que con los pagos que recibe el dueño del bosque, generalmente en una situación de pobreza, se internalizan los beneficios que le provee a la sociedad mejorando así su ingreso sin dañar al ambiente. De esta forma, se crea un mecanismo de mercado que beneficia tanto a los dueños de la tierra como a los que disfrutan de los servicios directos e indirectos de los bosques. Sin embargo, para que este sistema asegure su éxito se necesita que exista una buena coordinación entre los que ofrecen estos servicios y sus principales demandantes o beneficiarios.

- Por otro lado, es deseable que continúe un proceso ordenado de certificación de tierras, ya que hasta el momento no existe evidencia de que esto haya contribuido con una mayor deforestación y seguramente implica otro tipo de beneficios para los que poseen tierras en zonas forestales.
- Se debe continuar impulsando los programas de apoyo para realizar inversiones productivas forestales adoptando esquemas de manejo sustentable, para reducir los problemas de liquidez y crédito del sector forestal e incentivar el establecimiento de plantaciones forestales. Esto beneficiaría principalmente a las zonas más marginadas que hasta ahora han carecido de posibilidades de financiamiento que les permita salir del estado de pobreza en que se encuentran.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alix Jennifer, *Deforestation in the Commons: A Village Level Approach*, Berkeley University, 2001.
2. Alix Jennifer, Alain de Janvry and Elizabeth Sadoulet, *Partial Cooperation, Political Economy & Common Property Resource Management: The case of deforestation in Mexico*, May 2003 draft.
3. Bergh, Jeroen C. J. M. van den, *Ecological economics and sustainable development: theory, methods and applications*, 1996.
4. Brown Lester R. et al, *The World-Watch Reader on Global Environmental Issues*, Worldwatch Institute, 1991.
5. CESPEDDES, *Incendios forestales y deforestación en México: Una perspectiva analítica*, 1999.
6. Chomitz Kenneth and Gray David, *Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize*, The World Bank Economic Review, Vol. 10, no. 3, 1996.
7. Claassen Roger and Tegene Ababayehu, *Agricultural Land Use Choice: A Discrete Choice Approach*, USDA Economic Research Service.
8. Commonwealth Forestry Institute, *Faustman, M. (1849), Calculation of the value which forestry land and immature stands possess for forestry*, in *Martin Faustman and the Evolution of Discounted Cash Flow*, Institute Paper No. 42, University of Oxford, 1968, 27-55.
9. CONAFOR, *Programa Estratégico Forestal para México 2025*, 2000.
10. Culas Richard and Dutta Dilip, *The Underlying Causes of Deforestation and Environmental Kuznets Curve: A Cross Country Analysis*, artículo presentado para la Sociedad Econométrica de la reunión de Australasia, 2002.
11. Deininger Klaus W., and Minten, Bart, *Poverty, Policies and Deforestation: The Case of Mexico*, World Bank, 1996.
12. Ekins Paul, *Economic Growth and Environmental Sustainability: the Prospects for Green Growth*, London: Routledge, 2000.
13. Elizondo Cordero Alejandra, *El sector forestal en México. Un ejercicio de equilibrio general*, Tesis de Licenciatura, ITAM, 1999.
14. Engel J. Ronald and Engel Joan Gibb, *Ethics of Environment and Development*, The University of Arizona Press, 1993.
15. FAO, *SOFO: Situación de los bosques del mundo*, 2001.
16. FAO, *Estadísticas por Países*, varios años.
17. Faustman, M. (1849) *Calculation of the value which forestry land and immature stands possess for forestry*, in *Martin Faustman and the Evolution of Discounted Cash Flow*, Institute Paper No. 42, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, 1968, 27-55.
18. Fujita Masahisa, Krugman Paul, Venables Anthony, *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press, 1999.
19. Gary King y Langche Zeng, *Logistic Regression in Rare Events Data*, Society for Political Methodology, 2001.
20. Goldin Ian, Winters L. Alan, *The economics of sustainable development*, Cambridge University Press, 1995.
21. González Vicente Carlos, *Plantaciones Forestales Comerciales*, CESPEDDES, 2000.
22. Kaimowitz D. and Angelsen A., *Economic Models of Tropical Deforestation: A Review*, CIFOR, 2001.

23. Krugman, Paul, *Increasing Returns and Economic Geography*, Journal of Political Economy, vol. 99, no. 3, 1991.
24. Lawn Philip, *Towards sustainable development: an ecological economics approach*, Lewis: ISEE, 2001.
25. Lund H. Gyde, et. al., *Análisis Crítico de los estimados disponibles de deforestación*, informe preparado para la agencia de desarrollo internacional de Estados Unidos y la SEMARNAT, 2002.
26. Lykke Eg Andersen, *Modelling the Relationship Between Government Policy, Economic Growth, and Deforestation in the Brazilian Amazon*, 2001.
27. Mette Termansen, *A Spatio-temporal Approach to Forest Economics*, Working Paper, University of York, 2001.
28. Mitra, T. and H.Y. Wan. (1986) *On the Faustman Solution to the Forest Management Problem*, Journal of Economic Theory, 40, 229-249.
29. Morán Villaseñor José Antonio, *La deforestación en México, sus causas económicas y el impacto del TLCAN*, Tesis de Licenciatura, ITAM, 2001.
30. Muñoz Piña Carlos, *Derechos de propiedad y externalidades: el caso de los recursos forestales en México*, Tesis de Licenciatura, ITAM, 1991.
31. Muñoz Piña Carlos, Alain de Janvry, and Elisabeth Sadoulet, *Recrafting Rights over Common Property Resources in Mexico*, Chicago University Press, 2003.
32. Nelson Gerald C. and Hellerstein Daniel, *Deforestation in Central Mexico: Satellite Images as Data in Economic Models of Land Use*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996.
33. Ostrom Elinor, *Governing the Commons: the evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, 1991.
34. Pearce David W. and Turner R. Kerry, *Economics of Natural Resources and the Environment*, The Johns Hopkins University Press, 1990.
35. Pearce David W., *Economics and environment: essays on ecological economics and sustainable development*, 1998.
36. Pfaff, Alexander S. P., *What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon?*, Center for Environmental Research and Conservation, Columbia University, 1998.
37. Saldívar V. Américo, *De la economía ambiental al desarrollo sustentable*, PUMA, UNAM, 1998.
38. SEMARNAT, *México: Paradigma de riqueza y destrucción*, 2002.
39. SEMARNAT, *Programa Nacional Forestal 2001-2006*.
40. SEMARNAT: PNUMA, *Gestión ambiental mexicana [disco compacto]: tratados internacionales, legislación ambiental, normatividad (NOM/NMX), procedimientos, programas y seguimiento, instituciones de gestión*, 2002.
41. Schultz Theodore, *La organización económica de la agricultura*, Fondo de Cultura Económica, 1956.
42. Tietenberg Thomas H., *Environmental and Natural Resource Economics*, Harper Collins, 1992.
43. Varela Hernández, Sergio, *Los Recursos Forestales en México*, SEMARNAP.
44. Velázquez Alejandro, Jean F. Mas y José Luis Palacio, *Análisis del cambio de uso del suelo*, INE-IGg (UNAM), January 2002.
45. Velásquez Alejandro, Jean F. Mas, José Luis Palacio y Gerardo Bocco, *La deforestación en México, observada en la cartografía de la cubierta vegetal*, FAO.
46. Vélez Félix, *La pobreza en México, causas y políticas para combatirlas*, ITAM y FCE, 1994.