



*Instituto de Investigaciones Socio Económicas*

Documento de Trabajo No. 17/10  
Diciembre 2010

**Deforestación en Bolivia: Una Aproximación Espacial**

*por:*  
*Javier Aliaga Lordemann,*  
*Horacio Villegas Quino y*  
*Daniel Leguía*

**Palabras Clave:** Bolivia, Deforestación y Econometría Espacial  
**CLASIFICACIÓN JEL:** C01, L73

## **Deforestación en Bolivia: Una Aproximación Espacial**

### **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 degradación del suelo entre otros (Kaimowitz et. al., 2009: 1). 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, Pablo 2004).

También, se ha detectado que el acceso a infraestructura de carretas incrementa la probabilidad de deforestación (Kaimowitz. 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 el lugar donde los agentes deforestan (Kaimowitz 1998)

En este sentido, Bolivia se constituye en un caso fundamental de estudio – aproximadamente el 50% del territorio tiene vocación forestal – 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 presenta un conjunto de variables (camino, derechos propietarios, características físicas 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 físicas ambientales sobre la deforestación. El documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se hace una aproximación conceptual al tema forestal mientras que en la sección 3 se examina la deforestación en Bolivia. En la cuarta sección se presenta el modelo econométrico utilizado, la sección 5 presenta los resultados y la sexta sección muestra 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, Sven Wunder (2000) 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 solo 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 la 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 (2008) 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 tierra<sup>1</sup> y la segunda en la densidad de carbono. Según el PNUD (2009) 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, Rolf, 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), que 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, Emmanuel; Manang, David 2001).

El segundo, es el enfoque de Kaimowitz y Angelsen (1998) que 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

---

<sup>1</sup> 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)”.

escala de análisis (macro,<sup>2</sup> meso y micro). De esta forma se cuenta con una estructura teórica y variables que permite 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 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, 1983; Pérez y Protti, 1978 el eslabón causal que permite entender como la presión demográfica incide sobre la tierra, está relacionada con las políticas de gobierno que favorecen los asentamientos y colonización de tierras públicas. En los trabajos elaborados por Southgate et al. (1991) 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 para productos agrícolas.

#### *Derechos Propietarios*

Según, Jaramillo et al (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

---

<sup>2</sup> La escala a nivel micro que consideran 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 a nivel nacional y mundial.

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; Palloni, 1998. Del 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 2008).

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 (1994) la geografía hace énfasis en las distribuciones espaciales y ambientales de las actividades económicas.

La dinámica de la geografía económica y su incidencia en las actividades económicas y de uso de la tierra para Butler (1994) 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 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 se sitúen a diferentes distancias. De esta manera los productos se transportarán 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, Sven, 2000). La mayoría de los estudios [Southgate et al. (1991), Krutilla et al. (1995), Deininger and 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 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 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 los costos de producción*

Butler (1994) señala que los costos de producción y transporte están relacionados con el grado de la 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 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 Bolivia**<sup>3</sup>

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 las 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 abarca los bosques que se encuentran en la cuenca del Amazonas. Esta 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° a 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

---

<sup>3</sup> Esta sección está basada en Montes de Oca, 2007.

suelo, este generalmente se usa para aprovechamiento de madera, goma, castaña, frutas silvestres y agricultura en pequeña escala.

Segundo, la Gran Chiquitanía es uno de los bosques secos más ricos en especies de plantas a nivel global. El clima se caracteriza por tener precipitaciones entre 600 mm a 1300 mm anuales y una temperatura promedio anual que varía entre 21° a 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 a 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.

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

Sexto, la zona de los Yungas está cubierta de bosques que van desde los denominados “bosques nublados”<sup>4</sup> de 2800 a 3600 msnm, pasando por el “bosque húmedo montañoso” de 1200 a 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 es una zona seca con precipitaciones que fluctúan entre los 1000 mm y 1700 mm por año y temperaturas promedio que oscilan entre 10° a 23° C. En cuanto al uso del suelo esta zona se caracteriza por ser apta para el aprovechamiento de madera, actividad agrícola y de pastoreo.

Octavo, la Puna de los Andes Centrales se caracteriza por contar con niveles de precipitación de 900 mm a 1400 mm por año, con una temperatura promedio anual de 11° C y una altitud de 3,376 m.s.n.m. Esta zona además presenta niveles de pendientes arriba del 80%, lo cual dificulta el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas extensivas.

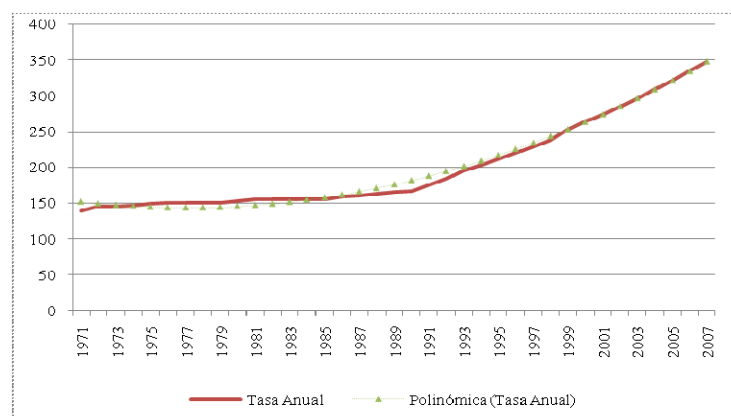
### 3.2. La deforestación en Bolivia

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% equivalente a 168.012 hectáreas por año (Wachholtz, Rolf. et. al. 2006: 34). Entre 1993 y 2000 el promedio se incrementó en 89% a 270.000 hectáreas por año (Rojas, Donato. et. al. 2003: 10). Para los años 2004 y 2005 en áreas iguales o mayores a 5,3 hectáreas se registraron 276.000 y 281.283 hectáreas deforestadas respectivamente. Cuando consideramos el resto de desmontes menores la cifra se estima que puede alcanzar hasta medio millón de hectáreas (Muñoz, Alain. 2008: 1), Véase, Gráfico 1.

---

<sup>4</sup> Son bosques cuya superficie se encuentra por encima del nivel de las nubes.

**Gráfico 1: Evolución de las Tasas de Deforestación en Bolivia**

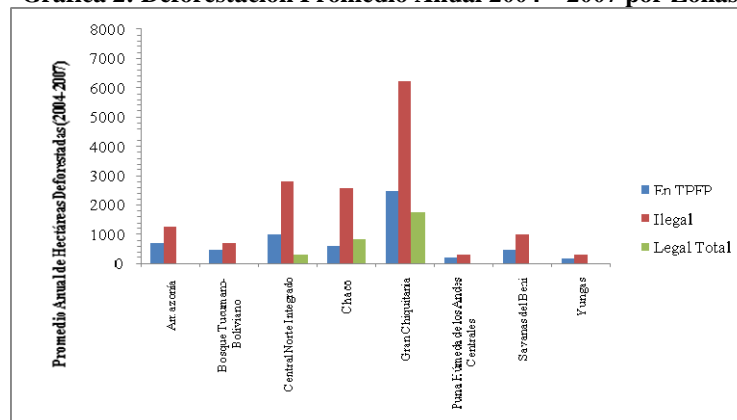


Fuente: Elaboración propia en base a datos de UDAPE

Las áreas donde se registra la mayor cantidad de deforestación anual es la Chiquitanía.<sup>5</sup> En segundo lugar se encuentra la región Central Norte Integrado, conformada por 18 municipios. Por su parte en los Yungas<sup>6</sup> y la Amazonía<sup>7</sup> -regiones con la mayor cantidad de municipios -representan solo el 13.5% del total deforestación promedio del período. En el caso del Chaco se registra el 11% de la deforestación promedio del período. Mientras que en las Sabanas del Beni la deforestación representa el 5% promedio del período (Véase, 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.

**Gráfica 2: Deforestación Promedio Anual 2004 – 2007 por Zonas**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de UDAPE1000

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

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

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



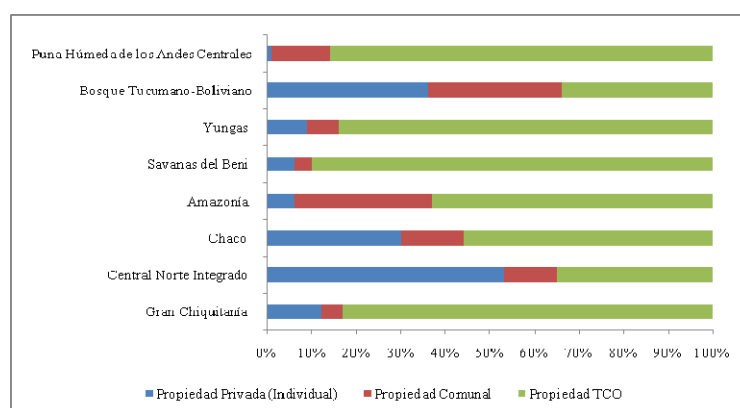
El Mapa 1, permite observar en que rango de deforestación se encuentra cada municipio y en qué departamento se registra el mayor nivel de deforestación. Es evidente que el departamento de Santa Cruz (Gran Chiquitanía) en color guindo presenta el mayor nivel de deforestación. Mientras que el nivel más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

### *Derechos de propiedad*

Al agrupar los diferentes tipos de derecho por propiedad privada, propiedad comunal y Tierra Comunitaria de Origen<sup>8</sup> (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% a 90% del área - cuentan con alguna titulación bajo denominación de TCO.

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 Chiquitanía. Por su parte, los títulos de propiedad comunal se concentran significativamente en las regiones de la Amazonía, Bosque Tucumano Boliviano y Chaco (Véase, Gráfica 3).

**Gráfica 3: Derechos de propiedad por tipo de título y ecoregión**



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

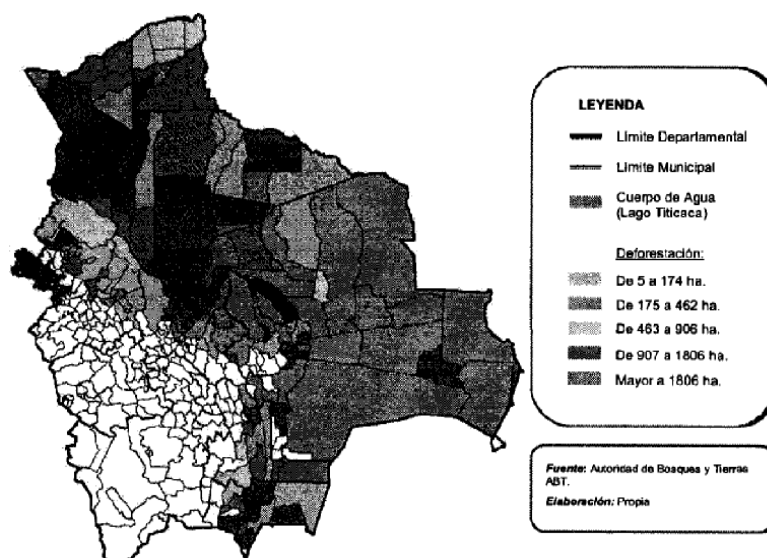
En la Amazonía, existe una significativa titulación por uso agropecuario (77%) y una elevada tenencia de la tierra bajo propiedad comunitaria y TCO. Aspecto que explica en alguna medida los menores niveles de deforestación, ya que las actividades agropecuarias en la zona son generalmente de pequeña escala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

En el Chaco existe un 30% de propiedad privada en la tenencia de la tierra, donde 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%), donde el principal uso de la tierra registrado es el agropecuario según Fundación Tierra (2008).

En lo que respecta a los Yungas y a la Puna de los Andes Centrales, las principales actividades en la zona son las agrícola y 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 Chiquitanía y Central Norte Integrado.

<sup>8</sup> Tierras comunales, tituladas de forma colectiva.

**Mapa 1: Rangos de deforestación, según municipios.**



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

### *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% 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).

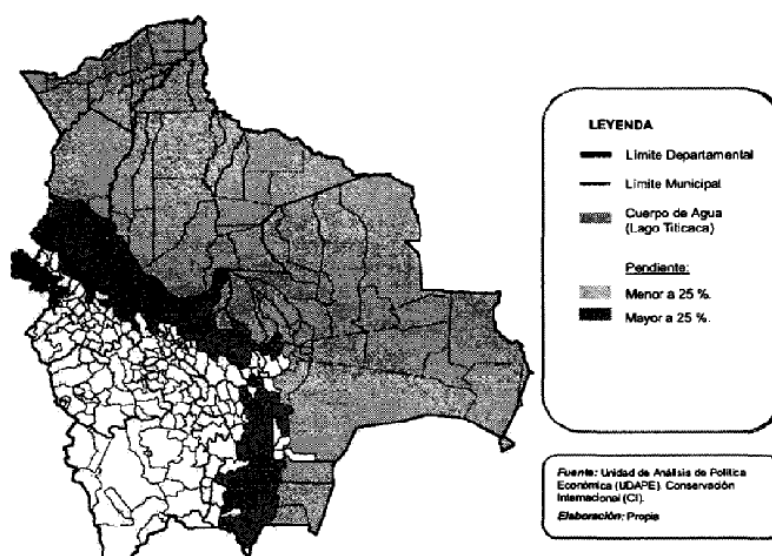
Empíricamente se ha identificado que las áreas con altitudes comprendidas entre 142 msnm a 283 msnm por lo general presentan un mayor avance de la frontera pecuaria y tienen una mayor probabilidad de contar con sistemas de aprovechamiento ganadero extensivo (PNUD, 2008:303). En Bolivia hay zonas con 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.

En Bolivia se ha comprobado que 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. En 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

Sabanas del Beni registran menores niveles de deforestación que zonas con bajos índices de precipitación como la Gran Chiquitanía, Central Norte Integrado y Chaco.

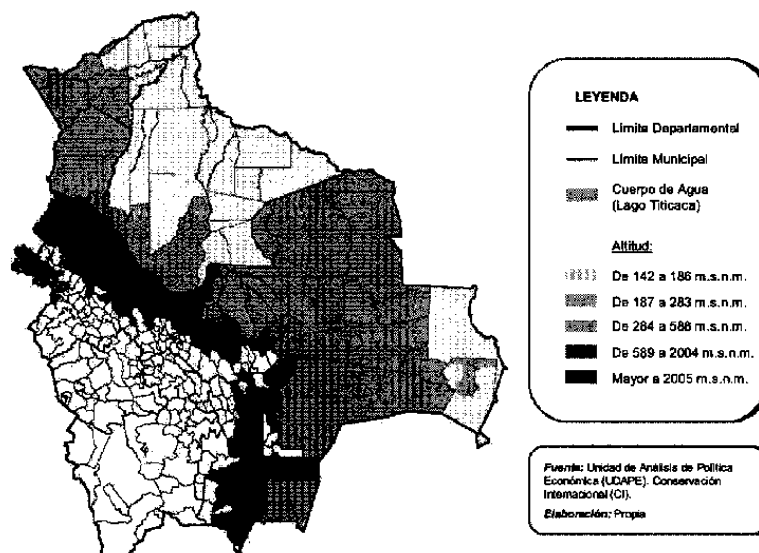
**Mapa 2: Pendiente según municipio**



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

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.

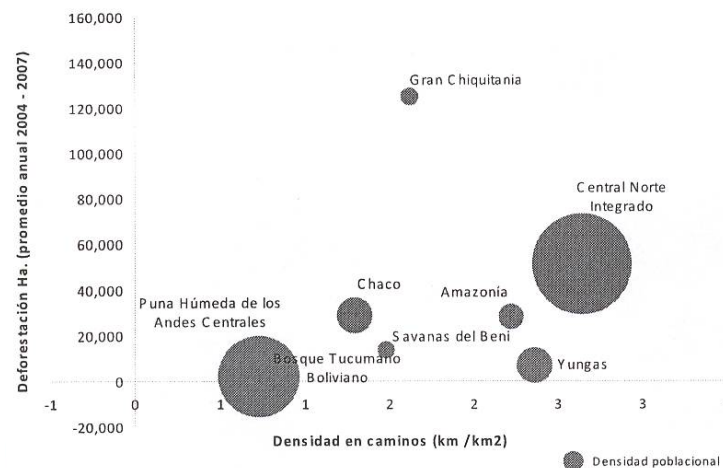
Infraestructura vial

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. Lugares que además 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.). En tanto que 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).

**Gráfica 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 Geográfica (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, 2004: 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, 2001; Moreno, 2008).

#### 4.1. La econometría espacial

Anselin (1999) y Moreno (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 a 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 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 (2000), existe un efecto de multidireccionalidad que afecta las unidades espaciales. En este caso no será conveniente llevar a cabo técnicas estadísticas o econométricas de análisis convencionales, 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 ( $N \times 1$ ).
- $Wy$ : 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.
- $\rho$ : 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:

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

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

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

Donde:

- $\lambda$ : 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:

$$\begin{aligned} \ln L = & \left(\frac{N}{2}\right) \ln(2\pi) - \left(\frac{N}{2}\right) \ln \sigma^2 + \ln |I - \lambda W| \\ & - (1/\sigma^2) (y - \lambda W y - X\beta)' (y - \lambda W y - X\beta) \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} \ln L = & - \left(\frac{N}{2}\right) \ln(2\pi) - \left(\frac{N}{2}\right) \ln \sigma^2 + \ln |I - \lambda W| \\ & - (1/\sigma^2) (y - \lambda W y - X\beta)' (y - \lambda W y - X\beta) \end{aligned} \quad (4)$$

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, 1988a) 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.

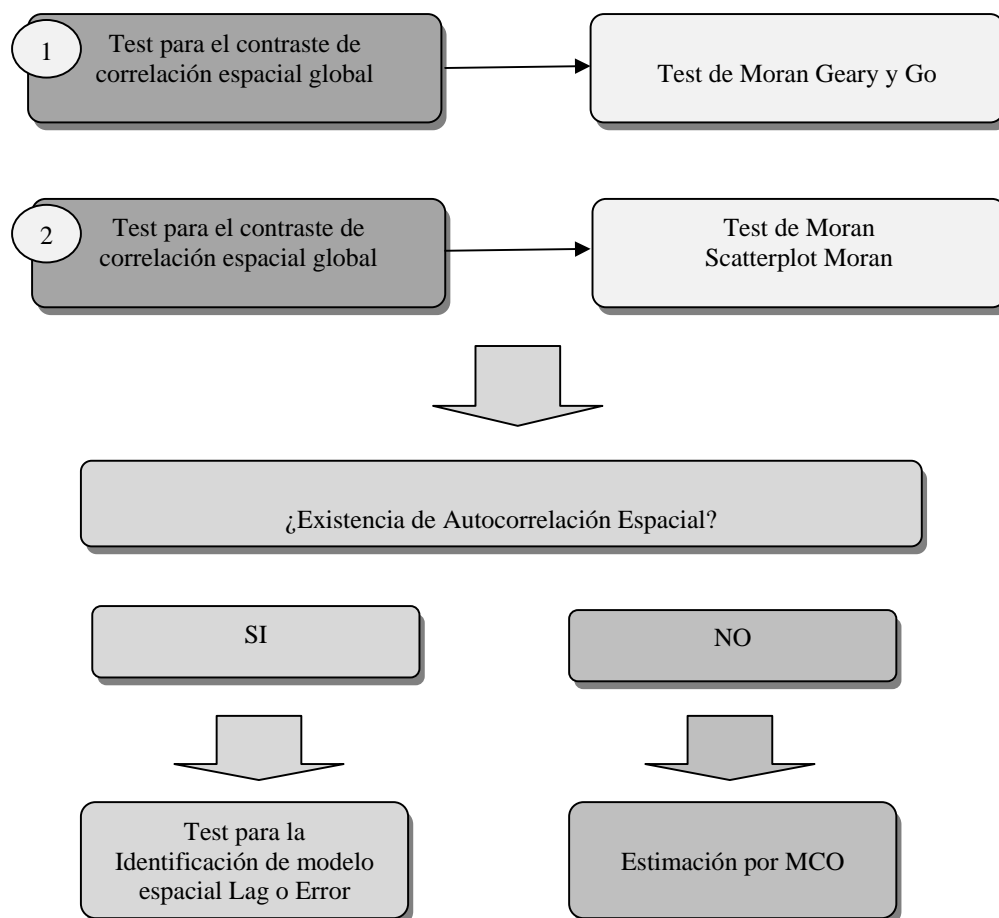
#### 4.2. Aspectos metodológicos para la especificación del modelo

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

El proceso metodológico para el análisis de la correlación espacial se presenta en la siguiente gráfica:

**Gráfica 5: Proceso metodológico para el análisis de correlación espacial**



**Fuente:** Anselin, Luc. Spatial Econometrics. School of Social Sciences. University of Texas at Dallas. 1999: 23.

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

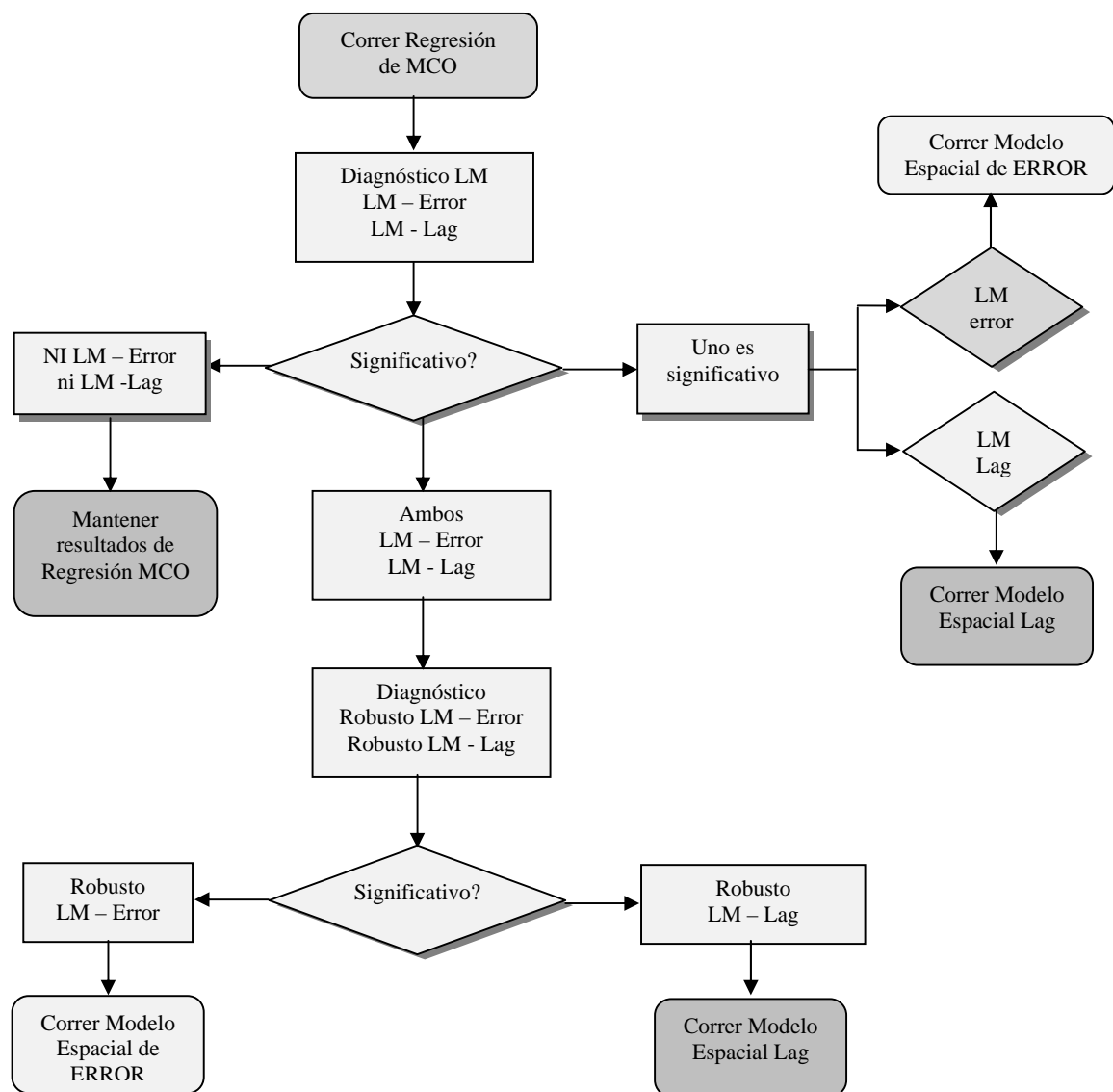
Una vez identificada y validada estadísticamente la presencia de autocorrelación espacial se procede a la definición del tipo de modelo que más se ajusta: de retardo espacial o de dependencia en el término de error.



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 “.” mediría la intensidad de la dependencia espacial entre los residuos.

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



Fuente: Anselin, Luc. Spatial Econometrics. School of Social Sciences. University of Texas at Dallas. 1999: 23.

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 “ $\gamma$ ” 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.

#### a. Matriz de Ponderación Espacial (MPE)

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

Dicha matriz toma la forma de:

Donde representa la interdependencia existente entre las regiones  $i$  y  $j$ , las mismas que son estocásticas y exógenas al modelo (Pérez, J., 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  $w_{ii} = 0$ ).

Este 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  $102 \times 102$ . Los municipios considerados en el estudio forman parte de los departamentos de Pando, Beni, Santa Cruz y el norte de La Paz.

#### b. 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, 2009).
  - 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 éste 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 esta 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./km<sup>2</sup>) y la categorización de tamaños de población utilizados por la Federación de Asociaciones Municipales de Bolivia.<sup>9</sup>

### c. *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.

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

| <b>Variables</b>        | <b>I</b> | <b>p-value</b> |
|-------------------------|----------|----------------|
| deforestación 2007      | 0.320    | 0.000          |
| deforestación acumulada | 0.376    | 0.000          |
|                         | <b>G</b> | <b>p-value</b> |
| deforestación 2007      | 0.207    | 0.000          |
| deforestación acumulada | 0.152    | 0.000          |

**Fuente:** Elaboración propia.

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

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

Para poder comprender los cálculos descritos en la tabla 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.

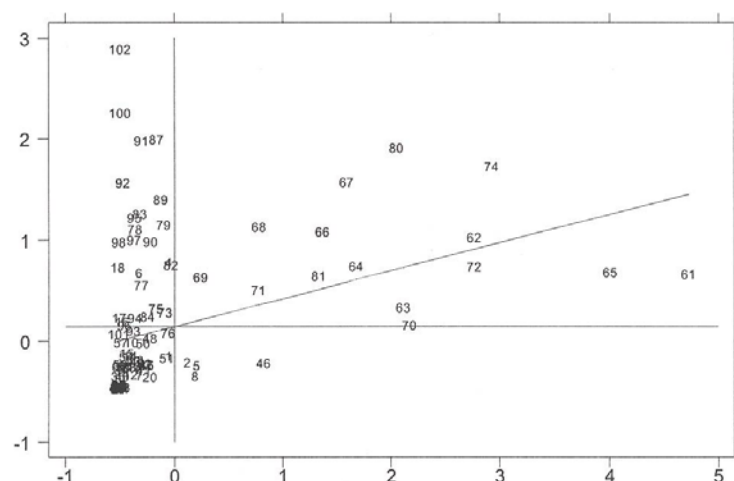
Teniendo en mente lo anterior, y ante las estimaciones realizadas en cada uno de los test, para el caso de la deforestación 2007 y la acumulada para el período 2004 – 2007, se puede concluir, que las variables presentan autocorrelación espacial positiva, dada la significancia de los índices de Moran 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 abscisas las observaciones de la variable normalizada y en el de ordenadas el retardo espacial de la misma también normalizado.

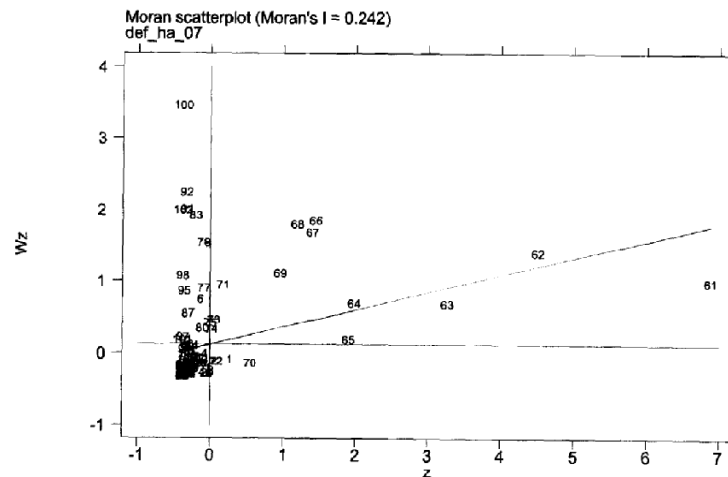
**Gráfica 7. Scatterplot de Moran para la deforestación acumulada**



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.

**Gráfica 8. Scatterplot de Moran para la deforestación 2007**



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. Lo que 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, 2004).

*d. 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:

Tabla 2. Test LM y LM robusto deforestación 2007

| Test                       | Estadístico | p-value |
|----------------------------|-------------|---------|
| <i>Spatial error</i>       |             |         |
| Lagrange multiplier        | 4.184       | 0.041   |
| Robust Lagrange multiplier | 0.085       | 0.771   |
| <i>Spatial lag</i>         |             |         |
| Lagrange multiplier        | 6.753       | 0.009   |
| Robust Lagrange multiplier | 2.654       | 0.103   |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3. Test LM y LM robusto deforestación acumulada 2007**

| Test                       | Estadístico | p-value |
|----------------------------|-------------|---------|
| <i>Spatial error</i>       |             |         |
| Lagrange multiplier        | 4.452       | 0.035   |
| Robust Lagrange multiplier | 0.044       | 0.833   |
| <i>Spatial lag</i>         |             |         |
| Lagrange multiplier        | 6.846       | 0.009   |
| Robust Lagrange multiplier | 2.438       | 0.118   |

Fuente: Elaboración propia.

Los estadísticos LM error y de retardo (lag) son significativos tanto para la variable deforestación 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.

**Tabla 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 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 incremente la densidad en caminos, exista mayor presión sobre el bosque, aumentando, de esta forma, la probabilidad de deforestación (Kaimowitz y Angelsen 1998; Sven Wunder 2000; 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 estos, 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%, 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 IIDEE (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 km<sup>2</sup>). 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 (IIDEE, 2009).

Al incorporar en el modelo la categoría de población C<sup>10</sup> 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, privados y comunales, los procesos de deforestación se reduzcan.

En la práctica se evidencia una relación positiva, esto significa que a medida que exista una propiedad privada, se genera 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 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.

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 al análisis cualitativo realizado, muestra 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 ha dado a partir de la generación de condiciones de infraestructura y de empleo.

---

<sup>10</sup> De 15.000 a 50.000 habitantes.



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 en 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 deben 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 que inciden 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 logran 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% 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 brindarían 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, son relevantes para las políticas públicas.

#### Deforestación y población

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.

## Bibliografía

- 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.
- Anderson, C. (2002) Self-organization in relation to several similar concepts: are the boundaries to self-organization indistinct? *Biological Bulletin* 202: 247-255.
- 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.
- Anselin, L. (1988a). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Anselin, L. (1999) *Spatial Econometrics*. Bruton Center. School of Social Sciences. University of Texas at Dallas. Estados Unidos.
- 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.
- L. Baudoin, S. Piry, & J. M. Cournot (1995). *Analytical Bayesian Approach for Assigning Individuals to Populations*.
- BID (2000) Prefacio Desarrollo más allá de la economía. En: *Desarrollo más allá de la economía: Progreso Económico y social en América Latina*. Washington D.C. Estados Unidos. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- “Capítulo 2. Cómo llega América Latina al siglo XXI”. En: *Desarrollo más allá de la economía: Progreso Económico y social en América Latina*. Washington D.C. Estados Unidos. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 1 -32.
- “Capítulo 3. Geografía y desarrollo en América Latina”. En: *Desarrollo más allá de la economía: Progreso Económico y social en América Latina*. Washington D.C. Estados Unidos. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 131 -180.
- Bivand, R. S. (1984). Regression modeling with spatial dependence: an application of some class selection and estimation methods. *Geographical Analysis*, 16:25–37.
- Bonilla (1985) *Situación Ambiental de Costa Rica*. Ministerio de Cultura, Salud y Deportes. Costa Rica.
- Butler, J. R., Ogendo, H. (1994) Capítulo 1. Introducción y principales conceptos de la economía espacial y escenario económico. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 15 – 33.
- “Capítulo 2. Evolución de la economía global: el proceso de espacio -tiempo”. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 35 – 68.
- “Capítulo 3. Enfoques espaciales y ambientales de la ubicación económica y del uso de la tierra”. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 35 – 68.
- “Capítulo 4. Teoría de la ubicación: explicación espacial a través de la modelación deductiva”. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 69 – 124.
- “Capítulo 6. Factores ambientales que influyen en la actividad económica”. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 151 -176.
- “Capítulo 8. Recursos Renovables oceánicos y forestales y la producción relacionada con ellos”. En: *Geografía Económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México. Noriega. 223 -240.
- Chomitz, K.M.; Gray, D.A. (1996) Roads, lands, markets, and deforestation, a spatial model of land use in Belize. *World Bank Economic Review* 10: 487-512.

- Cropper, M, Griffiths, C., Mani, M. (1997) Roads, population pressures, and deforestation in Thailand, 1976-89. Policy Research Working Paper. 1726. World Bank, Washington, DC.
- Deininger, K., Minten, B. (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.
- Deininger, J., Minten, B. & Barrett, Christopher B., 2008. "Agricultural Technology, Productivity, and Poverty in Madagascar," *World Development*, Elsevier, vol. 36(5), pages 797-822, May.
- 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.
- Fundación Tierra (2008). Gestión territorial comunitaria. Experiencias en las comunidades de las tierras altas de Bolivia.
- Geary, R., (1954), "The contiguity ratio and statistical mapping" *The Incorporated Statistician* 5, pp 115-145.
- Haining (1978). A Spatial Model for High Plains Agriculture. *Annals of the Association of American Geographers* Volume 68, Issue 4, pages 493–504, December 1978
- Hartshorn, G. (1997) Costa Rica perfil ambiental. San José, Costa Rica.
- IIDEE (2009) Consultoría para la Incorporación del País en los Mecanismos de Incentivos para la Reducción de las Emisiones de CO<sub>2</sub> de la Deforestación en el Ámbito Nacional. Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). Instituto Internacional de Economía y Empresa (IIDEE). La Paz. Bolivia.
- Jaramillo, C.; Kelly, T. (2000) La deforestación y los derechos de propiedad en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Kaimowitz, David and Arild Angelsen. (1998) Economic Models of Tropical Deforestation. A Review. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Kaimowitz, D., Angelsen, A. (1999) Economic Models of Tropical Deforestation: A review. Center for International Forestry Research (CIFOR). Indonesia.
- Kant, S., Redantz, A., (1997) An econometric model of tropical deforestation. *Journal of Forest Economics* 3, 51–86.
- Harry H. Kelejian, and Ingmar R. Prucha (1997) HAC estimation in a spatial framework. *Journal of Econometrics* Volume 140, Issue 1, September 2007, Pages 131-154. Analysis of spatially dependent data.
- Krutilla, K.; Hyde, W.F. y Barnes, D. (1995) Peri-urban deforestation in developing countries. *Forest Ecology and Management* 74: 181-95. United States.
- Lambin, E.F. (1997) Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21: 375-93. Bruselas.
- Mahar, D. y Robert Scheneider. (1994) Incentives for Tropical Deforestation: Some Examples from Latin America. En *The Causes of Tropical Deforestation*. eds. K. Brown y D. W. Pearce. Londres: University College London Press.
- Moran (1948). The statistical distribution of the length of a rubber molecule. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 44, pp 342-344 doi: 10.1017/S030500410002435X.
- Moreno, R. y Vayá, E. (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.
- Muñoz, A. (2006) Apuntes de la Audiencia Técnica – Avances de la Deforestación en Bolivia. Superintendencia Forestal. Proyecto Bolfor II. Santa Cruz, Bolivia
- Pacheco, P. (2004) Las fronteras agrícolas en el trópico boliviano: entre las situaciones heredadas y los desafíos del presente. Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Indonesia. Investigador asociado, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Brasil.
- Pérez, J. (2006) Econometría espacial y ciencia regional. *Investigación Económica*. Año/vol. LXV, número 258. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

- Pérez, S. y Protti, F. (1978) Comportamiento del sector forestal durante el período 1950-1977. San José, Costa Rica.: Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria.
- PNUD (2008) Más allá del impase entre desarrollo y conservación. En: La otra frontera: usos alternativos de recursos naturales en Bolivia. Informe Nacional sobre Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La Paz. Bolivia. 29 -85.
- Rojas, D.; Martínez, I.; Cordero, W. y Contreras, F. (2003) Tasa de deforestación de Bolivia: 1993 – 2000. Superintendencia Forestal. Proyecto BOLFOP. Santa Cruz, Bolivia.
- Rosero-Bixby, L. y Palloni, A. (1997) Población y Deforestación en Costa Rica. Academia Nacional de Ciencias. Programa Centroamericano de Población. Costa Rica.
- Southgate, D. (1990) The Causes of Land Degradation along “Spontaneously” Expanding Agricultural Frontiers in the Third World. Land Economics. United States.
- Vargas, M. (2007) A spatial study about municipal poverty in Bolivia. Unidad de Análisis de Políticas Económicas (UDAPE). PNUD. Munich Personal RePEc Archive.
- Johann Heinrich von Thünen (1867): Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie.
- 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. BOLFOP II. CIM – GTZ. Santa Cruz, Bolivia.
- Wunder, S. (2001) Economics of deforestation. CIFOR.
- Yiridoe, E. y Nanang, D. (2001) An econometric analysis of the causes of tropical deforestation: ghana. Nova Scotia Agricultural College. Canadá.