



Published in final edited form as:

Doc Anal Geogr. 2008 ; 52: 49–67.

Un análisis multinivel de población y deforestación en el Parque Nacional Sierra de Lacandón, Petén, Guatemala

[A multilevel analysis of population and deforestation in the Sierra de Lacandon National Park, Peten, Guatemala]

David L. Carr¹, Felipe Murtinho¹, William KY Pan², Alisson Barbieri³, Richard E. Bilsborrow⁴, Chirayath Suchindran⁴, Thomas M. Whitmore⁴

¹University of California. Santa Barbara. Department of Geography

²Johns Hopkins University. Department of Biostatistics

³Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Departamento de Demografia e CEDEPLAR

⁴University of North Carolina. Carolina Population Center

Resumen

Este estudio examina los factores demográficos asociados con la deforestación en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL), Guatemala, utilizando un análisis de regresión multinivel.

Más del 10% del PNSL ha sido deforestado desde mediados de la década de 1980, a causa del crecimiento demográfico de la población campesina y su subsiguiente manejo de la tierra. Utilizando un análisis de regresión múltiple de dos niveles, este estudio examina datos demográficos y otras características de los hogares para explicar variaciones en el bosque roturado entre 241 fincas agrícolas en ocho comunidades en el PNSL. Esta metodología, novedosa en el estudio de uso del suelo en los trópicos, toma en cuenta la variación espacial entre comunidades, así como entre hogares. Al usar modelos de multinivel, se puede llegar a resultados mejores sobre los impactos de los factores, tanto a nivel de comunidad como a nivel de hogar sobre la deforestación, con implicaciones más adecuadas para políticas de desarrollo.

Resum.

Aquest estudi examina els factors demogràfics associats amb la desforestació al Parc Nacional Sierra de Lacandon (PNSL), Guatemala, mitjançant una anàlisi de regressió multinivell.

Més del 10 % del PNSL ha estat desforestat des de la meitat de la dècada de 1980, com a conseqüència del creixement demogràfic i les pràctiques de gestió agrícola. Utilitzant una anàlisi de regressió múltiple de dos nivells, aquest estudi examina dades demogràfiques i unes altres característiques de les llars per explicar variacions en el bosc artigit entre 241 finques agrícoles en vuit comunitats al PNSL. Aquesta metodologia té en compte la variació especial entre comunitats i entre llars, i abans no havia estat mai aplicada als tròpics. El model de regressió multinivell

pot ajudar a explicar millor els impactes de factors propis de les comunitats i de les llars en la desforestació, per tant, pot contribuir a millorar les polítiques de desenvolupament.

Résumé.

Cette étude a examiné les facteurs démographiques associés au phénomène de déforestation du Parc National Sierra de Lacandón (PNSL, Guatemala) en utilisant une analyse de régression multiniveau.

Depuis le milieu des années 1980, plus de 10 % du PNSL a été déboisé par la croissance démographique de la population rurale, son besoin en surface et l'utilisation variée de la terre. En utilisant une analyse de régression multiple de deux niveaux, cette étude examine des données démographiques et plusieurs caractéristiques liées aux exploitations, dans le but d'expliquer les variations dans le parc défriché entre 241 propriétés agricoles dans huit communautés du PNSL. Cette méthodologie, nouvelle dans l'étude de l'usage du sol dans les tropiques, prend en compte la variation spatiale entre des communautés ainsi que des exploitations. En utilisant ces modèles de multiniveaux, on peut arriver à de meilleurs résultats concernant les impacts des facteurs au niveau des communautés et des exploitations concernant la déforestation, avec des résultats plus adaptées pour les politiques de développement.

Abstract

The paper examines depopulation factors associated with deforestation in the Natural park of the Sierra de Lacandón (PNSL), using multilevel regression analysis.

More than 10 percent of the park area has been deforested since the mid 1980s because of rural population growth and agricultural practices. By means of a two-level regression analysis the study use demographic and other household data to explain variations in deforested land in 241 agricultural estates in 8 communities of the PNSL. The methodology, not applied before in the tropics, takes into account spatial variations between communities and households. Multilevel regression allows for better results on the impacts of socioeconomic factors on deforestation, both at the community and at the household levels with important implications for development policies.

Palabras clave:

usos del suelo; deforestación; crecimiento demográfico; regresión multinivel; Guatemala

Mots clé:

usages du sol; déforestation; croissance démographique; régression multiniveau; Guatemala

Keywords

land use; deforestation; population growth; multilevel regression; Guatemala

Introducción

La deforestación tiene múltiples consecuencias negativas. La supresión de los bosques en las latitudes tropicales ha ocasionado erosión de suelos, sedimentación de redes fluviales, perturbación de ciclos de nutrientes, y ha empobrecido la capacidad regenerativa de la vegetación y de los suelos agrícolas (Weischet y Caviedes, 1993). La deforestación también amenaza con exacerbar la desertificación, contribuye al calentamiento global, daña irreparablemente el banco genético mundial (Wilson, 1992) y ayuda a desencadenar virus infecciosos entre los asentamientos humanos (Weil, 1981; Patz y otros, 2004).

En los últimos años, ha crecido la popularidad de los estudios que tratan de la relación entre población y medio ambiente entre los académicos de las ciencias sociales y físicas. Las consecuencias de la deforestación han llamado la atención de científicos y políticos, ya que se cree que la destrucción de la inmensa biodiversidad y fuente de secuestro de carbono en los bosques tropicales puede perturbar al clima global y frenar avances en agricultura y medicina (Myers, 1988; Adger y Brown, 1994).

Los factores demográficos siempre interactúan con variables socioeconómicas, políticas, y ecológicas (Houghton, 1994; Geist y Lambdin, 2001). Sin embargo, varios estudios han identificado al crecimiento demográfico como uno de los factores principales relacionados con la deforestación en los trópicos (Allen y Barnes, 1985; Mather y Needle, 2000). Se estima que los pequeños agricultores en las fronteras agrícolas representan la causa principal de la deforestación tropical en el planeta (Myers, 1993; Houghton, 1994). Éste es el caso particular de América Latina, donde la mayor parte de la conversión de bosques primarios en tierras de cultivo o pastos ocurre entre pequeños agricultores a lo largo de las franjas boscosas.

Las fronteras agrícolas de los trópicos son los lugares donde los cambios demográficos y ambientales y las interacciones entre ellos resultan más dramáticos y dinámicos. Sin embargo, a pesar de un creciente número de estudios sobre cambios de uso del suelo en áreas fronterizas y un nuevo énfasis en la composición demográfica de los hogares rurales en estas áreas, existen pocos estudios empíricos que muestren la relación entre dichas variables demográficas y la deforestación en los trópicos.

Este estudio examina las relaciones entre población y deforestación en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL) en la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), Guatemala (ver figura 1). Este parque nacional es un lugar de estudio ideal para entender estas relaciones, puesto que dicha región, de gran importancia ecológica, es una zona de expansión de frontera agrícola muy dinámica; presenta fuertes presiones migratorias y altas tasas de fecundidad que influyen de manera relevante en las altas tasas de deforestación observadas.

Este artículo se inicia con una revisión de la literatura sobre las causas de la deforestación en los trópicos, haciendo énfasis en la relación entre deforestación y presiones demográficas entre pequeños campesinos en las fronteras agrícolas en América Latina. La siguiente sección presenta la metodología del estudio, incluyendo el diseño del muestreo y las propuestas de análisis. Después, se introduce el lugar del estudio, el PNSL y las comunidades fronterizas. Finalmente, se presentan los resultados que incluyen una breve

descripción de las características de los hogares muestreados, un análisis descriptivo de los datos demográficos de la muestra seleccionada y un análisis bivariado entre variables demográficas y deforestación en las fincas. Los resultados concluyen con una comparación entre un modelo de regresión simple y un modelo de dos niveles con las variables demográficas y área deforestada en la finca. Con este análisis se espera determinar las relativas contribuciones de las variables demográficas sobre la deforestación, teniendo en cuenta dos niveles de análisis: efectos a nivel de la comunidad y al nivel del hogar.

Posibles causas de la deforestación en los trópicos

En esta sección se presenta un resumen de las teorías y los debates sobre las posibles causas de deforestación, haciendo énfasis en estudios realizados en América Latina. Existe una amplia variedad de posibles factores que explican la deforestación en las fronteras agrícolas tropicales. Entre los más estudiados, se incluyen: la integración económica (Sierra, 2000; Geoghegan y otros, 2001); la tenencia de la tierra (Southgate, 1990); la calidad del suelo (Hecht, 1985; Moran y otros, 1994), y características socioeconómicas, como, por ejemplo: el nivel de educación del cabeza de hogar (e.g., Moran, 1984; Godoy, Groff y O'Neill, 1998), las estructuras políticas y económicas (Sto nich, 1993) y el crecimiento de la ganadería (Walker, Moran y Anselin, 2000). A pesar de un cierto nivel de acuerdo sobre los determinantes de la expansión agrícola en fronteras boscosas y la reconocida importancia de factores demográficos, pocos estudios han examinado sistemáticamente una amplia gama de factores demográficos asociados con el uso del suelo entre campesinos en la frontera agrícola (Carr, 2004). Además, la literatura sobre cambio del uso del suelo a escala del hogar o de la finca está casi desprovista de ejemplos de estudios que hayan medido estadísticamente los potenciales efectos de factores contextuales, es decir, los cambios demográficos a escalas mayores (comunidad, región, etc.).

Aunque la mayor parte del crecimiento poblacional en las fronteras agrícolas viene de la inmigración, los colonos en estas regiones suelen tener una tasa de fecundidad mucho más alta que en otras áreas (e.g., Weil, 1981; Rundquist y Brown, 1989; Murphy y otros, 1999). Además, estas comunidades tienen muy poco acceso a los anticonceptivos. Este fenómeno resulta de la poca demanda de métodos anticonceptivos, ya que los niños pueden ayudar a trabajar la tierra y mejorar la producción de la finca (Caldwell y Caldwell, 1987) y pueden ofrecer seguridad a los padres cuando sean ancianos (Stokes, 1984).

En las zonas de frontera agrícola, la fecundidad se ha vinculado con la deforestación, ya que las familias más grandes están asociadas tanto con una mayor demanda de alimentos para el hogar, como de mayor mano de obra para aumentar la producción agrícola. El tamaño de la familia se ha vinculado estadísticamente con la deforestación en Costa Rica (Rosero-Bixby y Palloni, 1998), la Amazonia ecuatoriana (Rudel y Horowitz, 1993; Pichón, 1997) y el Petén de Guatemala (Carr, 2001; 2008). Parece que esta relación se fortalece cuando los hogares están cultivando principalmente para el consumo doméstico. A medida que la producción se dirige al mercado y se incrementa la adopción de ganado, la relación se mengua, ya que ambas inversiones suben la intensidad de capital y no necesariamente de mano de obra.

Un tema de reciente interés en la literatura es el potencial efecto del ciclo demográfico y de la composición del hogar sobre el uso del suelo y la deforestación. Con la evolución del hogar, viene una diversificación en la cartera de inversiones en la tierra, tanto intensivas como extensivas (Perz, 2001; Brondizio y otros, 2002; McCracken y otros, 2002; Walker y otros, 2002). La madurez de los niños aporta más mano de obra a la finca, lo que permite una mayor intensificación de la tierra. Y si los campesinos que permanecen en el lugar acumulan capital, pueden invertir en cultivos perennes que tardan más años en madurar. Contrariamente, pueden también invertir en ganado, que tendría el efecto opuesto sobre la cobertura boscosa en la finca. Y éste último puede ser atractivo en las últimas etapas del ciclo, cuando los hijos llegan a ser adultos y salen del hogar (Perz, 2001; Brondizio y otros, 2002; McCracken y otros, 2002; Walker y otros, 2002).

Como se mencionó anteriormente, son pocos los estudios sobre cambio del uso del suelo y deforestación en las fronteras agrícolas que han incorporado una variedad de factores demográficos. Adicionalmente, estos estudios sólo suelen utilizar un grupo específico de posibles factores y no una gama amplia de variables explicativas. Estos estudios tampoco han tomado en consideración los efectos de diferencias demográficas a diferentes escalas, combinando efectos a escala del hogar o la finca y efectos a escala de la comunidad. La metodología propuesta en este artículo representa el comienzo para rectificar estas deficiencias.

Metodología

Este artículo se basa en información sobre la colonización del PNSL y la deforestación a nivel de la comunidad y de los hogares recopilada entre febrero y julio de 1998. Se entrevistaron líderes comunitarios tales como alcaldes auxiliares, miembros de comités, promotores de salud y maestros en las veintiocho comunidades en el área de influencia del parque, para explorar factores comunitarios y estructurales relacionados con población y uso de la tierra (presencia de varias ONG u organizaciones gubernamentales, estructura política de la comunidad, cantidad de tierra disponible en el área, medio de venta de los productos agrícolas y regímenes territoriales y regulaciones de manejo comunitarios). Entre estas comunidades, se realizó un muestreo de 241 hogares escogidos aleatoriamente en 8 comunidades. Estas encuestas recabaron información sobre la migración, la fecundidad y los usos del suelo.

La información de los hogares se analiza orientándose hacia los factores demográficos que pueden incidir en el área deforestada (en ha) por los miembros de un hogar en la finca. Se escogieron seis grupos de variables explicativas: tamaño y densidad de población, edad, hijos, género, migración y disponibilidad de mano de obra (para un resumen de las variables utilizadas y las relaciones esperadas con la variable dependiente, véase la tabla 1).

El primer grupo de variables incluye el tamaño (número de miembros en el hogar) y la densidad de los hogares. En la literatura sobre población y medio ambiente, es común hacer referencia a los estudios de Ester Boserup, sin embargo, la variable densidad del hogar, clave para sus teorías, es casi inexistente en estudios empíricos a nivel de hogar (aunque sí se ha implementado en estudios a nivel nacional). La densidad demográfica a nivel de hogar se

construye con el número de personas del hogar en el numerador y el tamaño en hectáreas de la finca en el denominador. Se espera que los hogares más densos demográficamente van a roturar menos bosque, ya que existe más variabilidad en el denominador (tamaño de la finca) que en el numerador (tamaño del hogar), aunque los hogares más densos probablemente despejarán un porcentaje más grande de su parcela. Adicionalmente, se genera una variable de densidad de hogar al cuadrado también para testar posibles relaciones no lineales. Finalmente, en este grupo, se utilizó la variable «familia nuclear» (no extendida), que representa un hogar compuesto únicamente por miembros nucleares.

El segundo grupo de variables (edad) busca incorporar en el análisis los efectos de los ciclos demográficos. Se incluyen dos variables de edad: una del cabeza del hogar y la otra de su esposa. La primera sirve como un indicador de la etapa en el ciclo familiar que se encuentra la familia (asumiendo que la mayoría de los cabezas de hogar se casaron con su actual esposa cuando eran jóvenes, por ejemplo entre los 18 y los 28 años). La segunda indica el potencial de futuros partos. Se espera que los hogares más avanzados en su ciclo demográfico hayan talado más bosque en la finca.

El tercer grupo de variables está relacionado con los hijos. La primera variable es el número de hijos. La segunda es un cociente de productores relativo a consumidores, llamado «cociente de dependencia de niños», que mide la cantidad de niños de 0 a 14 dividida por personas entre 15 y 64. Esta variable intenta medir la influencia relativa entre la producción y el consumo del hogar. Se anticipa que, en esta región de amplio bosque pero poca mano de obra y donde el acceso al mercado es difícil, los factores de producción tendrán más efecto sobre la deforestación que la demanda para el consumo.

En el siguiente grupo, se examinan cinco variables relacionadas con el género. Las primeras tres representan factores relacionados con la productividad agrícola en la finca. La variable hombres adultos representa todos los hombres que viven en el hogar de doce años o más. El cociente de hombres adultos es el número de hombres adultos relativo a la población del hogar. Finalmente, el cociente de género de adultos es el número de adultos relativo a los niños en la casa. Dos cocientes miden el papel de la mujer como potenciales productoras de hijos. El primero, el de mujeres adultas, mide el número de mujeres de doce años o más en el hogar. El segundo es el cociente de género que mide la cantidad de hombres relativo a mujeres. Se anticipa que más hombres en el hogar se traducirán en una mayor deforestación, ya que son los ellos los que trabajan más en la agricultura. Estas hipótesis son preliminares, debido a que, excluyendo el tamaño del hogar y la edad del cabeza de familia, las demás variables apenas aparecen en la literatura sobre el tema.

Por último, se examina una variable asociada con la migración: duración de residencia en años en la finca (definida como una variable dicotómica, los que llevan más tiempo que el promedio, siete años, y los que llevan menos tiempo que el promedio), y una variable que captura potenciales efectos men guantes sobre la población y, por ende, la disponibilidad de labor en la finca o «trabajo fuera de la finca». Se anticipa que «duración en la finca» estará asociada con mayor deforestación, ya que la evolución del hogar es de talar bosque conforme pasa el tiempo. Esperamos una relación negativa entre la segunda y la

deforestación, puesto que el trabajo fuera de la finca de miembros del hogar reduce mano de obra que se podría aplicar a la propia finca.

A continuación, se presentan los modelos econométricos utilizados en este artículo para estudiar los posibles efectos de variables demográficas sobre la tala de bosques en las fincas muestreadas. Primero, se utiliza un análisis de regresión bivariada entre cada uno de los factores demográficos mencionados anteriormente y el área boscosa talada en las fincas. Este análisis sirve para tener una idea general de las relaciones positivas o negativas entre variables demográficas y deforestación. Segundo, se realiza un modelo de regresión simple (multivariado) para escoger variables potenciales para incluir en los siguientes modelos. Tercero, luego de haber escogido las variables significativas, se realiza una regresión simple multivariada solo con las variables que resultaron significativas en el modelo anterior. Cuarto, se utiliza un modelo de dos niveles. Este modelo busca estimar la variabilidad de deforestación teniendo en cuenta las diferencias entre comunidades. Es decir, en este modelo, se controlan los factores a nivel de comunidad que podría explicar parte del residuo no explicado por las variables demográficas a nivel de hogar. A continuación, se presenta brevemente el modelo de dos niveles.

La estructura del modelo incluye un término de intercepto, una variable independiente a nivel de hogar (X_{ij}), y una variable a nivel de comunidad (W_j). Los modelos de estimación para los modelos de uno y dos niveles toman la siguiente forma (Raudenbush y Bryk, 2002; Goldstein, 2003):

$$\begin{aligned} \text{Nivel 1: } Y_{ij} &= \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + r_{ij} \\ \text{Nivel 2: } \beta_{0j} &= \gamma_{00} + \gamma_{01}W_j + u_{0j} \\ \beta_{1j} &= \gamma_{10} + \gamma_{11}W_j + u_{1j}. \end{aligned}$$

donde Y representa la variable dependiente, β y γ donde Y representan los parámetros desconocidos para los niveles 1 (hogar) y 2 (comunidad), γ_{00} y γ_{10} son efectos a nivel de hogar y γ_{01} y γ_{11} son efectos a nivel de comunidad, W es una variable de segundo nivel (comunidad), la cual incide en las pendientes y los interceptos para cada comunidad, y u son términos de error aleatorio para los niveles de hogar y comunidad, respectivamente. El subíndice i es un índice de hogares individuales; el subíndice j es un índice de comunidades.

El modelo aquí presentado toma la forma siguiente:

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= \beta_{0ij}x_0 + \beta_{1j}x_{1ij} + \beta_{2j}x_{2ij} + \beta_{3j}x_{3ij} + \beta_{4j}x_{4ij} + \beta_{5j}x_{5ij} + \beta_{6j}x_{6ij} + \beta_{7j}x_{7ij} + \beta_{8j}x_{8ij} \\ \beta_{0ij} &= \beta_0 + u_{0j} + e_{0ij} \\ \beta_{1j} &= \beta_1 + u_{1j} \end{aligned}$$

donde Y representa las hectáreas de bosque deforestado y β_{0ij} representa el intercepto a ambos niveles (i y j). Los términos $\beta_{ij}x_{ij}$ definen las diferentes variables demográficas explicadas anteriormente. Para cada una de ellas se probó la significancia del modelo con efectos fijos y aleatorios. Es decir, se probó si la pendiente varía por diferencias entre las comunidades (pendiente aleatoria), cuando se compara éste con un modelo en el cual las demás variables permanecen sin variaciones entre comunidades (pendientes fijas). El

término $\beta_{8 \times 8_j}$ representa la población de cada comunidad, la cual, como se indica por el subíndice j , varía solamente a nivel de comunidad.

Los valores de los parámetros fueron estimados utilizando el método de *bootstrapping*, con lo cual la estimación de variabilidad en el muestreo se estima a través de frecuentes iteraciones. Este proceso corrige el sesgo que se origina de las violaciones de tamaño mínimo de la muestra a segundo nivel (Van der Leeden, Busing y Meijer, 1997).

El lugar de estudio: el Parque Nacional Sierra de Lacandón

El Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL) se estableció en 1990 como zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) (ver figura 1). El PNSL forma el único corredor biológico entre las áreas protegidas de Chiapas, Petén y Belice. Este complejo ecológico, conocido como la Selva Maya, constituye el bosque tropical más grande de Centroamérica (Morales, 1996). Abarcando 2.029 km², el PNSL es el segundo parque nacional más grande de Guatemala respecto al área de la zona núcleo (APESA, 1993). También aporta la mayor diversidad biológica de la RBM (The Nature Conservancy, 1997).

Hasta mediados de la década de 1980, la zona se encontraba despoblada y sin ninguna intervención humana, pero, con la construcción de una carretera para explorar petróleo, llegó una oleada de pequeños colonos agrícolas que se asentaron en el parque hacia finales de la década. Se estima que la población total de las comunidades en el área de influencia del parque ha llegado aproximadamente a 20.401 personas (Carr, 2001). Este crecimiento poblacional ha tenido un impacto directo sobre la conversión de los bosques del parque debido a la expansión de la frontera agrícola, situación que se puede observar claramente por imágenes satélite. Desde 1990, se ha destruido un 10% del bosque Lacandón (Sader y otros, 2000).

La decisión de migrar al parque, de tener una cierta cantidad de hijos y de manejar la tierra de cierta forma, se toma a nivel de hogar. La mayoría de los campesinos cultivan maíz y frijol. Tan solo el 10% en el muestreo reportó tener por lo menos una hectárea dedicada enteramente a otro cultivo además del maíz y el frijol. La finca promedio es de 34 hectáreas, con cinco de maíz, siete en barbecho o descanso y una pequeña porción para otros usos. Menos de un cuarto de la muestra tiene ganado. Con la mayoría de las fincas cubiertas aun por bosque, existe mucho potencial por seguir deforestando no sólo en nue vas fincas formadas más adentro del parque, sino también en las fincas existentes. En este estudio se examina cuán importantes son los factores demográficos sobre la deforestación a nivel de hogar.

Resultados

Resultados descriptivos

Como se puede ver en la figura 2, los 241 hogares distribuidos en las 8 comunidades analizadas presentan una gran variabilidad en el área deforestada en cada finca (entre 0 hectáreas y casi 70 hectáreas por finca). Para entender qué explica esta variabilidad, en la tabla 1 se muestran las relaciones bivariadas que existen entre las variables demográficas y

las hectáreas de bosque roturadas a nivel de finca. Todas las variables demográficas menos dos fueron significativas a un nivel de 0,001 en la dirección esperada. Sólo los cocientes de dependencia y de género no fueron significativos. El tamaño del hogar y la cantidad de hijos fueron relacionados con más deforestación en la finca. Sin embargo, ya que las fincas de más alta densidad suelen ser las más pequeñas, la densidad del hogar fue asociada con menos bosque roturado. La edad del jefe del hogar y de la esposa, así como también la cantidad de hombres en el hogar mayores de doce años, fueron asociados positivamente con la deforestación. Al no ser significativo el cociente de dependencia junto con el hallazgo significativo de la variable de hombres de doce años o más, sugiere que la deforestación puede ser explicada más por la mano de obra disponible que por la demanda de granos básicos para el consumo del hogar. La variable de migración, duración en la finca, fue asociada positivamente con la deforestación. Por último, el tener un miembro o más de la familia que trabaja fuera de la finca disminuye la labor disponible para trabajar en la finca, lo que reduce la deforestación.

Modelos estadísticos multivariados

Un nivel—La tabla 2 muestra los resultados de un modelo de regresión multivariante de un nivel (hogares), en el que se utilizaron las variables demográficas descritas anteriormente. Como es de esperar, los residuos de muchas de estas variables se solapan y quedan sólo los que tienen mayor poder explicativo: densidad del hogar, edad del jefe de hogar, razón de dependencia infantil y duración en la finca. La densidad del hogar resulta por lo menos dos veces más importante que cualquier otra variable demográfica, con un valor del estadístico t de $-5,8$. La edad de la esposa ya no es significativa y se observa que la del jefe de hogar es el factor de edad clave en el análisis. El cociente de dependencia fue significativamente y negativamente asociado con las hectáreas de bosque roturadas en la finca. Esto sugiere que los factores de producción son más importantes que los factores de consumo en este contexto de gran cantidad de tierra pero poca mano de obra. Como en las relaciones bivariadas, la duración en la finca fue asociada positivamente con la deforestación, y el tener un miembro o más de la familia que trabaja fuera de la finca fue negativamente asociado con la deforestación.

La tabla 3 presenta un modelo de regresión multivariante de un nivel (hogares) utilizando sólo las variables significativas en el modelo de regresión multivariante presentado en la tabla 2. Además, se incluye la variable hombres en edad productiva relativa a toda la población del hogar (razón de masculinidad adulta), ya que este dato es casi significativo en el modelo multivariado. La densidad del hogar y la densidad del hogar² se mantuvieron significativas aún y cuando ambas siguieron constando en el modelo. Esto sugiere que la relación entre densidad de población y deforestación no es lineal y que la inclusión de ambas variables mejora la explicación de la relación.

Un hallazgo inesperado aparentemente inconsistente con la relación entre cociente de dependencia y deforestación, es la relación negativa entre hombres de edad productiva relativa a la población del hogar con la deforestación. Para la mayoría de los hogares cuyo uso del suelo principal es maíz, es probable que esta relación fuera lo opuesto de lo observado aquí. Sin embargo, los hogares con ganado (25% del total) suelen estar

compuestos por personas mayores con pocos hijos que viven en la finca y éstos han roturado mucho más bosque que los hogares sin ganado. La falta de mano de obra en las familias mayores por la salida de los hijos del hogar, puede incentivar la adopción del ganado, como también el hecho de disponer de tierra relativamente explotada, ya que su duración en la finca tiende a ser mayor que en el caso de las familias más jóvenes. Con el incremento en la significancia de esta variable, el cociente de dependencia dejó de ser significativo. Las otras variables permanecieron significativas y en la misma dirección que en el modelo presentado en la tabla 2.

Dos niveles—Las variables del modelo a nivel de hogar fueron incluidas en un modelo con un intercepto aleatorio de dos niveles, siguiendo la metodología planteada en la sección anterior (véase la tabla 4). En este modelo, adicionalmente a las variables a nivel de hogar (primer nivel), se incluye la variable población a nivel de la comunidad (segundo nivel).

La variación en los interceptos a nivel de comunidad se observa en la figura 3. La prueba de razón de verosimilitud entre los dos modelos indica que la inclusión del intercepto a nivel de comunidad mejora el modelo. Luego de realizar varios modelos, se probó que la variable demográfica con mayor poder estadístico en los modelos anteriores, densidad del hogar, se ajusta mejor cuando se permite tener diferentes pendientes (efectos aleatorios a nivel de comunidad). Como se observa en la figura 4, la significancia estadística de la variación en las pendientes resulta evidente.

La variable a nivel de comunidad, población total de las comunidades, está relacionada significativamente con la deforestación a nivel de hogar y mejoró el ajuste del modelo. Es decir, aunque tamaño del hogar no está significativamente relacionado con la deforestación a nivel de hogar, la cantidad de personas a nivel de comunidad sí lo está. Además, la duración en la finca dejó de ser significativa en el modelo de dos niveles. Estos cambios en el modelo sugiere la importancia de medir relaciones demográficas a diferentes escalas. También sugiere que hay otros factores importantes que la demografía no alcanza a explicar.

Discusión y conclusiones

En el presente estudio, se examinaron los factores demográficos asociados con la deforestación en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL), Guatemala, utilizando un análisis de regresión multinivel. Este análisis demuestra la importancia de variables demográficas para explicar la deforestación a nivel de hogar en una frontera agrícola en los trópicos de Centroamérica. El modelo de regresión multivariada a nivel de hogar explicó el 30% de la variación en la deforestación solamente con variables demográficas. Siguiendo las teorías de Boserup, la variable densidad del hogar fue el factor más importante en los modelos de regresión multivariada. El modelo de multinivel capturó mejor la variación en los residuos comparado con el modelo de un solo nivel. Si los pequeños agricultores en las fronteras agrícolas representan la causa principal de la deforestación tropical (Myers, 1993; Houghton, 1994), es notable el poder de la demografía. La presencia de agricultores en una frontera agrícola en sí, a causa de la migración, tiene una correlación de 100% con la conversión del bosque en campos agrícolas y los subsiguientes usos del suelo. Sin su presencia, no hay deforestación alguna en semejantes fronteras agrícolas. Además de la

migración, otros factores demográficos también explican, en este caso, casi un tercio de la deforestación.

Al permitir variar los interceptos en este modelo, se determinó que, efectivamente, existen diferencias entre comunidades. También se halló que las pendientes o los coeficientes de la variable más importante del análisis, densidad del hogar, varió entre comunidades. De igual manera, la variable a escala de comunidad, población de las comunidades, se relacionó significativamente y positivamente con la deforestación a nivel de hogar.

La metodología planteada en esta investigación muestra la importancia de tomar en cuenta las diferentes escalas (comunidad y hogar) en el análisis de las relaciones entre población y medio ambiente. El contextualizar los factores demográficos con variación a nivel de comunidad indica la importancia de las diferencias a nivel de comunidad, lo cual permite un mejor ajuste de los modelos estadísticos a las variaciones demográficas a diferentes escalas.

Cabe señalar que la cantidad de personas a nivel de comunidad, se relacionó significativamente con la deforestación, mientras que el tamaño del hogar a nivel de hogar no mostró relación alguna. Además, la duración en la finca dejó de ser significativa en el modelo de dos niveles, indicando que hay otras diferencias a escala de comunidad que son más importantes en el análisis que la duración a nivel de hogar. Los cambios efectuados en el modelo de dos niveles sobre la relación de duración en la finca y sobre la importancia de población a nivel de comunidad, sugieren la importancia de tomar en cuenta cómo los factores en una escala pueden incidir en los factores a otra escala.

Si bien la migración y la fecundidad son factores demográficos que inciden en la deforestación en el PNSL, los factores sociales, económicos y geográficos también son importantes. Futuros estudios que investiguen los efectos de la población sobre el medio ambiente tienen que tomar en cuenta la gran gama de factores que pueden incidir en los desenlaces ambientales, tanto la deforestación como otros procesos de degradación ambiental.

De igual forma, las investigaciones futuras deben examinar los factores demográficos a varias escalas sobre los usos del suelo observados sobre el bosque roturado. Futuros análisis también pueden examinar otros desenlaces demográficos y económicos que pueden resultar de variación en factores demográficos, como son la migración, la fecundidad, la intensificación agrícola y la búsqueda de empleo fuera de la finca. Eventualmente, estos modelos deberán incluir no sólo factores demográficos, sino también variables socioeconómicas, políticas y ecológicas. Sin embargo, para evaluar el papel que desempeñan las variables demográficas, hay que comenzar con un análisis de ellas.

Dada la preocupación por la continua deforestación, tanto en el PNSL como en otras áreas protegidas en Centroamérica y en otras fronteras agrícolas en los trópicos, el análisis de factores demográficos, que son tan dinámicos en estas regiones periféricas, como también el análisis explícito de múltiples niveles puede ayudar a los investigadores a entender mejor las relaciones entre la población y el medio ambiente. A su vez, resultados más precisos pueden ser más útiles para informar sobre potenciales intervenciones políticas para frenar la deforestación y mejorar el estándar de vida de colonos en fronteras agrícolas a través

de América Central y otros países tropicales, que sufren altas tasas de deforestación en sus franjas boscosas por parte de los campesinos colonos.

Remerciements

Agradecemos los siguientes apoyos para esta investigación: el Institute of Latin American Studies de la Universidad de Carolina del Norte, el Carolina Population Center, la Mellon Foundation, el Social Science Research Council y The Nature Conservancy, UCSB Senate Faculty Research Grant, UCSB Faculty Career Development Award, National Institutes of Health Career Development Award (K01: HD049008), National Science Foundation Geography and Regional Science Grant (BCS0525592).

Bibliografía

- Adger WN; Brown K (1994). *Land Use and the Causes of Global Warming*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Allen J; Barnes D (1985). «The causes of deforestation in developing countries». *Annals of the Association of American Geographers*, 75 (2), p. 163-184.
- APESA (1993). *Evaluación ecológica rápida de la reserva de la biosfera maya*. Guatemala: APESA/TNC/PBMUSAID.
- Brondizio E; McCracken S; Moran E; Siqueira A; Nelson D; Rodríguez-Pedraza C (2002). «The Colonist Footprint: Toward a conceptual framework of land use and deforestation trajectories among small farmers in the Amazonian Frontier». En: Wood CH; Porro R (eds.). *Deforestation and land use in the Amazon*. Gainesville, FL: University Press of Florida, p. 133-161.
- Caldwell JC; Caldwell P (1987). «The cultural context of high fertility in sub-Saharan Africa». *Population and Development Review*, 13 (3), p. 409-437.
- Carr DL (2001). «Cambios en el uso del suelo de colonos agrícolas en el Parque Nacional Sierra de Lacandón, Petén, Guatemala». En: Bixby LR; Pebley A (eds.). *Población del Istmo Centroamericano al Fin del Milenio*. Santa Monica, CA: Rand Corporation, p. 361-382.
- (2002). *Rural frontier migration and deforestation in the Sierra de Lacandón National Park, Guatemala*. Ph.D. Dissertation Department of Geography. University of North Carolina. Chapel Hill, NC.
- (2004). «Proximate population factors and deforestation in tropical agricultural frontiers». *Population and Environment*, 25(6), p. 585-612.
- (2008). «Farm households and land use in a core conservation zone of the Maya Biosphere Reserve, Guatemala». *Human Ecology*, 36(2), p. 112.
- Geist HJ; Lambdin EF (2001). *What drives tropical deforestation? A metaanalysis of proximate and underlying causes of deforestation based on sub-national case study evidence*, 116. Louvain-la-Neuve, Belgium: LUCC International Project Office.
- Geoghegan J; Cortina Villar S; Klepeis P; Macario Mendoza P; Ogneva-Himmelberger Y; Roy Cowdhury R; Turner II BL; Vance C (2001). «Modeling tropical deforestation in the southern Yucatán peninsular region: Comparing survey and satellite data». *Agroecosystems and Environment*, 85 (13), p. 25-46.
- Godoy R; Groff S; O'Neill K (1998). «The Role of Education in Neotropical Deforestation: Household Evidence from Amerindians in Honduras». *Human Ecology*, 26 (4), p. 649-675.
- Goldstein H (2003). *Multilevel Statistical Models*. Nueva York: Halstead Press.
- Hecht S (1985). «Deforestation in the Amazon Basin: Magnitude, Dynamics, and Soil Resource Effects». *Studies in Third World Societies*, 13, p. 61-100.
- Houghton RA (1994). «Land-Use Change and Tropical Forests». *Bioscience*, 44, mayo, p. 305-31.
- Mather AS; Needle CL (2000). «The relationships of population and forest trends». *Geographical Journal*, 166 (1), p. 2-13.
- McCracken S; Siqueira A; Moran E; Brondizio E (2002). «Land use patterns on WOOD, C. H; Porro R (eds.). *The Colonist Footprint: Toward a conceptual framework of land use and deforestation trajectories among small farmers in the Amazonian Frontier*. Gainesville, FL: University Press of Florida.

- Morales M (1996). Programa Integrado de Monitoreo Ecológico Parque Nacional Sierra de Lacandón. Petén, Guatemala: TNC / USAID PBM.
- Moran E (1984). «Colonization in Transamazonia and Rondonia». En: Schmink M; Wood C (eds.). *Frontier Expansion in Amazonia*. Gainesville, FL: University of Florida Press, p. 285–303.
- Moran E; Brondizio E; Mausel P; Wu Y (1994). «Integrating Amazonian Vegetation, Land-Use, and Satellite Data». *Bioscience*, 44 (5), p. 329–338.
- Murphy LL; Marquette C; Pichón FJ; Bilsborrow R (1999). «Land use, household composition, and economic status of settlers in Ecuador's Amazon: A review and synthesis of research findings, 1990–1999». Comunicación leída en la Universidad de Florida, Center for Latin American Studies 48th Annual Conference: Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon, del 23 al 26 de marzo, Gainesville, FL.
- Myers N (1988). «Threatened Biotas: Hotspots in Tropical Forests». *The Environmentalist* 8 (3), p. 1–20.
- (1993). «Tropical Forests: The Main Deforestation Fronts». *Environmental Conservation*, 20 (1), p. 9–16.
- Patz JA; Daszak P; Tabor GM; Aguirre AA; Pearl M; Epstein J; Wolfe ND; Kilpatrick AM; Foufopoulos J; Molyneux D; Bradley DJ (2004). «Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence». *Environmental Health Perspectives*, 112 (10), p. 1092–1098. [PubMed: 15238283]
- Perz SG (2001). «Household demographic factors as life cycle determinants of land use in the Amazon». *Population Research and Policy Review*, 20 (3), p. 159–186.
- Raudenbush SW; Bryk AS (2002). *Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Rosero-Bixby L; Palloni A (1998). «Population and deforestation in Costa Rica». *Population and Environment*, 20 (2), p. 149–78.
- Rundquist FM; Brown LA (1989). «Migrant fertility differentials in Ecuador». *Geografiska Annaler, Series B*, 71 (2), p. 109–123.
- Sader SA; Martinez EB; Irwin DE; Yax HT (2000). «Estimación de la deforestación en la Reserva de la Biosfera Maya, 1997–1999». En: Grunberg J (ed.). *Nuevas Perspectivas de Desarrollo Sostenible en Petén*. Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), p. 321324.
- Sierra R (2000). «Dynamics and patterns of deforestation in the western Amazon. The Napo deforestation front, 1986–1996». *Applied Geography*, 20 (1), p. 1–16.
- Southgate D (1990). «The Causes of Land Degradation along “Spontaneously” Expanding Agricultural Frontiers in the Third World». *Land Economics*, 66 (1), p. 93–101.
- Stokes CS (1984). «Access to land and fertility in developing countries». En: Schut Jer WA; Stokes S (eds.). *Rural Development and Human Fertility*. Nueva York: Macmillan, p. 195–215.
- Stonich S (1993). *I am Destroying the Land!: The Political Ecology of Poverty and Environmental Destruction in Honduras*. Boulder, Co: Westview Press.
- THE NATURE CONSERVANCY (1997). *Estado del Parque Nacional Sierra de Lacandón*. Flores, Guatemala: The Nature Conservancy (TNC).
- Van der Leeden R; Busing F; Meijer E (1997). «Applications of Bootstrap Methods for Two-Level Models». Comunicación leída en la Multilevel Conference, celebrada en Amsterdam los días 1 y 2 de abril.
- Walker R; Moran E; Anselin L (2000). «Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: External capital and household processes». *World Development*, 28 (4), p. 683–699.
- Walker R; Perz S; Caldas M; Teixeira Silva LG (2002). «Land use and land cover change in forest frontiers: The role of household life cycles». *International Regional Science Review*, 25 (2), p. 169199.
- Weil C (1981). «Health problems associated with agricultural colonization in Latin America». *Social Science & Medicine*, 15D, p. 449–461.
- Weisheit W; Caviedes C (1993). *The Persisting Ecological Constraints of Tropical Agriculture*. Nueva York: Longman Scientific and Technical, and John Wiley and Sons.

Wilson EO (1992). *The Diversity of Life*. Nueva York: W.W. Norton & Co.

Author Manuscript

Author Manuscript

Author Manuscript

Author Manuscript

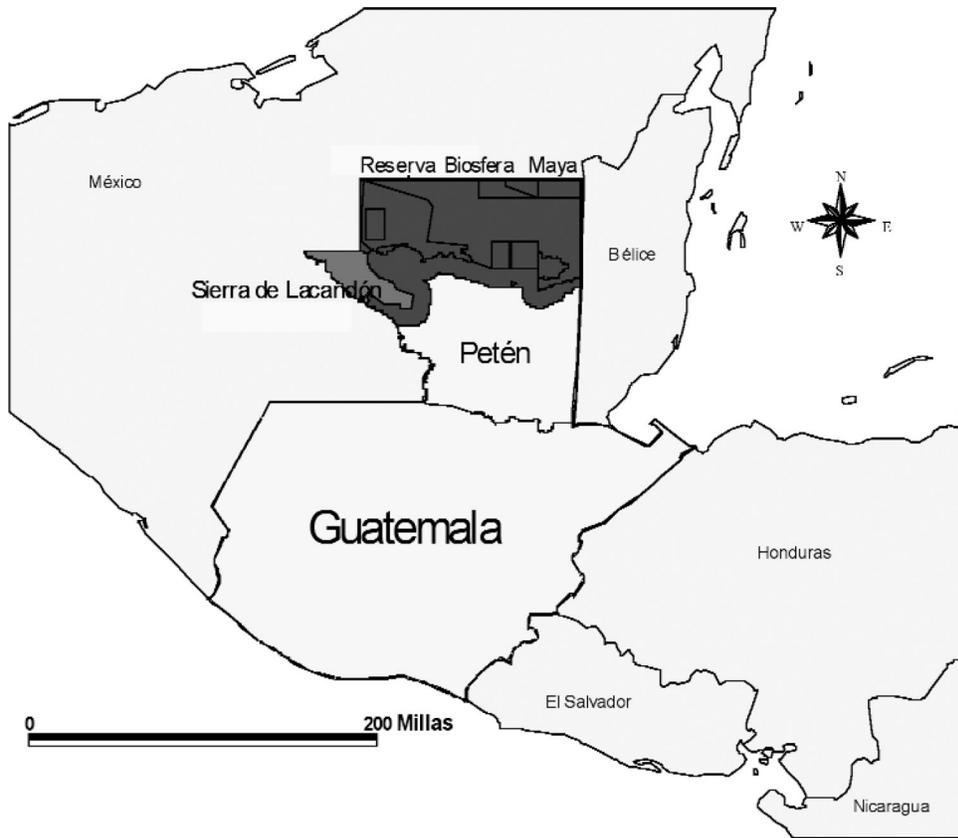


Figura 1. Guatemala y el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL). Fuente: elaboración propia.

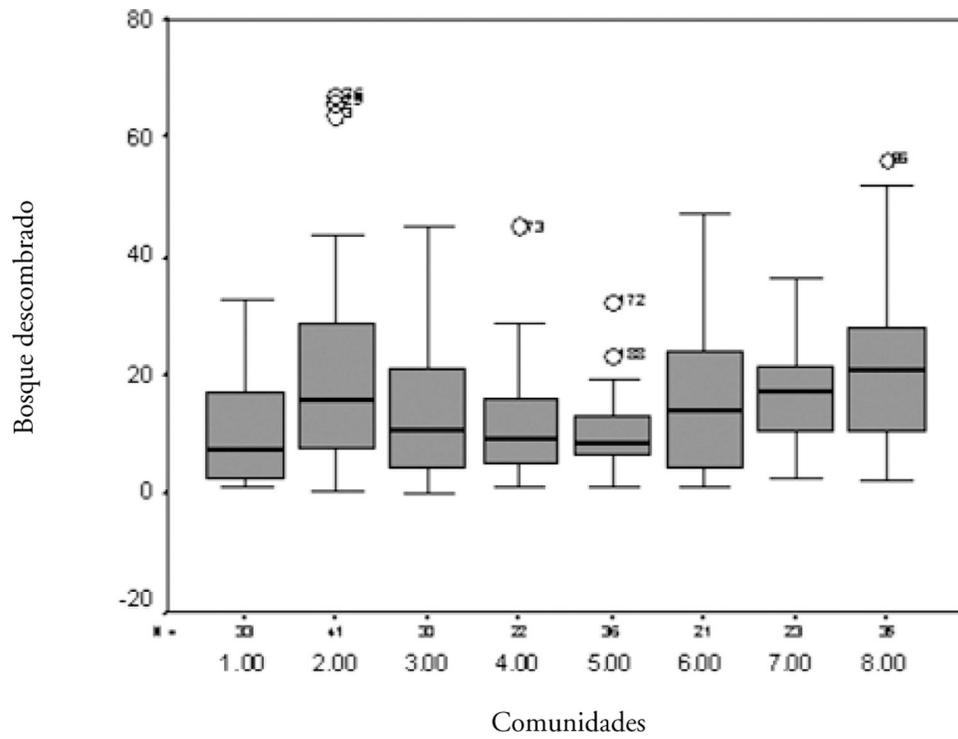


Figura 2. Variabilidad en deforestación por comunidad. Fuente: elaboración propia. Se presenta la variabilidad en el nivel de deforestación para cada una de las ocho comunidades analizadas.

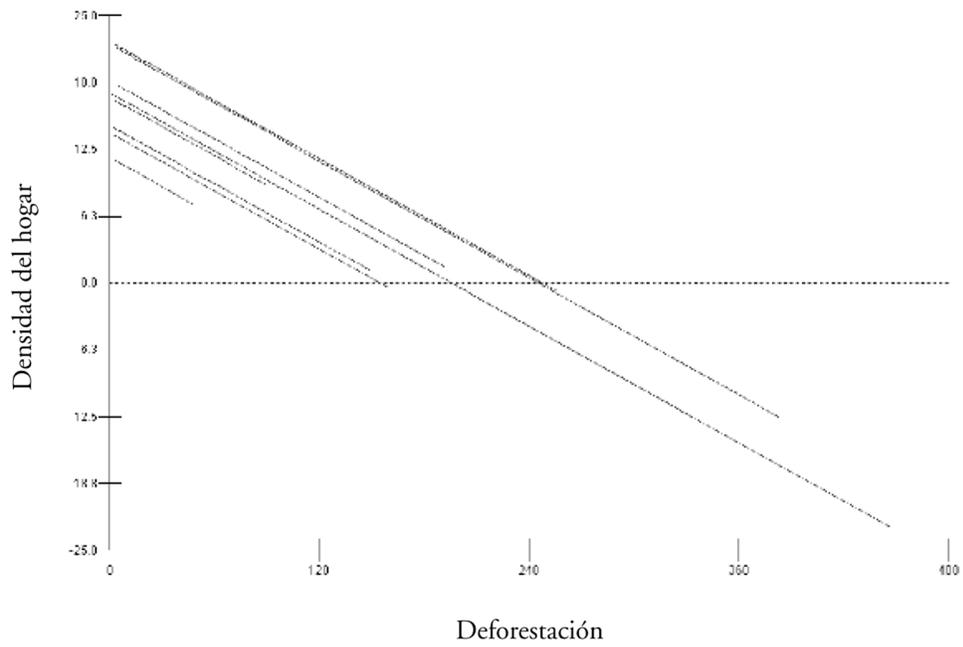


Figura 3.

Densidad del hogar y deforestación con interceptos aleatorios. Fuente: elaboración propia.

Se observa la variación en los interceptos a nivel de comunidad en el modelo de dos niveles. Al permitir interceptos aleatorios, el modelo ajusta el intercepto para cada una de las comunidades (en la gráfica, cada línea representa una de las ocho comunidades).

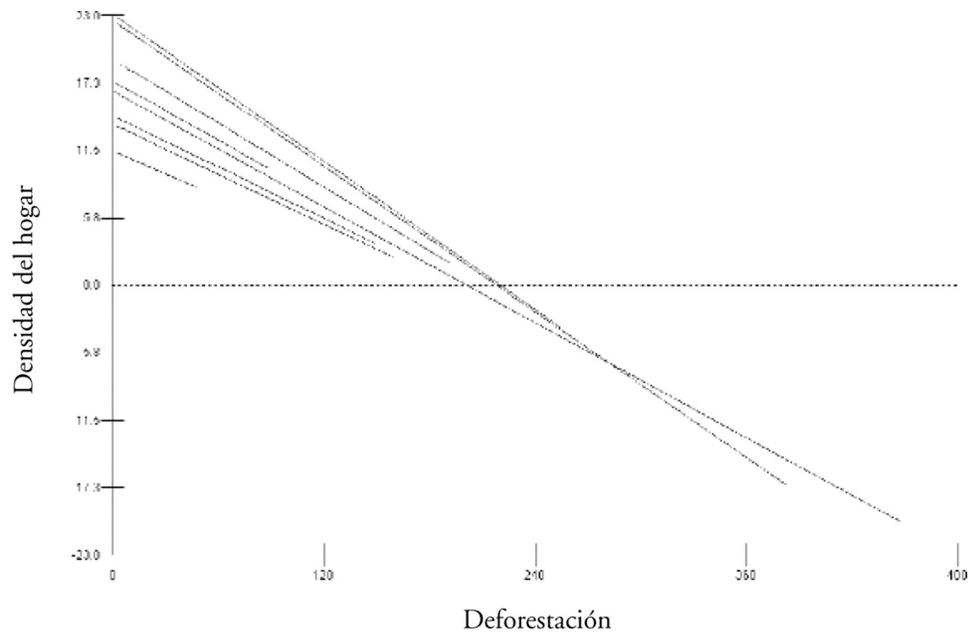


Figura 4. Densidad del hogar y deforestación con interceptos y pendientes aleatorias. Fuente: elaboración propia. Se observa la variación en los interceptos y las pendientes a nivel de comunidad en el modelo de dos niveles. Al permitir interceptos y pendientes aleatorias, el modelo ajusta la regresión teniendo en cuenta las particularidades de cada comunidad (en la gráfica, cada línea representa una de las ocho comunidades lo que permite diferentes pendientes y diferentes interceptos).

Tabla 1.

Regresión bivariada: factores demográficos y deforestación

Variables independientes	Tierra deforestada		
	Esperado	Valor-t	Sig.
Tamaño y densidad			
Tamaño del hogar	+	4.6	***0.00
Densidad del hogar	-	-6.30	***0.00
Densidad del hogar ²	-	-3.20	***0.00
Familia nuclear (no extendida)	-	0.13	0.91
Edad			
Edad de jefe de hogar	+	4.5	***0.00
Edad de esposa	+	4.1	***0.00
Hijos			
Número de hijos	+	4.8	***0.00
Razón de dependencia infantil	-	-1.5	0.15
Género			
Hombres adultos	+	3.9	***0.00
Razón de masculinidad adulta	+	-1.1	0.25
Razón de feminidad adulta	+	3.5	***0.00
Razón de género	+	0.7	0.48
Razón de género de adultos		1.1	0.28
Migración			
Duración en la finca	+	3.8	***0.00
Disponibilidad de mano de obra familiar			
Trabajo fuera de la finca	-	-2.9	***0.00

Valores P: ***<or = .01

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2.

Regresión multivariada de factores demográficos y deforestación

Variables independientes	Tierra deforestada			
	B	B estandarizada	Valor-t	Sig.
(constante)	5.93		0.73	0.47
Tamaño y densidad				
Tamaño del hogar	-0.06	-0.01	-0.04	0.97
Densidad del hogar	-9.63	-0.77	-7.14	***0.00
Densidad del hogar ²	1.33	0.49	4.64	***0.00
Familia nuclear (no extendida)	-0.04	0.00	-0.01	0.99
Edad				
Edad de jefe de hogar	0.28	0.29	2.76	***0.00
Edad de esposa	-0.15	-0.14	-1.23	0.22
Hijos				
Número de hijos	1.43	0.33	0.90	0.37
Razón de dependencia infantil	-2.39	-0.17	-1.76	*0.08
Género				
Hombres adultos	0.71	0.08	0.63	0.53
Razón de masculinidad adulta	-8.38	-0.16	-1.60	0.11
Razón de feminidad adulta	-1.07	-0.14	-1.19	0.24
Razón de género	-0.22	-0.01	-0.15	0.88
Razón de género de adultos	-0.63	-0.05	-0.71	0.48
Migración				
Duración en la finca	3.27	0.13	2.28	**0.024
Disponibilidad de mano de obra familiar				
Trabajo fuera de la finca	-2.61	-0.10	-1.87	*0.063

Valores P: ***<or = .01 **<or=.05 *<or=.10

R² 0.36

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.

Modelo a dos niveles: factores demográficos y deforestación

	B	ES	Valor-t	Sig.
(constante)	6.6	3.9	1.69	0.09
Densidad del hogar [^]	-9.9	1.4	-7.07	***0.00
Densidad del hogar ²	1.4	0.23	6.09	***0.00
Edad de jefe de hogar	0.22	0.048	4.50	***0.00
Razón de dependencia infantil	-1.72	1.07	-1.61	0.11
Razón de masculinidad adulta	-9.10	3.40	-2.68	***0.01
Duración en la finca	1.9	1.3	1.46	0.15
Trabajo fuera de la finca	-4.20	1.30	-3.23	**0.00
Población a nivel de comunidad	3.70	1.30	2.85	***0.00

Razón de verosimilitud 1802 (diferencia de 20 del modelo de un nivel) ***0.00

Razón de verosimilitud (diferencia de 15 del modelo con un slope al azar para densidad del hogar) ***0.00

^Pendiente al azar

Valores P:

***<or=.01

Fuente: elaboración propia.