

Deforestación en Bolivia: una aproximación espacial

Deforestation in Bolivia: A Spatial Approach

*Jaime Daniel Leguía Aliaga**

*Horacio Villegas Quino***

*Javier Aliaga Lordemann****

Resumen

Este documento presenta evidencias de que las características ambientales, la infraestructura vial, los derechos propietarios y los aspectos demográficos son determinantes de la deforestación en Bolivia. Para ello se realizaron estimaciones por mínimos cuadrados ordinarios, y posteriormente se comprobó la existencia de interdependencia entre las regiones examinadas, estimándose en este último caso un modelo espacial de retardos.

Abstract

This document presents evidences of which the environmental characteristics, (the road infrastructure, the proprietary rights and the demographic aspects) are determining the deforestation in Bolivia. We realized estimations by OLS, verifying the existence of interdependence between the examined regions. As a result we used a lag space model.

Palabras clave: Deforestación, determinantes, econometría espacial, Modelo Espacial de Retardos

* Becario (Fellow) de Conservación Estratégica (CSF). La Paz-Bolivia. dleguia@gmail.com

** Investigador Asociado del Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC-UCB). La Paz-Bolivia. hvillegas@ucb.edu.bo. Administrador del Proyecto CELA.

*** Director del Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC-UCB). La Paz-Bolivia. jaliaga@ucb.edu.bo

Keywords: Deforestation, Determinants, Space Econometry, Space Model of Retardations

Clasificación / Classification JEL: C31, Q23

1. Introducción

En los últimos años la deforestación se ha constituido en uno de los temas prioritarios en las agendas nacionales e internacionales, principalmente por sus efectos sobre la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, la reducción de la oferta de madera y la degradación del suelo, entre otros (Kaimowitz *et al.*, 1998). Según la FAO (2006), los latinoamericanos deforestaron cinco veces más por habitante rural que los africanos, y 40 veces más que los asiáticos.

Se estima que en Bolivia la deforestación está provocando la pérdida de cientos de miles de hectáreas de bosque por año. Las causas de esta deforestación son muy complejas y varían entre las distintas regiones del país. Sin embargo, se sabe que la ampliación de la frontera agrícola constituye la principal causa de deforestación (Pacheco, 2004).

También, se ha detectado que el acceso a infraestructura de carreteras incrementa la probabilidad de deforestación (Kaimowitz y Angelsen, 1999). Se asume que una alta densidad y crecimiento poblacional cerca a áreas forestales incrementa la presión sobre los bosques, y que la tenencia de la tierra y la falta de derechos de propiedad bien definidos son también causas importantes de este fenómeno. Por último, existe un conjunto de variables físico-ambientales que influyen fuertemente en el lugar donde los agentes deforestan (Kaimowitz y Angelsen, 1998)

En este sentido, Bolivia se constituye en un caso fundamental de estudio – aproximadamente el 50% del territorio tiene vocación forestal– en el que el modelamiento de este tipo de factores cobra importancia, debido a que existen complejas relaciones causales. Por lo tanto, este documento pretende medir y analizar las relaciones que presentan un conjunto de variables (caminos, derechos propietarios, características físicas y ambientales, población, etc.) en relación a la deforestación, a partir de una escala de análisis municipal.

Para tal efecto se utiliza un modelo econométrico espacial, el cual nos permite analizar el efecto de características físico-ambientales sobre la deforestación. El documento está

estructurado de la siguiente manera: en la sección dos se hace una aproximación conceptual al tema forestal, mientras que en la sección tres se examina la deforestación en Bolivia. En la cuarta sección se presenta el modelo econométrico utilizado; en la quinta, los resultados; y en la sexta sección se muestran las principales conclusiones del estudio.

2. Aproximaciones conceptuales

En esta sección nos enfocaremos en la definición de tres elementos conceptuales. Primero, la comprensión y delimitación del concepto de deforestación para fines de nuestro estudio, por tener el mismo diversas acepciones operativas. Segundo, desarrollaremos las nociones básicas sobre modelos económicos explicativos de la deforestación. Tercero, en el marco de estos últimos, incidiremos en el desarrollo teórico de variables clave para el análisis de los procesos de deforestación.

2.1. Deforestación

Según Wunder (2001), el concepto de deforestación está relacionado con varios términos no totalmente delimitados (pérdida de bosque, fragmentación, conversión o degradación). Por este motivo, el autor categoriza los diferentes enfoques predominantes sobre las definiciones de deforestación en visiones “amplia” y “estrecha”.

Por un lado, la visión “amplia” incluye no sólo la conversión del bosque a otros usos, sino también diferentes tipos de degradación que reducen la calidad del bosque en términos de densidad y estructura, servicios ecológicos, biomasa y diversidad de especies, entre otros. Bajo este enfoque, la tala selectiva se convierte en uno de los principales factores de deforestación.

Del otro lado, la versión “estrecha” de deforestación se enfoca estrictamente en el cambio del uso de la tierra forestal y puede implicar una completa destrucción de la cobertura forestal. Para Kaimowitz y Angelsen (1998), la deforestación describe una situación de remoción completa de largo plazo de la cobertura forestal. Para la FAO (2006), el criterio decisivo es la suficiente remoción de cobertura forestal para permitir usos alternativos de la tierra.

Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) existen varias maneras de abordar las definiciones de forestación, reforestación y deforestación.

La primera se basa en el concepto de cambio de uso de la tierra¹ y la segunda en la densidad de carbono. Según el PNUD (2008), la deforestación es un proceso de conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales, mientras que la remoción de bosque genera una pérdida de biomasa y de captura de carbono.

Finalmente, Wachholtz, *et al.* (2006) conceptualizan la deforestación de manera operativa para Bolivia, como la forma de cambio del uso de la tierra forestal a gran escala a partir del desmonte mecanizado. Otras formas de deforestación, tales como el aprovechamiento no sostenible de los recursos maderables, chaqueo y cicatrices de incendios forestales, no son tomadas en cuenta en esta definición.

2.2. Modelos económicos explicativos de la deforestación

Existen dos enfoques predominantes a nivel económico para el análisis de modelos de deforestación que se han estado desarrollando y adaptando a entornos específicos en las últimas dos décadas. El primero, elaborado por Kant y Redantz (1997), pretende captar las complejas interacciones asociadas a la deforestación en base a una estructura de trabajo multinivel, donde los factores clave que inciden sobre la deforestación están divididos en variables directas e indirectas. Los efectos de las causas directas están determinados por la compleja interacción de las causas indirectas (Yiridoe y Manang, 2001).

El segundo es el enfoque de Kaimowitz y Angelsen (1998), quienes elaboran un marco conceptual en el cual se realiza una detallada descripción de las variables y su correspondiente clasificación, así como la relación de dicha ordenación de variables con la escala de análisis (macro², meso y micro). De esta forma se cuenta con una estructura teórica y variables que permiten delimitar las investigaciones de deforestación según sus objetivos y escala.

A nivel micro se espera que los agentes elijan la asignación de sus recursos dado un contexto exógeno determinado por precios, condiciones iniciales, preferencias, políticas, instituciones y alternativas tecnológicas. A nivel meso los agentes poseen diversas características ecológicas, de estructura agraria, historia política, instituciones, relaciones comerciales, infraestructura

1 El IPCC (2000) define al uso de la tierra como el "conjunto total de disposiciones, actividades y aportes de que es objeto determinado tipo de cubierta terrestre (conjunto de acciones humanas). Fines sociales y económicos a que responde la gestión de las tierras (por ejemplo, pastoreo, extracción de madera, conservación)".

2 La escala a nivel micro considera a los hogares, granjas o empresas y áreas pequeñas (menos de un kilómetro cuadrado); la escala meso incluye como unidad a las regiones, municipios o provincias, y la escala macro comprende como unidad de análisis los niveles nacional y mundial.

y uso del suelo. Finalmente, a escala macro se enfatiza el análisis en las relaciones entre las variables subyacentes, parámetros de decisión y deforestación (Lambin, 1997:1).

2.3. Análisis de variables clave

Para fines de esta investigación, en esta sección nos enfocamos en variables tipo meso dentro del modelo de Kaimowitz y Angelsen. Empíricamente, en este tipo de estudios las unidades de medición son estados, regiones o municipios. De igual manera, se hace énfasis en los parámetros de decisión de los agentes económicos, considerando algunas variables relacionadas a las variables de decisión; de esta forma se realiza un análisis de las causas inmediatas de la deforestación. A continuación explicamos brevemente las principales variables utilizadas a nivel meso.

Población y deforestación

Se considera que el crecimiento de la población asociado a un cambio demográfico y sus efectos sobre la deforestación no son lineales ni directos, ya que dependen de otros factores. Según, Rosero-Bixby y Palloni (1997), existen rutas directas e indirectas que conectan el crecimiento poblacional con la deforestación. Entre las rutas directas están, por un lado, la escasez relativa de tierras en áreas tradicionalmente agropecuarias como consecuencia de la alta densidad de la población, y, por el otro lado, la creciente demanda de madera y alimentos. Entre los mecanismos indirectos se encuentran las condiciones que determinan la accesibilidad al bosque y la desigual distribución de la tierra.

Para Bonilla (1985), Harthshorn (1997) y Pérez y Protti (1978), el eslabón causal que permite entender cómo la presión demográfica incide sobre la tierra está relacionado con las políticas de Gobierno que favorecen los asentamientos y colonización de tierras públicas. En los trabajos elaborados por Southgate (1990) se argumenta que el crecimiento de la población en áreas forestales ocurre en respuesta a la construcción de caminos, disponibilidad de suelos de calidad y crecimiento de la demanda de productos agrícolas.

Derechos propietarios

Según Jaramillo y Kelly (2000), hay tres estratos en la relación existente entre la tenencia de tierra y la decisión de deforestar. Primero, la seguridad de los derechos de propiedad individual sobre las tierras agrícolas establecidas y sus efectos sobre la producción y el empleo agrícola. Segundo, los regímenes de tenencia sobre las áreas forestadas y sus efectos sobre el

manejo sostenible de los recursos. Tercero, las políticas que inciden sobre el cumplimiento de los derechos propietarios.

Los derechos de propiedad (o su ausencia) de la tierra con bosque y las políticas de titulación que premian el “desmonte” son los dos factores más importantes para Rosero-Bixby y Palloni (1997). De otro lado, los intereses económicos y sociales muchas veces constituyen incentivos más fuertes para la explotación de los bosques y su conversión que los incentivos derivados de la tenencia (Deininger y Minten, 1996).

Finalmente, en el caso de los recursos forestales es directo suponer que la tasa de descuento es alta y que la inestabilidad institucional y los contratos de arrendamiento a corto plazo constituyen elementos adicionales que generan incertidumbre sobre la tenencia de la tierra, incentivando un aprovechamiento selectivo y el desmonte del bosque.

El uso de la tierra

El impacto de la geografía sobre el desarrollo se deriva de la interacción entre las condiciones físicas y los patrones de asentamiento de la población en el territorio (BID, 2000). Para Butler y Ogendo (1994), la geografía hace énfasis en las distribuciones espaciales y ambientales de las actividades económicas. Estos autores sostienen que la dinámica de la geografía económica y su incidencia en las actividades económicas y de uso de la tierra contemplan dos enfoques interrelacionados: el espacial y el ambiental. El primero está referido a las regularidades espaciales y los esquemas resultantes de las fuerzas económicas, incluso si el ambiente fuera el mismo. En tanto que el segundo (denominado ecológico) estudia la ubicación de la actividad económica y cambios en el uso de la tierra, contemplado aspectos como clima, geología, vegetación y agua.

Factores espaciales

Según von Thünen. (1867), existe una renta asociada a la ubicación de un sitio. En este sentido, la renta es función del rendimiento, que a su vez depende de manera positiva del margen de ganancia y de manera negativa del costo de producción y de la distancia. Parafraseando a este autor, la agricultura (bosque) requiere grandes cantidades de superficie para cada granja (aprovechamiento forestal), y por lo tanto es necesario que éstas se sitúen a diferentes distancias. Como consecuencia de esto, los productos se transportan desde diferentes distancias, lo que provoca un aumento del coste para los productos más lejanos. Así, un incremento de la renta,

generada bien por el aumento de precio en el mercado, bien por la disminución del coste de producción, provoca un alejamiento de la distancia al mercado, y viceversa.

Infraestructura vial

Se establece que, en la medida que existan caminos cerca al bosque, existe una mayor probabilidad de deforestación; por lo tanto, también existe una relación positiva entre infraestructura vial y deforestación (Wunder, 2000). La mayoría de los estudios (Southgate, 1990; Krutilla *et al.*, 1995; Deininger y Minten (1996); Cropper *et al.*, 1997) que incluyen variables de acceso muestran que la deforestación es alta en lugares con más caminos y/o proximidad a mercados de ciudades grandes (Chomitz y Gray, 1996; Alston *et al.*, 1995; Mahar y Schneider, 1994).

Factores ambientales

La teoría de la renta económica desarrollada por David Ricardo en 1817 (incluir en biblio?) relaciona la calidad (ambiental) de la tierra medida por medio de parámetros tales como la fertilidad natural de la tierra con el ingreso de la granja. Esta renta se refiere a aquella parte del producto de la tierra que se paga al propietario para el uso de las fuerzas originales e indestructibles de la tierra. Dado que la tierra es fija e inmóvil, es necesario usar una calidad progresivamente más pobre de tierra conforme se eleva la población y la demanda económica.

En este sentido, la deforestación se ve afectada a medida que se amplían las áreas de cultivo. Para este autor también importa el factor espacial, dado que “la tierra más fértil y la más favorablemente ubicada será la primera que se cultive. De esta manera al cultivar en forma sucesiva tierra de peor calidad o tierra situada desfavorablemente, la renta se elevaría en la tierra previamente cultivada.

Pendientes y costos de producción

Butler (1994) señala que los costos de producción y transporte están relacionados con el grado de aspereza del terreno. Las regiones de terrenos ásperos por lo general presentan costos más altos porque necesitan insumos específicos para la producción y el transporte de un producto cualquiera. En el caso de la deforestación, los modelos económicos desarrollados sobre el tema predicen que mejores suelos y tierra con pendientes bajas o planas permiten un mayor desmonte, desde que los terratenientes prefieren deforestar las tierras más productivas (Kaimowitz y Angelsen, 1998).

3. Antecedentes de la deforestación en Bolivia

A continuación presentamos elementos de contexto sobre la evolución de la deforestación en Bolivia, con el propósito de aportar elementos clarificadores que serán de gran utilidad el momento de comprender las conclusiones a las que arriba este documento. En este sentido, en esta sección desarrollamos, primero, una tipificación sobre las características geográficas de Bolivia, para luego enfatizar los elementos fundamentales sobre el estado de situación de la deforestación en el país.

3.1. Tipificación geográfica de Bolivia³

En este acápite se pretende mostrar de manera panorámica la diversidad y riqueza de la estructura en pisos ecológicos que tiene Bolivia (más de nueve sistemas climáticos), en cuanto abarca territorios que van desde tierras altas (a más de 4.000 m.s.n.m.) hasta zonas tropicales muy cercanas a la selva amazónica brasilera. Para este fin seguimos el desarrollo que se detalla a continuación.

Primero, la Amazonía, que abarca los bosques que se encuentran en la cuenca del Amazonas. Ésta se constituye en una de las zonas más complejas y más ricas en especies de plantas y animales, y registra temperaturas promedio anuales entre 24 y 30° C. En general el clima es seco, con precipitaciones que van de 1.800 a 2.200 mm al año. En cuanto al uso del suelo, éste generalmente se usa para aprovechamiento de madera, goma, castaña, frutas silvestres y agricultura en pequeña escala.

Segundo, la Gran Chiquitanía, que es uno de los bosques secos más ricos en especies de plantas a nivel global. El clima se caracteriza por tener precipitaciones entre 600 y 1300 mm anuales, y una temperatura promedio anual que varía entre 21 y 30° C. El uso del suelo es generalmente para agricultura industrializada, ganadería en escala grande, aprovechamiento de madera y transporte de productos petroleros.

Tercero, la zona “Central Norte Integrado”, constituida por bosques situados en paisajes de llanura con topografía casi plana. Su altitud varía entre 150 y 250 msnm. Esta zona registra una temperatura media anual de 26°C y una precipitación anual promedio de 1347 mm. Las tierras de esta zona son aptas para agricultura y ganadería en una menor proporción.

³ Esta sección está basada en Montes de Oca (2007).

Cuarta, la región del Chaco, que es un complejo de bosques bajos, matorrales espinosos, sabanas secas y tierras húmedas. Las precipitaciones varían desde 500 mm hasta 1000 mm. La época seca abarca de 5 a 9 meses. La temperatura media anual se encuentra entre 22 y 26° C. En cuanto al uso del suelo, la zona es apta para la ganadería, extracción de madera, carbón y explotación petrolera.

Quinto, las sabanas del Beni, que se caracterizan por tener un clima húmedo con precipitaciones que van de 1100 a 5500 mm año, con una temperatura promedio de 22 a 29° C. En cuanto al uso del suelo, es destinado generalmente a ganadería y actividades agrícolas menores.

Sexto, la zona de los Yungas, cubierta de bosques que van desde los denominados “bosques nublados⁴” (entre 2800 y 3600 msnm), pasando por el “bosque húmedo montañoso” (entre 1200 y 2800 msnm) para terminar en el bosque de pie de monte (a menos de 1200 msnm). Esta particular configuración geográfica es única en el mundo y genera un microclima característico de zona tropical a 2000 msnm, con temperaturas medias de 24° C. El uso del suelo en esta zona está destinado generalmente a la agricultura y la coca.

Séptimo, el Bosque Tucumano Boliviano, que es una zona seca con precipitaciones que fluctúan entre los 1000 y los 1700 mm por año y temperaturas promedio que oscilan entre 10 y 23° C. En cuanto al uso del suelo, esta zona se caracteriza por ser apta para el aprovechamiento de madera, actividad agrícola y pastoreo.

Octavo, la Puna de los Andes Centrales, que se caracteriza por contar con niveles de precipitación de 900 a 1400 mm por año, con una temperatura promedio anual de 11° C y una altitud de 3376 m.s.n.m. Esta zona además presenta niveles de pendientes arriba del 80 por ciento, lo cual dificulta el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas extensivas.

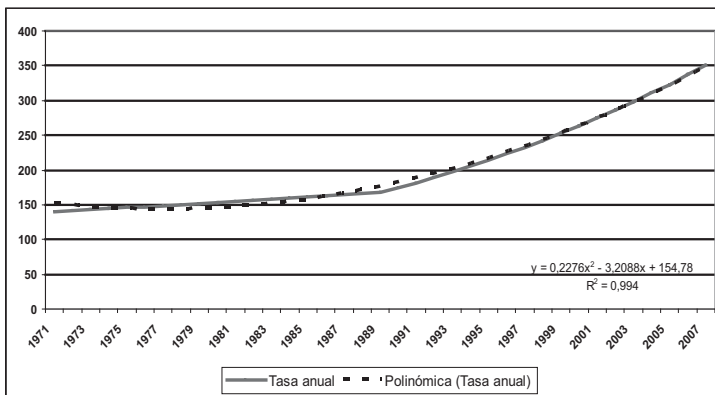
3.2. La deforestación en Bolivia

En los últimos decenios Bolivia ha registrado un incremento exponencial de la deforestación. Para el período 1975 a 1993 se determinó una tasa de deforestación del 0.3 por ciento, equivalente a 168.012 hectáreas por año (Wachholtz 2006: 34). Entre 1993 y 2000, el promedio se incrementó en 89 por ciento, llegando a 270.000 hectáreas por año (Rojas *et al.*, 2003: 10). Para los años 2004 y 2005 en áreas iguales o mayores a 5.3 hectáreas se

4 Son bosques cuya superficie se encuentra por encima del nivel de las nubes.

registraron 276.000 y 281.283 hectáreas deforestadas, respectivamente. Si se considera el resto de desmontes menores, se estima que la cifra puede alcanzar hasta medio millón de hectáreas (Muñoz, 2006: 1), como se puede ver en el Gráfico 1.

Gráfico 1: Evolución de las tasas de deforestación en Bolivia



Fuente: Elaboración propia en base a datos de UDAPE

Las áreas donde se registra la mayor cantidad de deforestación anual es la Chiquitanía⁵. En segundo lugar se encuentra la región Central Norte Integrado, conformada por 18 municipios. Por su parte, los Yungas⁶ y la Amazonía⁷ -regiones con la mayor cantidad de municipios- representan solo el 13.5 por ciento del total de deforestación promedio del período. En el caso del Chaco se registra el 11 por ciento de la deforestación promedio del período, mientras que en las sabanas del Beni la deforestación representa el 5 por ciento promedio del período (Gráfico 2).

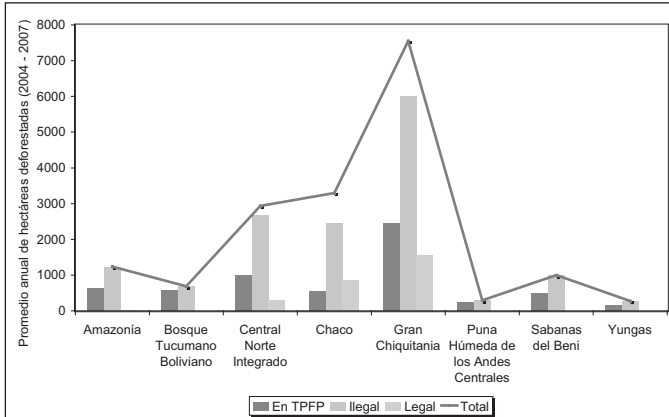
En todas las zonas el mayor porcentaje de deforestación es ilegal, únicamente en las regiones de la Gran Chiquitanía, Chaco y Central Norte Integrado existe un porcentaje mínimo de deforestación legal. De igual manera, en todas las zonas existe un porcentaje de deforestación realizado en Tierras de Producción Forestal Permanente, lo que significa que existen cambios de uso de suelo en tierras que por sus características tienen capacidad de mayor uso forestal.

5 En los municipios de Ascensión de Guarayos, El Puente, Pailón, San Ignacio de Velasco y San Julián.

6 Los principales municipios donde se genera una mayor deforestación en los Yungas son: Cajuata, Entre Ríos (Bulo Bulo), Inquisivi, Morochata, Tacacoma, Titora y Tiraque.

7 Los municipios en la Amazonía que presentan mayor deforestación son: Bella Flor, Guayaramerín, Puerto Rico, Riberalta y San Borja.

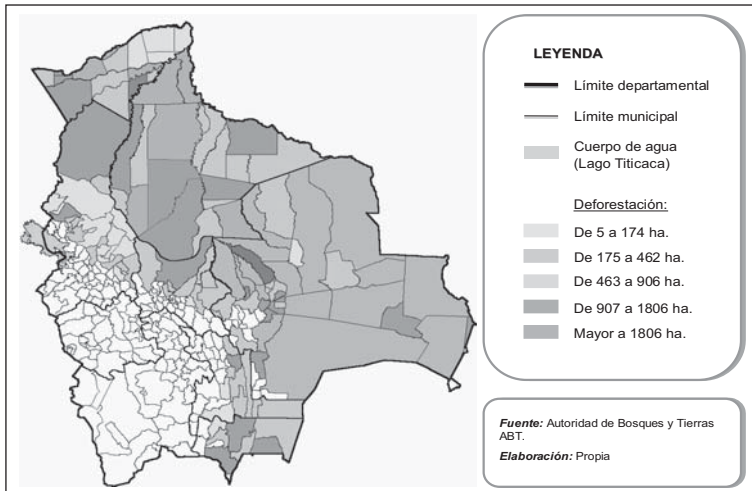
Gráfico 2: Deforestación promedio anual 2004–2007 por zonas



Fuente: Autoridad de Bosque y Tierra (ABT).

El Mapa 1 permite observar en qué rango de deforestación se encuentra cada municipio y en qué departamento se registra el mayor nivel de deforestación. Es evidente que el departamento de Santa Cruz (Gran Chiquitanía), en color guindo, presenta el mayor nivel de deforestación, mientras que el nivel más bajo de deforestación se encuentra en el departamento de La Paz, en color verde agua.

Mapa 1
Rangos de deforestación, según municipios.

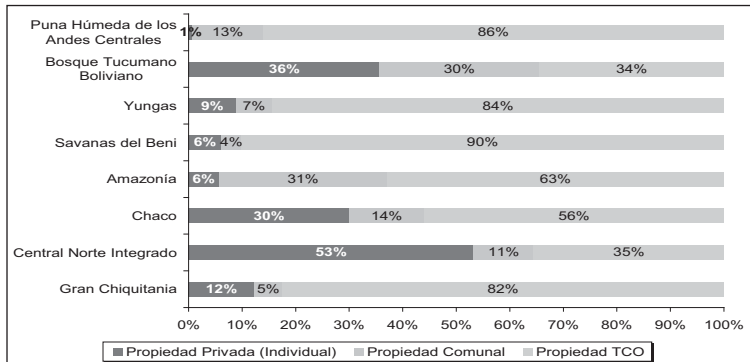


Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ABT.

Derechos de propiedad

Al agrupar los diferentes tipos de derecho por propiedad privada, propiedad comunal y Tierra Comunitaria de Origen⁸ (TCO) -para cada eco región- se encuentra que, a excepción del Central Norte Integrado y del Bosque Tucumano Boliviano, todas las demás regiones -entre el 56 y el 90 por ciento del área- cuentan con alguna titulación bajo denominación de TCO.

Gráfico 3: Derechos de propiedad por tipo de título y ecoregión



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA).

Las áreas donde se evidencia una mayor titulación de propiedad privada son el Central Norte Integrado, el Bosque Tucumano Boliviano, el Chaco y, en menor medida, la Gran Chiquitania. Por su parte, los títulos de propiedad comunal se concentran significativamente en las regiones de la Amazonía, Bosque Tucumano Boliviano y Chaco (Véase, Gráfico 3).

En la Amazonía existe una significativa titulación por uso agropecuario (77 por ciento) y una elevada tenencia de la tierra bajo propiedad comunitaria y TCO. Este aspecto explica en alguna medida los menores niveles de deforestación, ya que las actividades agropecuarias en la zona son generalmente de pequeña escala y de subsistencia (PNUD, 2009). Confirmar año

En el Chaco existe un 30 por ciento de propiedad privada en la tenencia de la tierra; las haciendas, principalmente en el área chaqueña de Santa Cruz, realizan actividades pecuarias extensivas. Por su parte las sabanas del Beni se caracterizan por contar con un alto porcentaje de tierras tituladas bajo la modalidad de TCO (90 por ciento), y el principal uso de la tierra registrado es el agropecuario, según Fundación Tierra (2008).

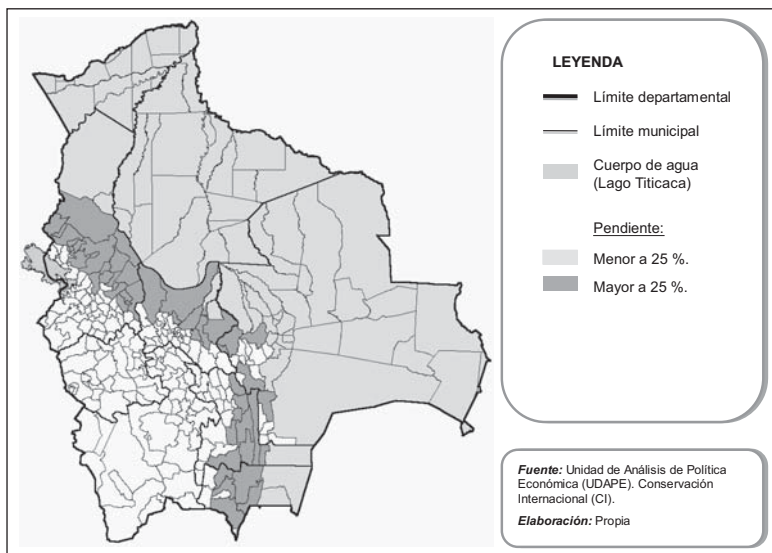
⁸ Tierras comunales tituladas de forma colectiva.

En lo que respecta a los Yungas y a la Puna de los Andes Centrales, las principales actividades en la zona son la agrícola y la agropecuaria de pequeña escala, con una alta presencia de derechos propietarios de TCO y comunidades. Esto ha incidido en los bajos niveles de deforestación registrados en relación a los estimados para la Gran Chiquitania y Central Norte Integrado.

Pendientes

Las zonas con altas pendientes –menor probabilidad de deforestación- se concentran en los departamentos de La Paz y parte de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, en tanto que las regiones con pendientes planas a moderadamente onduladas -menores al 25 por ciento del territorio- se localizan en los departamentos de Santa Cruz, Beni y Pando, así como parte del Chaco chuquisaqueño y tarijeño. En el Mapa 2 se aprecia que las regiones con altas pendientes también coinciden con áreas de bajos a medios rangos de desmonte. Para el caso de las sabanas, la presión sobre las superficies boscosas proviene por la introducción de ganadería intensiva (PNUD, 2008).

Mapa 2
Pendiente según municipio



Fuente: Elaboración propia en base a datos de *Conservación Internacional* y UDAPE.

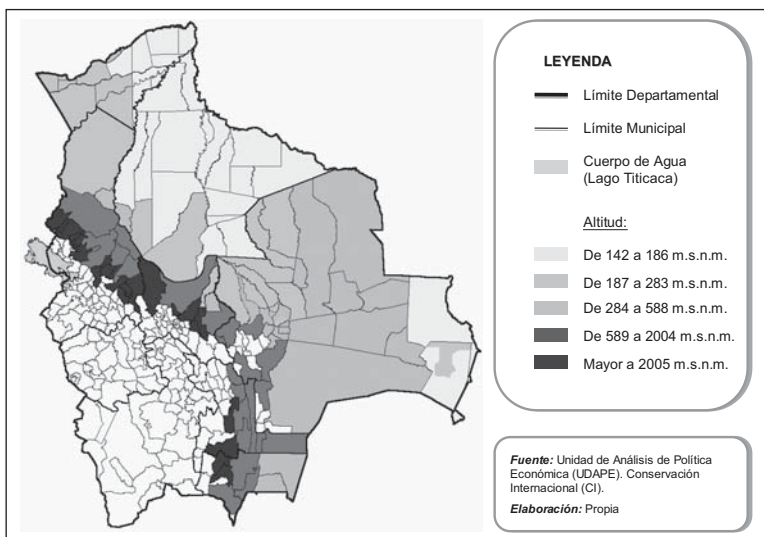
Altitud y precipitación

Empíricamente se ha identificado que las áreas con altitudes comprendidas entre 142 y 283 msnm por lo general presentan un mayor avance de la frontera pecuaria y tienen una mayor probabilidad de contar con sistemas de aprovechamiento ganadero extensivo (PNUD, 2008:303). En Bolivia hay zonas con altitudes menores a 588 msnm, ubicadas fundamentalmente en los departamentos de Pando, Beni y Santa Cruz. Es de esperar que esta condición geográfica presione sobre las superficies boscosas existentes en la región.

Se ha comprobado que en Bolivia la deforestación es menor en zonas altas, como la puna húmeda de los Andes Centrales, Yungas y Bosque Tucumano Boliviano, mientras que las regiones Central Norte Integrado y Chaco, al ser adecuadas para la producción agrícola y pecuaria intensiva y extensiva, también presentan altos índices de deforestación. La Amazonía y las sabanas del Beni, pese a que cuentan con niveles bajos de altitud, exhiben procesos de deforestación similares a los del Chaco, aspecto que se explica por las inundaciones estacionales, que no permiten la mecanización ni las actividades agropecuarias extensivas o comerciales (PNUD, 2009).

Además, es posible inferir que la relación entre deforestación y precipitación es ambigua, dado que ecoregiones con altos niveles de precipitación, como son la Amazonía y las sabanas del Beni, registran menores niveles de deforestación que zonas con bajos índices de precipitación, como la Gran Chiquitanía, Central Norte Integrado y Chaco. Esta situación se explica por una expansión de la frontera agrícola hacia áreas de buena fertilidad y adecuada precipitación (Baudoin *et al.*, 1995).

Mapa 3
Altitud según municipio



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Conservación Internacional y UDAPE.

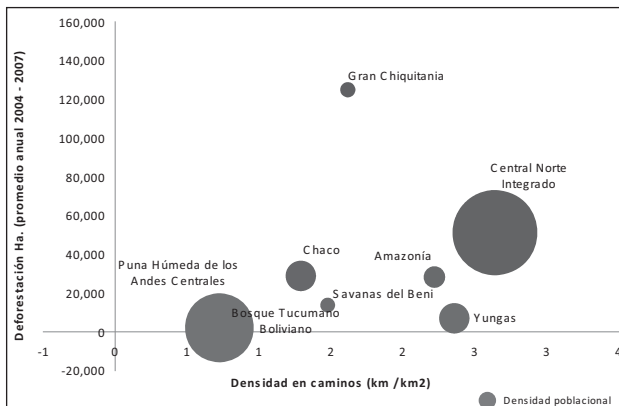
Infraestructura vial

Alrededor de las redes de caminos se extienden áreas de deforestación, las cuales se concentran en mayor proporción en el departamento de Santa Cruz, especialmente en la región Central Norte Integrado y parte de la Gran Chiquitanía. Además, estos lugares, por sus características ambientales y productivas, tienen una fuerte dinámica agropecuaria (PNUD, 2008).

Por ecoregiones, la mayor cantidad de kilómetros se concentran en la Amazonía (2,387 km), las sabanas del Beni (2.352 km.) y la Gran Chiquitanía (2,154 km). Por su parte, las regiones que exhiben una menor extensión de caminos son los Yungas, Bosque Tucumano Boliviano y Puna Húmeda de los Andes Centrales.

En base al criterio de proximidad territorial, se observa que las áreas cercanas a la ciudad de Santa Cruz -donde se localizan las actividades agrícolas intensivas de mediana a gran escala- exhiben una alta tasa de deforestación (PNUD, 2008). De igual manera, en los departamentos de Beni y Pando se registran altas tasas de deforestación en zonas próximas a carreteras principales (PNUD, 2008: 101).

Gráfico 4: Relación entre deforestación y densidad en caminos, por ecoregión



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Autoridad de Bosque y Tierra (ABT) y la Administradora Boliviana de Caminos (ABC).

4. Modelo econométrico de deforestación

Se ha contemplado la aplicación de técnicas econométricas desde un enfoque de la econometría espacial, enfoque de trabajo que se justifica por las siguientes razones:

- ♦ La deforestación es un fenómeno inherentemente espacial (Anderson, 2002: 113).
- ♦ Los datos contenidos en las variables de análisis provienen de Sistemas de Información Geográficos (SIG), los cuales, al ser agregados a nivel municipal, presentan errores de medida que requieren ser corregidos incorporando la dimensión espacial en el análisis (Vargas, 2007: 2).
- ♦ Recientemente los métodos de econometría espacial han incrementando su aplicación a diferentes áreas del conocimiento, en especial a la economía ambiental y de los recursos naturales, producto de la extensión de los sistemas de información geográfica y la necesidad de una visión espacial que contribuya de manera estratégica a los procesos de planificación, conservación y gestión de los recursos (Anselin, 1980), Moreno y Vayá, 2008).

4.1. La econometría espacial

Anselin (1999) y Moreno y Vayá (2008) señalan que la econometría espacial hace hincapié en aquellos aspectos metodológicos concernientes a los efectos espaciales, tales como

la interacción espacial (autocorrelación espacial) y la estructura espacial (heterogeneidad espacial) en los modelos de regresión de corte transversal y paneles de datos.

Autocorrelación espacial y heterogeneidad

La dependencia o autocorrelación espacial surge siempre que el valor de una variable en un lugar del espacio está relacionado con el valor en otro u otros lugares del espacio. La dependencia espacial no puede ser tratada por la econometría estándar, ello debido a la multidireccionalidad que domina las relaciones de interdependencia entre unidades espaciales.

La autocorrelación espacial puede ser positiva o negativa; si la presencia de un fenómeno determinado en una región lleva a que se extienda ese mismo fenómeno hacia el resto de regiones que la rodean, nos hallaremos ante un caso de autocorrelación positiva. Por el contrario, existirá autocorrelación negativa cuando la presencia de un fenómeno en una región impida o dificulte su aparición en las regiones vecinas a ella, es decir, cuando unidades geográficas cercanas sean netamente más disímiles entre ellas que entre regiones alejadas en el espacio. Por último, cuando la variable analizada se distribuya de forma aleatoria, no existirá autocorrelación espacial.

La heterogeneidad espacial consiste en la variación de las relaciones en el espacio. De forma general, se puede decir que existen dos aspectos distintos de heterogeneidad espacial: la inestabilidad estructural y la heteroscedasticidad. En el primer caso, la heterogeneidad espacial se refiere a la falta de estabilidad en el espacio del comportamiento de la variable bajo estudio, lo que lleva a que la forma funcional y los parámetros de una regresión puedan variar según la localización, siendo, por tanto, no homogéneos en toda la muestra. El segundo aspecto, la heteroscedasticidad, proviene de la omisión de variables u otras formas de errores de especificación que llevan a la aparición de errores de medida.

Dado que este efecto puede tratarse, en la mayoría de los casos, mediante técnicas econométricas tradicionales, el presente trabajo centra su análisis en el problema de la autocorrelación espacial.

Econometría espacial y econometría convencional

El interés en el análisis espacial surge de los efectos que se presentan a partir de un conjunto de datos de corte transversal cuyas unidades de observación corresponden a espacios

geográficos distintos (por ejemplo, cuando se cuenta con información para un conjunto de países, de departamentos o municipios de un mismo país, o de localidades de una misma ciudad, entre otros).

Recordemos que uno de los supuestos al plantear un modelo simple de regresión con datos de corte transversal es la independencia entre las observaciones. Este supuesto se pone en duda si las unidades a través de las cuales varía cada observación corresponden a espacios geográficos diferentes, ya que, como lo anotan Moreno y Vayá (2008), existe un efecto de multidireccionalidad que afecta a las unidades espaciales. En este caso no será conveniente llevar a cabo técnicas estadísticas o econométricas de análisis convencionales, pues la estimación MCO no es adecuada.

Matrices de ponderación espacial

Para incorporar en el modelo la dinámica espacial no se debe aplicar un operador de retardos, tal como sucede en el caso de la dependencia temporal, pues, a diferencia de ésta, la dependencia espacial es multidireccional (una región puede no sólo estar afectada por otra región contigua a ella, sino por otras muchas que la rodean, al igual que ella puede influir sobre aquéllas (Anselin, 1999)).

La solución al problema de la multidireccionalidad en el contexto espacial pasa por la definición de la denominada matriz de pesos espaciales o de retardos, W , una matriz cuadrada no estocástica cuyos elementos, w_{ij} , reflejan la intensidad de la interdependencia existente entre cada par de regiones i y j .

Tipos de modelos

Dentro de la econometría espacial, los modelos de regresión se pueden dividir en dos grupos, de acuerdo a la forma de dependencia espacial que haya entre las observaciones.

Es posible que el citado efecto espacial esté presente en el contexto de un modelo de regresión, ya sea como consecuencia de la existencia de variables sistemáticas correlacionadas espacialmente o como consecuencia de la existencia de un esquema de dependencia espacial en el término de perturbación.

- ♦ Modelo de retardo espacial

En caso de que la variable endógena de un modelo de regresión lineal esté correlacionada espacialmente, la solución pasa por especificar el siguiente modelo:

$$y = \rho W y + X\beta + u \quad (1a)$$

$$u \rightarrow N(0, \sigma^2 I) \quad (1b)$$

Donde:

y es un vector ($N \times 1$).

W es el retardo espacial de la variable y . W es la matriz de conexiones $n \times n$ que define la estructura de vecindades.

X es una matriz de K variables exógenas.

u representa el término de perturbación, que se asume es ruido blanco.

N hace referencia a la distribución normal.

ρ corresponde al parámetro autorregresivo que recoge la intensidad de las interdependencias entre las observaciones muestrales.

- Modelo de dependencia espacial en el término de error

De igual forma, la autocorrelación espacial podría estar únicamente presente en el término de perturbación. Ante esta situación, se deberá considerar el siguiente modelo:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (2a)$$

$$\varepsilon = \lambda W \varepsilon + u \quad (2b)$$

$$u \rightarrow N(0, \sigma^2 I) \quad (2c)$$

Donde:

λ es parámetro de dependencia espacial.

Método de estimación

Una vez definido el modelo de retardo espacial o dependencia espacial en el término de error, para la estimación de los parámetros, mayormente se aplica el método de Máxima Verosimilitud (*MV*). El punto de partida de este método es que establece como supuesto base la normalidad del término de error.

Para un modelo de dependencia espacial en el término de error, la ecuación de estimación es la siguiente:

$$\ln L = -(N/2) \ln(2\pi) - (N/2) \ln \sigma^2 + \ln |I - \lambda W| - (1/2\sigma^2)(y - X\beta)'(I - \lambda W)'(I - \lambda W)(y - X\beta) \quad (3)$$

Por su parte, la ecuación de estimación de *MV* para el modelo con retardo espacial tiene la siguiente forma:

$$\ln L = -(N/2) \ln(2\pi) - (N/2) \ln \sigma^2 + \ln |I - \rho W| - (1/2\sigma^2)(y - \rho W y - X\beta)'(y - \rho W y - X\beta) \quad (4)$$

Además de la estimación máximo-verosímil, han sido propuestos en la literatura métodos de estimación alternativos, entre los que destacan la estimación por variables instrumentales (Haining, 1978; Bivand, 1984; Anselin, 1980) o el método generalizado de los momentos (Kelejian y Prucha, 1997). Dichos métodos de estimación se revelan como notablemente más simples que la estimación *MV*, incluso cuando el tamaño muestral es elevado. Asimismo, bajo determinadas condiciones, dichos estimadores son consistentes aun cuando el término de error no siga una distribución normal.

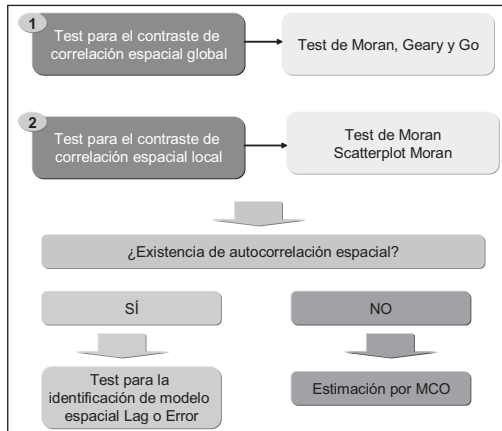
4.2. Aspectos metodológicos para la especificación del modelo

Una vez desarrollados los principales aspectos conceptuales relacionados a la econometría espacial, a continuación se describe el proceso metodológico para la especificación del modelo (de retardo o de error).

a) Metodología para la identificación de autocorrelación espacial

En el siguiente gráfico se presenta el proceso metodológico para el análisis de la correlación espacial:

Gráfico 5: Proceso metodológico para el análisis de correlación espacial

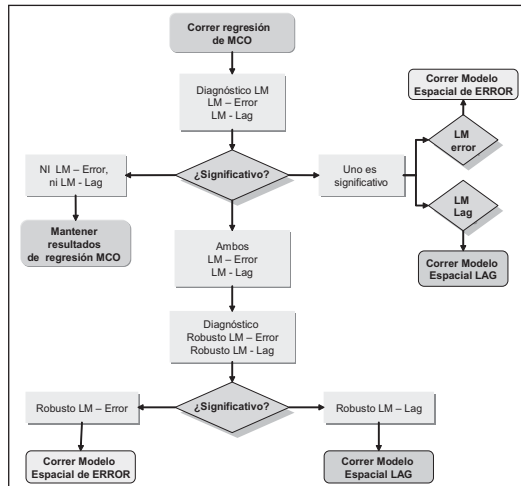


Fuente: Anselin (1999: 23).

b) Metodología para la identificación del modelo a estimar (lag o error)

Una vez identificada y validada estadísticamente la presencia de autocorrelación espacial, se procede a la definición del tipo de modelo que más se ajusta: de retardo espacial o de dependencia en el término de error.

Gráfico 6: Proceso de decisión para la definición del tipo de modelo espacial



Fuente: Anselin (1999: 23).

Para ello se aplican los test de LM (Multiplicador de Lagrange) – Lag y LM error, así como sus correspondientes robustos, los cuales permiten identificar el modelo a ser estimado.

En primer lugar, estimaremos la ecuación por MCO. Posteriormente se calcularán los contrastes de autocorrelación espacial. En caso de que a partir de dichos contrastes se rechace la hipótesis nula, aceptaremos la ecuación estimada por MCO, concluyendo que no existe ningún tipo de interdependencia entre las regiones. Si, por el contrario, el contraste I de Moran y el LM-ERR y su asociado robusto LM-EL fueran significativos, o al menos estos dos últimos mostrasen una probabilidad menor que la del test LM-LAG y su robusto LM-LE, estimaríamos el modelo del error espacial por máxima verosimilitud, donde el parámetro autorregresivo “ λ ” mediría la intensidad de la dependencia espacial entre los residuos.

Si el contraste I de Moran y el LM-LAG y su asociado robusto LMLE fueran significativos, o al menos estos dos últimos tuvieran un valor de la probabilidad menor que el LM-ERR y su robusto LM-EL, el modelo adecuado a estimar sería aquél que incluyera un retardo espacial de la variable endógena, habiendo de ser estimado también por máxima verosimilitud y donde el parámetro “ γ ” mediría la intensidad de las dependencias entre regiones vecinas.

5. Resultados

5.1. Especificación del modelo

Una vez comprendidos los aspectos conceptuales y metodológicos de la econometría espacial, en el presente apartado se realiza la aplicación de esta metodología para el análisis de la deforestación en Bolivia.

Para ello se desarrolla, en una primera instancia, la Matriz de Ponderación Espacial (MPE), para que en base a ésta se logren estimar los correspondientes test de autocorrelación espacial global y local, así como los contrastes para la identificación del modelo espacial. Se concluye el proceso con la descripción del modelo a estimar y de sus correspondientes variables.

c) Matriz de Ponderación Espacial (MPE)

Dicha matriz toma la forma de:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \cdot & w_{1n} \\ w_{21} & 0 & \cdot & w_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdot & 0 \end{bmatrix}$$

Donde w_{ij} representa la interdependencia existente entre las regiones i y j , las mismas que son estocásticas y exógenas al modelo (Pérez, 2006).

Con respecto a cómo definir los mencionados pesos, cabe destacar que no existe una definición unánimemente aceptada, si bien se ha de cumplir que dichos pesos sean no negativos y finitos (Anselin, 1980). A pesar de ello, de forma habitual se recurre al concepto de contigüidad física de primer orden, utilizado inicialmente por Moran (1948) y Geary (1954), donde w_{ij} es igual a 1 si las regiones i y j son físicamente adyacentes, o 0, en caso contrario (se asume por definición que $w_{ii} = 0$).

Éste es el criterio que se adopta en el presente estudio, dado que no se cuenta con información sobre distancias. Por ende, la composición de W determina la relación espacial de los municipios, y por ende las conexiones entre los mismos, es decir, se supone que existe comunicación de cada municipio con los vecinos con los que limita.

Teniendo en mente lo anterior, la MPE construida es una matriz cuadrada de 102 x 102. Los municipios considerados en el estudio forman parte de los departamentos de Pando, Beni, Santa Cruz y el norte de La Paz.

a) Variables a utilizarse

Antes de la estimación del modelo, es relevante realizar algunas precisiones sobre las variables consideradas en el modelo:

- **Deforestación.** Para el caso de la deforestación se han considerado dos tipos de variables:
- **Deforestación 2007.** Es el número de hectáreas deforestadas (calculadas a través de imágenes satelitales). Esta variable permite observar los procesos de deforestación en el corto plazo (Anderson *et al.*, 2002).
- **Deforestación acumulada del período 2004–2007.** Número de hectáreas acumuladas. Recoge el proceso de deforestación en el largo plazo (Anderson, 2009).
- Todas las variables explicativas corresponden al año 2007.

Infraestructura vial. Para observar el impacto de la infraestructura vial sobre los procesos de deforestación, se contempla la variable: densidad en caminos: Kms de caminos primarios y secundarios/kms cuadrados.

Características ambientales. Las variables contempladas en este ámbito de análisis son: i) precipitación promedio mensual, medida en términos de cm cúbicos y ii) la pendiente o grado de inclinación del municipio. No se introduce en el modelo la variable altitud, ya que ésta presenta altos niveles de autocorrelación con precipitación y pendiente.

Derechos propietarios. Para el caso de los derechos propietarios se han considerado las siguientes variables: propiedad privada y propiedad comunal, ambas medidas en número de hectáreas tituladas bajo dichas modalidades.

Población. En relación a los aspectos demográficos, se han considerado la densidad demográfica (hab./km²) y la categorización de tamaños de población utilizados por la Federación de Asociaciones Municipales de Bolivia⁹.

b) Test de autocorrelación global y local

Autocorrelación global

Los estadísticos globales de autocorrelación constituyen la aproximación más tradicional al efecto de dependencia espacial, permitiendo contrastar la presencia o ausencia de un esquema de dependencia espacial a nivel univariante, es decir, contrastar si se cumple la hipótesis de que una variable se encuentra distribuida de forma totalmente aleatoria en el espacio o si, por el contrario, existe una asociación significativa de valores similares o disímiles entre regiones vecinas.

Para realizar los contrastes de hipótesis de no existencia de autocorrelación espacial, se utilizan los estadísticos de I- Moran y Getis&Ord´s.

Cuadro 1
Medidas de autocorrelación global Moran's (I), Getis&Ord's (G)

Variables	I	p-value
Deforestación 2007	0.320	0.000
Deforestación acumulada	0.376	0.000
	G	p-value
Deforestación 2007	0.207	0.000
Deforestación acumulada	0.152	0.000

Fuente: Elaboración propia.

⁹ De acuerdo a su población, los municipios se dividen en cuatro categorías: A (hasta 5 mil habitantes), B (de 5 a 15 mil habitantes), C (de 15 a 50 mil habitantes) y D (más de 50 mil habitantes).

Para poder comprender los cálculos descritos en el Cuadro 1, es importante establecer criterios que orienten la lectura de los resultados:

- ♦ El test de Moran (I) establece como hipótesis nula la no correlación espacial, por lo que un valor significativo positivo (negativo) del estadístico estandarizado $Z(I)$ informará sobre la presencia de un esquema de autocorrelación espacial positiva (negativa), es decir, la presencia de valores similares (disimiles) de la variable entre regiones vecinas.
- ♦ Por su parte, Getis& Ord es una medida de la concentración espacial de una variable. Un valor positivo y significativo indica la existencia de una tendencia de concentración de valores elevados de la variable en el espacio analizado.

Teniendo en mente lo anterior, y ante las estimaciones realizadas en cada uno de los test, para el caso de la deforestación 2007 y la acumulada para el período 2004–2007, se puede concluir, que las variables presentan autocorrelación espacial positiva, dada la significancia de los índices de Moran y Getis& Ord, lo que implica la presencia de valores similares y la existencia de una concentración de los mismos.

Autocorrelación local

Dado que los tests de autocorrelación espacial global analizan todas las observaciones de la muestra de forma conjunta, no resultan sensibles a situaciones donde predomine una importante inestabilidad en la distribución espacial de la variable objeto de estudio, es decir, no contemplan la posibilidad de que el esquema de dependencia detectado a nivel global pueda no mantenerse en todas las unidades del espacio analizado.

Dicha limitación es fácilmente superable por medio de una aproximación más formal a la visualización de la dependencia espacial (scatterplot de Moran). El scatterplot de Moran es un tipo de gráfico que muestra en el eje de abcisas las observaciones de la variable normalizada y en el de ordenadas el retardo espacial de la misma también normalizado.

Gráfico 7: Scatterplot de Moran para la deforestación acumulada

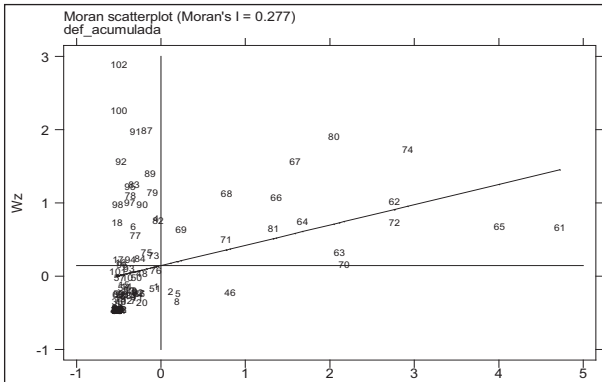
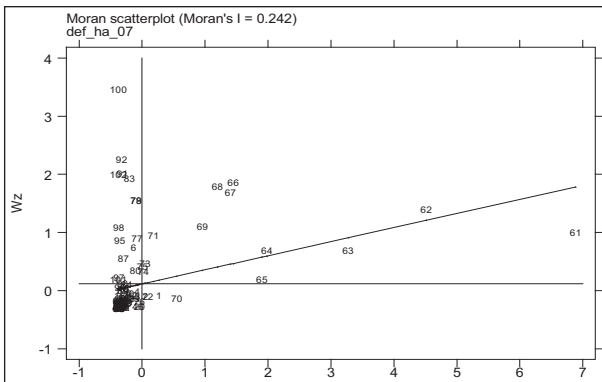


Gráfico 8: Scatterplot de Moran para la deforestación en 2007



Los cuatro cuadrantes reproducen diferentes tipos de dependencia espacial. Si la nube de puntos está dispersa en los cuatro cuadrantes es indicio de ausencia de correlación espacial. Si por el contrario los valores se encuentran concentrados sobre la diagonal que cruza los cuadrantes I (derecha superior) y III (izquierda inferior), existe una elevada correlación espacial positiva de la variable, coincidiendo su pendiente con el valor de la I de Moran. La dependencia será negativa si los valores se concentran en los dos cuadrantes restantes.

Con el análisis de correlación espacial local se comprueba la existencia de una dependencia espacial positiva, dada la concentración de puntos en el cuadrante 3. Esto implica que los vecinos son similares y la estructura espacial es compatible con el concepto de difusión, es

decir, que municipios con altos niveles de deforestación se encuentran en áreas donde los procesos de deforestación son significativos (Vargas, 2007).

c) Test de diagnóstico de identificación del modelo

Una vez evidenciada la existencia de autocorrelación espacial, a partir de los test globales y locales de dependencia espacial, el siguiente paso es elegir el modelo espacial más adecuado. Para ello se aplican los test LM y sus Robustos, en base al proceso de decisión definido en la metodología para la identificación del modelo.

Producto de dicha aplicación se encuentran los siguientes resultados:

Cuadro 2
Test LM y LM robusto de deforestación (2007)

Test	Estadístico	p-value
Spatial error		
Lagrangemultiplier	4.184	0.041
RobustLagrangemultiplier	0.085	0.771
Spatiallag		
Lagrangemultiplier	6.753	0.009
RobustLagrangemultiplier	2.654	0.103

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3
Test LM y LM robusto de deforestación acumulada (2007)

Test	Estadístico	p-value
Spatial error		
Lagrangemultiplier	4.452	0.035
RobustLagrangemultiplier	0.044	0.833
Spatiallag		
Lagrangemultiplier	6.846	0.009
RobustLagrangemultiplier	2.438	0.118

Fuente: Elaboración propia.

Los estadísticos LM error y de retardo (lag) son significativos tanto para la variable deforestación en 2007, como para la variable deforestación acumulada para el período 2004-2007. En ambos casos se elige el modelo de rezago espacial, ya que tanto el estadístico LM como el LM robusto son menores a los encontrados en el modelo de error espacial. A continuación se presentan los resultados de la estimación.

Cuadro 4
Resultados de la estimación de los modelos

Ámbitos de análisis	Variables	Mínimos cuadrados ordinarios			Modelo espacial de retardo
		Deforestación 2007	Deforestación acumulada 2004-2007	Deforestación 2007	Deforestación acumulada 2004-2007
Características ambientales	Precipitación	*-57,80372		** -45,64381	
	Pendiente	** -42,72716	** -73,34981	*** -30,25399	*** -39,26915
Infraestructura vial	Densidad en mts./km2	** -19,47858		** -19,99721	
Derechos propietarios	Propiedad privada	*0,0775366	*0,14592	*0,078195	*0,14711
Población	Población entre 15000 y 50000	**3051,82	*11657,03	**2888,303	*10367,21
Estadísticos de análisis MCO					
Número de observaciones		102	102	102	102
R2		0,59	0,5393		
R2 ajustado		0,5686	0,5153		
Estadísticos Espacial lag					
Rho				***0,12509	**0,21071
log likelihood				-1.019,6219	-1.098,4647

* significativo al 1%, ** significativo al 5%, ***no significativo

Análisis general

Las estimaciones realizadas a través de mínimos cuadrados ordinarios y por el modelo espacial de retardos, para la deforestación del año 2007, muestran que las características ambientales, la infraestructura vial, los derechos propietarios y los aspectos demográficos son determinantes de la deforestación.

Para el caso de la deforestación acumulada en 2007, las estimaciones realizadas por MCO establecen que las características ambientales, los derechos propietarios y los aspectos demográficos son los determinantes de la deforestación. En el modelo de rezago espacial dejan de ser relevantes las características ambientales.

El parámetro rho en el modelo 2007 es no significativo, lo que significa que el modelo que no captura la dependencia espacial, y esta se transmite a los residuos. Esto no implica que no exista dependencia espacial (el efecto espacial no es capturado, pero los test de Moran, Gets y Ord si lo evidenciaron).

Por otra parte, rho es significativo en el modelo de rezago espacial para la deforestación acumulada, lo que significa que existen áreas de concentración de la deforestación. Esto se explica fundamentalmente por las dinámicas productivas agropecuarias existentes en las diferentes zonas analizadas.

En relación a los signos esperados y los encontrados, a continuación se hace un análisis específico para cada una de las variables consideradas en el modelo.

Análisis específico por variable

- ♦ Infraestructura vial.

Desde una perspectiva teórica se esperaría que, a medida que se incremente la densidad en caminos, exista mayor presión sobre el bosque, aumentando, de esta forma, la probabilidad de deforestación (Kaimowitz y Angelsen, 1998; Wunder, 2001; Rosero-Bixby y Palloni, 1997).

La evidencia nos presenta un signo negativo, lo que contradice a la teoría planteada. Sin embargo, este fenómeno encuentra su explicación en los siguientes factores:

- ♦ El Instituto Internacional de Economía y Empresa (2009), en un estudio realizado para el Programa de Cambios Climáticos sobre la deforestación en Bolivia a nivel municipal encontró que:

la existencia de buenos caminos no tiene tanta importancia para la intensidad de deforestación, ya que existían municipios con pocos caminos y una baja deforestación, pero los municipios con altas intensidades de deforestación no están entre los municipios con mayor densidad, ni mayor extensión, de caminos, y los municipios con la mayor cantidad de caminos todos tienen bajas intensidades de deforestación. Esto último se debe en muchos casos al hecho de que ya se ha deforestado casi todo el bosque en los municipios con una buena red caminera, pero Caranavi y Chulumani, por ejemplo, tienen una buena red caminera, y aunque todavía queda mucho bosque en éstos, la intensidad de deforestación es baja (IIDEE, 2009: 13).

- ♦ Existen áreas donde existen mayores niveles de deforestación; sin embargo, por la dimensión del territorio, la densidad en caminos es muy baja. No obstante, las condiciones ambientales, la dinámica de las actividades productivas agrícolas y pecuarias de la zona, definen muchas veces los procesos de la deforestación.

Características ambientales.

Se evidencia que la pendiente es un factor determinante de la deforestación, ya que áreas con niveles de pendiente arriba de 25 por ciento representan un mayor costo para el cambio de usos y para la realización de actividades agrícolas o pecuarias.

En el caso de la precipitación, se esperaba una relación positiva, es decir, que mayores niveles de precipitación se correspondieran con mayores niveles de deforestación, dadas las condiciones de disponibilidad de agua necesarias para el desarrollo de la actividad ganadera y agrícola. Sin embargo, el hecho de que los resultados hayan presentado una relación inversamente proporcional se debe a que, en la realidad, zonas con altos niveles de precipitación, como son las sabanas benianas o la puna húmeda de los Andes tropicales, son áreas donde no se concentran los mayores niveles de deforestación. Al contrario, la concentración de la deforestación se ha dado más en áreas con bajas a medios niveles de precipitación, como son la Chiquitanía y el Central Norte Integrado.

- ♦ Densidad poblacional.
- ♦ Bolivia en general presenta áreas con bajos niveles de densidad. Al contrastar esta variable con la deforestación, se encuentra que no es significativa. Esto es evidente dado que investigaciones realizadas por el IIIDE (2009) establecen que

Los altos niveles de intensidad de deforestación se encuentran solamente en municipios con una población rural muy dispersa (menos de 10 habitantes rurales por km²). En cambio, los municipios que ya se han poblado con gente y donde la tierra ya se ha distribuido entre los habitantes, allí se encuentran bajas intensidades de deforestación (IIIDE, 2009).

Al incorporar en el modelo la categoría de población C¹⁰ definida por FAM, se evidencia que los municipios que están en dicha categoría de población son los que generaron, para el período 2004–2007, el mayor nivel de deforestación.

- ♦ Derechos propietarios.

En relación a los derechos propietarios, se esperaba que ante la presencia de derechos propietarios bien definidos, tanto privados como comunales, los procesos de deforestación se redujeran. En la práctica se evidencia una relación positiva, lo cual significa que, a medida

10 De 15.000 a 50.000 habitantes.

que existe más propiedad privada se generan mayores procesos de deforestación, justificando de esta forma lo planteado por la Unión Mundial para la Naturaleza, según la cual se plantea la tragedia de privados.

6. Conclusiones

Tanto las estimaciones realizadas a través de mínimos cuadrados ordinarios como por el modelo espacial de retardos, para la deforestación del año 2007, muestran que las características ambientales, la infraestructura vial, los derechos propietarios y los aspectos demográficos **son determinantes** de la deforestación.

Se ha evidenciado que la variable deforestación presenta autocorrelación espacial con altos grados de concentración. Es decir que existen zonas donde se registran altos niveles de deforestación acompañados por otras áreas geográficas donde se registran muy bajos índices de deforestación.

En relación a los derechos de propiedad, se verifica la existencia de una tragedia de los privados, ya que la presencia de propietarios privados es significativa en los procesos de deforestación.

Una de las lecciones sobre los derechos de propiedad es que el establecimiento de derechos formales de propiedad no es suficiente para promover la conservación de los recursos naturales, especialmente cuando otras políticas públicas estimulan estrategias de corto plazo.

Se ha verificado que la variable población no es significativa estadísticamente. Sin embargo, la teoría y el análisis cualitativo realizado muestran que los asentamientos humanos generalmente se han constituido en variables endógenas al proceso de deforestación, ya que dichos procesos de colonización en áreas de bosque generalmente se han dado a partir de la generación de condiciones de infraestructura y de empleo.

Se evidencia que la pendiente es un factor determinante de la deforestación. En el caso de la precipitación, se esperaba una relación positiva, es decir, que mayores niveles de precipitación se correspondieran con mayores niveles de deforestación, dadas las condiciones de disponibilidad de agua necesarias para el desarrollo de la actividad ganadera y agrícola. Sin embargo, el hecho de que los resultados hayan presentado una relación inversamente

proporcional se debe a que, en la realidad, zonas con altos niveles de precipitación, como son las sabanas benianas o la puna húmeda de los Andes tropicales, son áreas donde no se concentran los mayores niveles de deforestación. Al contrario, la concentración de la deforestación se ha dado más en áreas con bajas a medios niveles de precipitación, como son la Chiquitanía y el Central Norte Integrado.

A modo de conclusión, es posible inferir que cuando se hace el análisis de la infraestructura vial a partir de la densidad de caminos, se observa que las zonas con una gran extensión no cuentan con una densidad en caminos significativa, lo que implica que existen zonas en dichas regiones que son aún poco accesibles, lo que incide en los costos de transporte. Sin embargo, en el caso particular de la Gran Chiquitanía, pese a contar con menor densidad en caminos en relación a la Amazonía y los Yungas, su articulación al Central Norte Integrado incide en las propias actividades realizadas en dicha región, y por ende en las decisiones de uso de suelo y los procesos de deforestación.

Ante la evidencia mostrada en el presente estudio, se ha logrado identificar los siguientes vacíos de investigación, según algunas temáticas de relevancia.

Deforestación y cambio climático

Según datos oficiales de las Naciones Unidas y el IPCC, entre un 10 a 25 por ciento de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero se producen por la deforestación. Por ende, un análisis de los costos de oportunidad de la deforestación en regiones específicas brindaría las pautas generales para la implementación de mecanismos tipo REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación evitada).

Deforestación y derechos propietarios y otros aspectos institucionales

Para comprender adecuadamente el vínculo entre deforestación y los derechos de propiedad, es menester realizar más investigaciones empíricas en profundidad. Igualmente, la realización de estudios sobre la responsabilidad y capacidad institucional de los municipios en temas de gestión forestal y reducción de la deforestación, es relevante para las políticas públicas.

Deforestación y población

Producto de la investigación se ha identificado la necesidad de realizar estudios a profundidad en relación a la deforestación y la población, considerando en próximas investigaciones los efectos migratorios.

Deforestación y modelo micro

Análisis sobre los factores que determinan las decisiones e incentivos de deforestación a nivel de hogares de las comunidades en áreas concretas de análisis.

Deforestación y otros aspectos relevantes

Evidentemente, existen otros factores (históricos, económicos y políticos) que afectan el proceso de deforestación en Bolivia. La investigación futura deberá evaluar la posibilidad de incorporar este tipo de variables en un modelo de econometría espacial.

Artículo recibido en: septiembre de 2010

Manejado por: ABCE

Aceptado en: marzo de 2011

Referencias

1. Alston, Lee J, Gary D. Libecap y Robert R. Schneider. (1995). "*A Property Rights and the Preconditions for Markets: The case of the Amazon Frontier*". *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 15:89- 107.
2. Anderson, C. (2002). "*Self-organization in relation to several similar concepts: are the boundaries to self-organization indistinct?* *Biological Bulletin* 202: 247-255.
3. Anselin, L. (1980). "*Estimation methods for spatial autoregressive structures*". Regional Science Dissertation and Monograph Series 8. Field of Regional Science, Cornell University, Ithaca, N.Y.
4. Anselin, L. (1988). "*Spatial Econometrics: Methods and Models*". Kluwer Academic, Dordrecht.
5. Anselin, L. (1999). "*Spatial Econometrics*". Bruton Center. School of Social Sciences. University of Texas at Dallas. Estados Unidos.
6. Anselin, L. (2002). "*Spatial Externalities, Spatial Multipliers and Spatial Econometrics*". Regional Economics Applications Laboratory (REAL) and Department of Agricultural and Consumer Economics University of Illinois, Urbana-Champaign Urbana, IL 61801.USA.
7. Baudoin, L., S. Piry y J. M. Cournot. (1995). "*Analytical Bayesian Approach for Assigning Individuals to Populations*".
8. BID. (2000). "Desarrollo más allá de la economía". Prefacio. En: *Desarrollo más allá de la economía: progreso económico y social en América Latina*. Washington D.C. Estados Unidos. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
9. Bivand, R. S. (1984). "*Regression modeling with spatial dependence: an application of some class selection and estimation methods*". *Geographical Analysis*, 16:25–37.
10. Bonilla, J. (1985). *Situación ambiental de Costa Rica*. Ministerio de Cultura, Salud y Deportes. Costa Rica.

11. Butler, J. R. y H. Ogendo. (1994). *Geografía económica: aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México: Noriega.
12. Chomitz, K.M. y D.A. Gray. (1996). "Roads, lands, markets, and deforestation, a spatial model of land use in Belize". *World Bank Economic Review*, 10: 487-512.
13. Cropper, M., C. Griffiths y M. Mani (1997). "Roads, population pressures, and deforestation in Thailand, 1976-89". *Policy Research*. Working Paper N° 1726. World Bank, Washington, DC.
14. Deininger, K. y B. Minten. (1996). "Poverty, Policies and Deforestation: The case of Mexico". Research Project on Social and Environmental Consequences of Growth – oriented Policies, Working Paper N° 5. Policy Research Department. World Bank. Washington, DC. Estados Unidos.
15. Deininger, J., Bart Minten y Christopher B. Barrett. (2008). "Agricultural Technology, Productivity, and Poverty in Madagascar". *World Development*, Elsevier, 36(5), 797-822, May.
16. FAO. (2006). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. La erradicación del hambre en el mundo: evaluación de la situación diez años después de la cumbre mundial de la alimentación*. Informe Departamento Económico y Social.
17. Fundacion Tierra. Regional Altiplano. (2008). *Gestión territorial comunitaria. Experiencias en las comunidades de las tierras altas de Bolivia*. Informe.
18. Geary, R. (1954). "The contiguity ratio and statistical mapping". *The Incorporated Statistician* (5), 115-145.
19. Haining, R.P. (1978). "A Spatial Model for High Plains Agriculture". *Annals of the Association of American Geographers*, 68 (4), 493–504, December.
20. Hartshorn, G. (1997). *Costa Rica: perfil ambiental*. San José, Costa Rica.
21. IIDEE. (2009). *Consultoría para la incorporación del país en los mecanismos de incentivos para la reducción de las emisiones de CO2 de la deforestación*

- en el ámbito nacional*. Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). La Paz. Bolivia: Instituto Internacional de Economía y Empresa (IIDEE).
22. Jaramillo, C. y T. Kelly. (2000). *La deforestación y los derechos de propiedad en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
 23. Kaimowitz, David y Arild Angelsen. (1998). *Economic Models of Tropical Deforestation. A review*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
 24. Kaimowitz, D. y A. Angelsen. (1999). *Economic Models of Tropical Deforestation: A review*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
 25. Kant, S. y A. Redantz. (1997). "An econometric model of tropical deforestation". *Journal of Forest Economics*, (3) 51–86.
 26. Kelejian, Harry H. e Ingmar R. Prucha. (2007). "HAC estimation in a spatial framework". *Journal of Econometrics*, 140 (1), 131-154. Analysis of spatially dependent data. 2007
 27. Krutilla, K., W.F. Hyde y D. Barnes. (1995). "Peri-urban deforestation in developing countries". *Forest Ecology and Management*, 74, 181-95. United States.
 28. Lambin, E.F. (1997). "Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions". *Progress in Physical Geography*, 21, 375-93. Bruselas.
 29. Mahar, D. y Robert Schneider. (1994). *Incentives for Tropical Deforestation: Some Examples from Latin America*. En K. Brown y D. W. Pearce (Eds). *The Causes of Tropical Deforestation*. Londres: University College London Press.
 30. Moran, P. (1948). "The statistical distribution of the length of a rubber molecule". *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 44, 342-344 doi:10.1017/S030500410002435X.
 31. Moreno, R. y E. Vayá. (2008). "Econometría espacial: nuevas técnicas para el análisis regional. Una aplicación a las regiones europeas". Investigaciones Regionales. Universidad de Barcelona. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Barcelona, España.

32. Muñoz, A. (2006). *Apuntes de la audiencia técnica. Avances de la deforestación en Bolivia*. Superintendencia Forestal. Proyecto Bolfor II. Santa Cruz, Bolivia
33. Pacheco, P. (2004). *Las fronteras agrícolas en el trópico boliviano: entre las situaciones heredadas y los desafíos del presente*. Indonesia: Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Investigador asociado, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Brasil.
34. Pérez, J. (2006). "Econometría espacial y ciencia regional". *Investigación Económica*. 65 (258). Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
35. Pérez, S. y F. Protti. 1978. *Comportamiento del sector forestal durante el período 1950-1977*. San José, Costa Rica: Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria.
36. PNUD (2008). "Más allá del impase entre desarrollo y conservación". En *La otra frontera: usos alternativos de recursos naturales en Bolivia*. (pp. 29 – 85). Informe Nacional sobre Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La Paz. Bolivia.
37. Rojas, D., I. Martínez, W. Cordero y F. Contreras (2003). *Tasa de deforestación de Bolivia: 1993–2000*. Superintendencia Forestal. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
38. Rosero-Bixby, L. y A. Palloni. (1997). *Población y deforestación en Costa Rica*. Academia Nacional de Ciencias. Programa Centroamericano de Población. Costa Rica.
39. Southgate, D. 1990. "The Causes of Land Degradation along "Spontaneously" Expanding Agricultural Frontiers in the Third World". *Land Economics*. United States. 66:1, 93 - 101.
40. Thünen, Johann Heinrich von. (1867). *Isolierte Staat in Baziellung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*.
41. Vargas, M. (2007). *A spatial study about municipal poverty in Bolivia*. Unidad de Análisis de Políticas Económicas (UDAPE). PNUD. Munich Personal RePEc Archive.

42. Wachholtz, R. (2006). *Avance de la deforestación mecanizada en Bolivia: tasa anual de deforestación mecanizada en los años 2004 y 2005*. Proyecto: Combate a la Deforestación ilegal e Incendios del bosque boliviano (CDI). USAID/TNC. BOLFOR II. CIM-GTZ. Santa Cruz, Bolivia.
43. Wunder, S. (2001). *Economics of deforestation*. CIFOR.
44. Yiridoe, E. y D. Nanang. (2001). *An econometric analysis of the causes of tropical deforestation: Ghana*. Nova Scotia Agricultural College. Canadá.