

Modelamiento de presiones sobre la biodiversidad en la Guayana colombiana.

Rincón R. Alexander*, Romero R. Miton**, Bernal S. Néstor*** Rodríguez E. Nelly****, Rodríguez C. Juliana*****

Investigadores Senior - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia

*****Investigador Junior - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia

*arincon@humboldt.org.co

**mhromero@humboldt.org.co

***nrbernal@humboldt.org.co

****nrodriguez@humboldt.org.co *****jrodriguez@humboldt.org.co

Web page: <http://www.humboldt.org.co>

Resumen

Este artículo busca identificar los factores que han influido a que la transformación de ecosistemas y la deforestación avancen en 4 zonas del sector Guayanes de la Amazonía Colombiana (La Macarena, Nukak, Puinawai y Chiribiquete). Para la identificación de estos factores, se realizó un análisis en dos escalas: a nivel municipal y a nivel de píxel, los análisis con datos municipales sirvieron para dar un contexto de los aspectos sociales y demográficos para cada una de las zonas, adicionalmente se realizó un análisis de correlaciones. Los datos a nivel de píxel se utilizaron para la estimación de modelos de regresión logística para cada zona, de forma complementaria y para tener en cuenta la dinámica de cambio y los efectos de vecindad entre píxeles se realizó un ejercicio de simulación empleando el software DINAMICA (desarrollado por el centro de sensores remotos de la Universidad de Minas Gerais) para las dos zonas de mayor transformación. Los resultados del análisis de asociaciones, modelamiento y simulación evidencian que la facilidad de acceso terrestre (distancia a vías), el estado legal del territorio, la distancia a centros urbanos (distancia a cabeceras) son los factores relevantes que han impulsado la transformación de ecosistemas y la deforestación en el área de análisis.

Descriptor: Deforestación, escudo guayanés, biodiversidad, modelos, colonización.

1 Introducción

El presente artículo es basado en los resultados de la investigación titulada “Análisis de patrones espaciales de pérdida y fragmentación de ecosistemas y factores socioeconómicos y demográficos asociados en cinco áreas protegidas del escudo Guayanés” desarrollada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt, en convenio con Colciencias (IAvH, 2006).

La importancia del estudio de la deforestación y la pérdida y fragmentación de ecosistemas naturales ha llevado en los últimos años al análisis de sus posibles causas. La mayoría de las investigaciones realizadas explora causas relacionadas con variables económicas demográficas y sociales, esto se evidencia en los trabajos Kaimowitz y Angelsen (1998), Angelsen y Kaimowitz (1999) y Brown y Pearce (1994).

En Colombia algunos trabajos realizados en diferentes regiones preceden los intentos de estudiar las asociaciones entre aspectos sociales, económicos y demográficos con la transformación y pérdida de ecosistemas y de cobertura natural (Rudas et al., 2002; Romero et al., 2003; Armenteras et al., 2006; Rincón et al., 2004; Armenteras, Rincón y Ortiz, 2005; Rodríguez et al., 2005 y Ortiz et al., 2005). Específicamente en el área de estudio varios autores evidencian cómo su creciente transformación es básicamente impulsada por la expansión de la colonización y la economía extractiva, procesos que se relacionan fundamentalmente con el crecimiento de actividades lícitas (ganadería) e ilícitas (coca). (Molano, 1988; Leal, 1995; Andrade y Etter, 1987; Arcila, 1991; Ariza, Ramírez y Vega, 1998; Etter 1992; Iepri –Fescol, 1998; Arcila et al. 2000).

De otro lado el uso de modelos ha permitido entender las relaciones que existen entre el cambio del uso de la tierra y los factores antrópicos, generalmente estos modelos involucran los conceptos de escalas espaciales y las variables abióticas y bióticas como suelos, topografía, uso de la tierra, accesibilidad, precipitación, pendiente y crecimiento poblacional entre otros (Ludeke, Maggio, and Reid 1990; Nelson and Hellerstein 1997; Chomitz and Gray 1996; Merterns and Lambin, 1999; Read, Denslow, and Guzman, 2001). En América latina, varios estudios han desarrollado modelos de patrones de deforestación, en Brasil los trabajos de Soares-Filho, 1998; Soares-Filho, Assuncao y Pantuzzo 2001; Soares – Filho, Cerqueira y Pennachin 2002a; el trabajo de Mertens et al., 2004 para el caso Boliviano y Etter et al., 2006 para el caso colombiano son algunos ejemplos.

2 Datos y métodos

2.1 Área de estudio

El área del estudio se ubica en la región de la Guayana de la Amazonía colombiana, comprende cuatro zonas de análisis, cada una abarca un área protegida y su respectiva área de influencia,

presenta un área total de 11.376.329 has distribuidas en 4.065.943 has en la zona denominada Nukak; 3.051.802 has de la zona denominada Chiribiquete; 2.910.930 has en la zona de Puinawai y 1.347.654 has en la zona de La Macarena (Fig. 1). Hacen parte de ella 15 municipios y 5 departamentos.

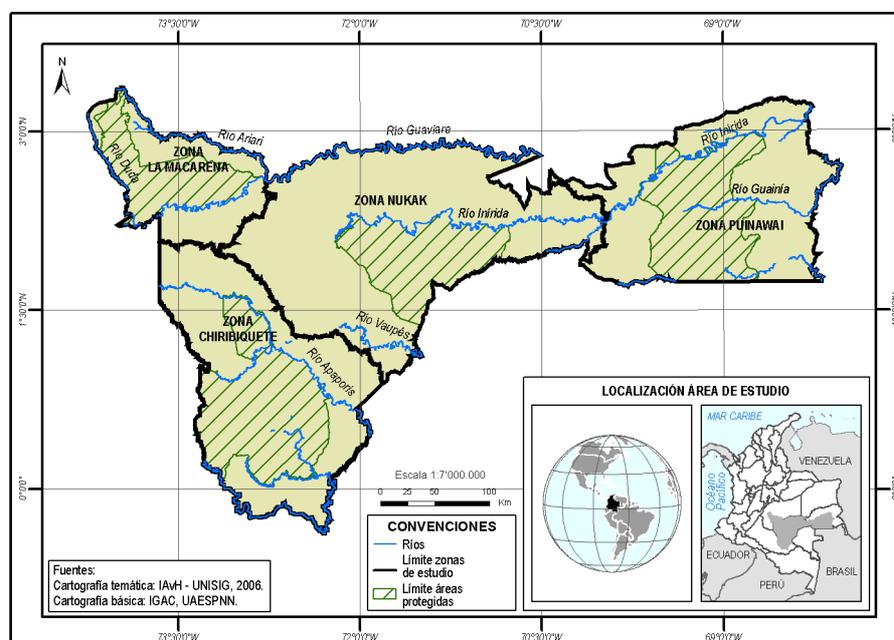


Figura 1: Localización área de Estudio – Zonas de análisis

El área de estudio se caracteriza por ser una de las áreas de alta biodiversidad e importancia ambiental nacional y global, sin embargo también es una de las áreas de mayor conflicto en Colombia, conflicto que está relacionado con la presencia de cultivos ilícitos, grupos ilegales y altos índices de desplazamiento de personas, de allí que aspectos como la colonización y la economía extractiva sean elementos centrales en la dinámica de transformación de la región.

2.2 Datos Utilizados

Se utilizaron datos a dos niveles: municipal y píxel. Con la información municipal se buscó determinar los aspectos socioeconómicos, demográficos y económicos característicos para cada zona, finalmente con esta información se realizó un análisis de asociaciones entre estas variables. (Tabla 1).

Departamento	Municipio	Zona de estudio
CAQUETA	Solano	Chiribiquete
GUAJINIA	Inírida	Puinawai
GUAJINIA	Morichal Nuevo	Puinawai/Nukak
GUAJINIA	Pana Pana	Puinawai
GUAJINIA	Puerto Colombia	Puinawai
GUAVIARE	Calamar	Nukak/Macarena/Chiribiquete
GUAVIARE	El Retorno	Nukak
GUAVIARE	Miraflores	Nukak/Chiribiquete
GUAVIARE	San José del Guaviare	Nukak/Macarena
META	La Macarena	Macarena
META	Mesetas	Macarena
META	Puerto Concordia	Macarena
META	Puerto Rico	Macarena
META	San Juan de Arama	Macarena
META	Vistahermosa	Macarena

Tabla 1: Municipios y departamentos asociados a cada zona de estudio

Con la información a nivel píxel se realizaron modelos de regresión logística empleando SPSS y modelos de simulación del paisaje a través del software DINAMICA para las zonas más transformadas. El área de cada píxel fue de 250 m por 250 m.

6) Datos a nivel municipal

Indicadores demográficos: La información relativa a aspectos demográficos se basó en la información de los censos de 1985 y 1993 (Fundación Social 1998) y en la proyecciones realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para los años 1995 – 2005 (DANE 1998). La información demográfica se desagregó en cabecera, resto (habitantes que no viven en las cabeceras) y total. También se tomó información demográfica municipal y departamental basada en los últimos resultados obtenidos de la base de datos de la encuesta del Sisben (2003 -2004).

Indicadores de desplazamiento forzado de personas: La información de desplazados en esta investigación se basó en dos fuentes básicas de información: a) Información de desplazados en Colombia según la Red de Solidaridad Social (RDS 2005) b) Información de desplazados en Colombia según la Consultaría para los derechos humanos y el desplazamiento (CODHES 2005)

Indicador de Cultivos Ilícitos: La información referente a cultivos ilícitos se basa en los censos de coca realizados por el Programa Global de Monitoreo de Cultivos de Unodc (United Nations Office on Drugs and Crime) que ha venido apoyando al gobierno colombiano desde 1999 en la implementación y puesta en marcha del Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (Simci). UNODC (2004)

Indicadores Económicos: Dada la importancia del sector agropecuario en la región se trabajaron

los indicadores de área en pastos y cultivos, estimación obtenida a partir de los mapas de ecosistemas escala 1:100.000 de los años 1980, 1990 y 2000, también se estimó el área en vías con base en los mismos mapas, elaborados por el Instituto Humboldt.

Indicadores de Violencia: La información sobre violencia se tomó del trabajo realizado por Castro y Aristizabal (2000), en este documento los autores toman información del Departamento Administrativo de Seguridad y de la oficina del alto comisionado de Colombia, los indicadores tomados son presencia activa de las Farc y grupos de autodefensas

- Datos a nivel de Pixel

A partir de la interpretación de imágenes de satélite Landsat TM y ETM y utilizando ERDAS Imagine V. 8.7 se obtuvo el mapa de cobertura vegetal para tres períodos de tiempo (ochenta, noventa y dos mil). Metodológicamente el proceso inicio con la georeferenciación de las imágenes a partir de cartografía básica del Instituto Geográfico de Colombia (IGAC) y el modelo digital de elevación (Shuttler Radar Topography Mision - SRTM, 2000); de ahí se inició la etapa de clasificación a través de un proceso digital supervisado y no supervisado. Para ello se realizó una serie de mejoramientos a las imágenes de satélite aplicando secuencial y lógicamente filtros estadísticos, suavizados y nosort que permitieron eliminar píxeles erróneamente clasificados, suavizar los límites entre las diferentes clases y asignar prioridades a cada una de las clases obteniéndose un área mínima de mapeo de 2.5 has. Los píxeles trabajados fueron de 250 m por 250 m.

Los mapas de cobertura se generalizaron y se recategorizaron en dos variables dependientes, definidas así: i) categoría 0 aquellas coberturas naturales de bosques, sabanas, arbustales, vegetación de pantano y ii) categoría 1 las áreas en cobertura intervenida de pastos, rastrojos y cultivos (Fig. 2)

Paralelamente, un total de ocho variables continuas que constituyen las variables predictoras se construyeron para ser consideradas dentro de los modelos: (Fig. 2)

Altura: se generó a partir del modelo digital del terreno (SRTM, 2000) recategorizándolo en 9 categorías: 1). 1-200 m; 2). 201 – 300; 3). 301- 400 m; 4). 401 – 500 m; 5). 501 – 700; 6). 701 – 900; 7). 901 – 1100; 8). 1101 – 1300; 9). 1301 – 1600.

Pendiente: se construyó a partir del modelo digital del terreno con 7 categorías: 1). 0 – 3 %; 2). 4 – 7 %; 3). 8 – 12 %; 4). 13 – 25 %; 5). 26 – 50%; 6). 51 – 75% y 7). 76 – 90%.

Paisaje: constituido a partir del mapa de zonificación agroecológica de Colombia elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – (IGAC-CORPOICA, 2002) con seis clases.

Aptitud: a partir del mapa de zonificación agroecológica de Colombia (IGAC-CORPOICA, 2002) que recoge la clasificación propuesta por FAO (ITTA y FAO, (1997)) se definieron las aptitudes presentes 1). III, 2). IV; 3). V, 4). VI, 5). VII, 6). VIII.

Estado Legal del territorio: información referente a tres categorías: 1) otros estados legales (áreas de manejo especial, áreas abiertas a colonización, sustracción a la reserva), 2) resguardos indígenas y 3) áreas protegidas, obtenidas de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y el Instituto Humboldt.

Distancia a vías: Este mapa se construyó a partir de cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:100.000 y la interpretación de imágenes de satélite Landsat incorporándose información de vías primarias y secundarias que fueran visibles al interpretar las imágenes, sin realizar una clasificación de las mismas. Se realizó un mapa de áreas de influencia (buffer) alrededor de las mismas a distancias entre los 1). 0 a 1000 m., 2). 1001 a 2500 m., 3). 2500 a 5000 m. y 4). mayores a 5000 m., conformando datos categóricos.

Distancia a ríos: Este mapa se construyó a partir de cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:100.000 y la interpretación de imágenes de satélite. Para la definición de las áreas de influencia (buffer), se trabajó con los ríos principales a los cuales se les estimó alrededor de los mismos distancias entre los 1). 0 a 1000 m., 2). 1001 a 2500 m., 3). 2501 a 5000 m. y 4) mayores a 5000 m., conformando datos categóricos.

Distancia a cabeceras: a partir de la cartografía base a escala 1:100.000 del DANE, se obtuvo la información de cabeceras municipales. Con esta información se realizó una categorización del área de influencia (buffer) alrededor de las mismas obteniendo cinco categorías de distancia a cabeceras. i). de 0 -5.000 m; ii). 5.001 – 10.000 m; iii) 10.001 – 15.000 m; iv) 15.001 – 20.000 m y v) mayores de 20.000. Esta información se trabajó en formato raster a una resolución de 250 m

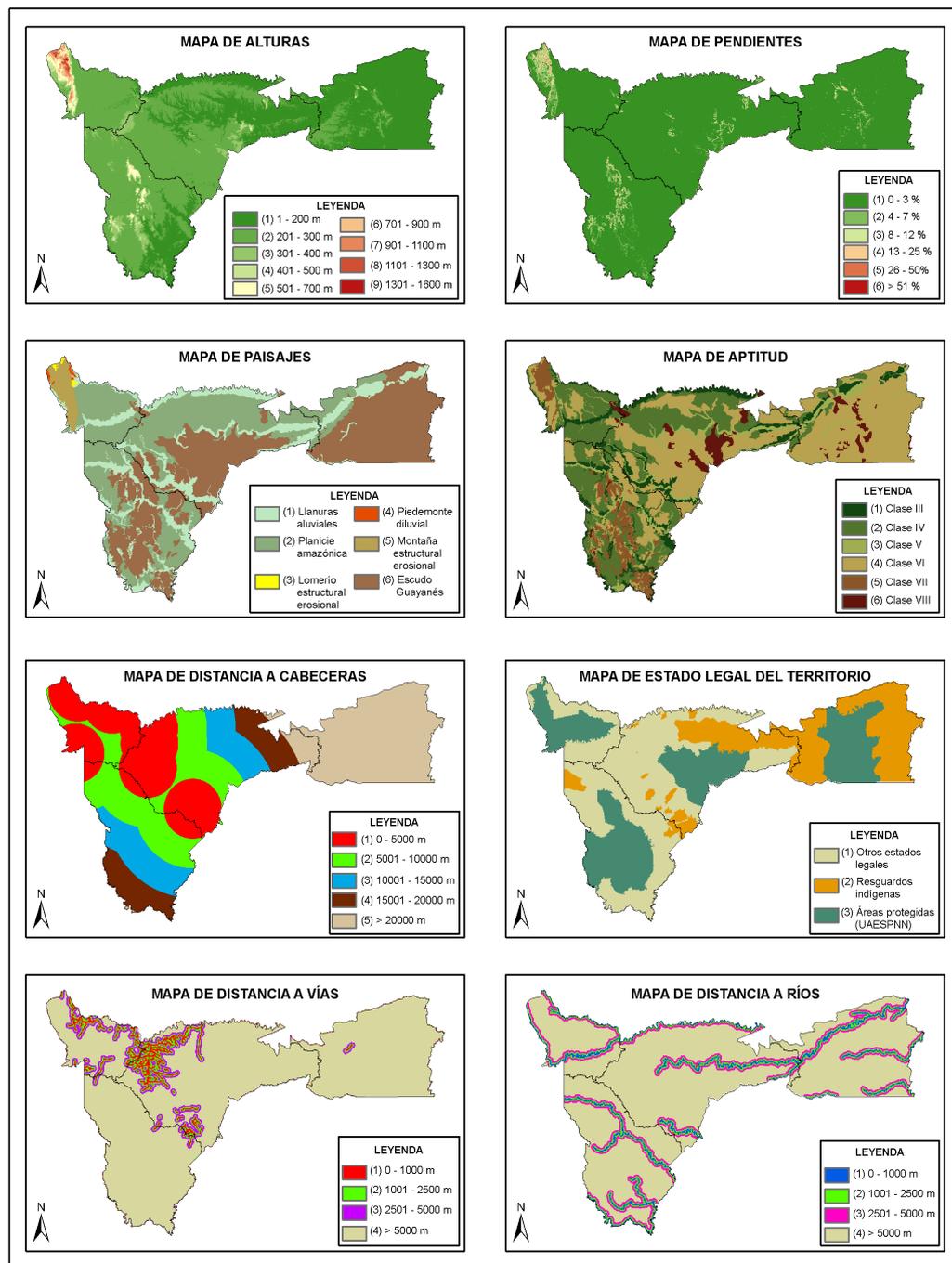


Figura 2: Mapa de las variables para toda la zona

2.3 Estimación de correlaciones

Para el análisis de correlaciones, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, el cual es un estadístico no paramétrico que permite estimar el grado de asociación entre pares de indicadores (Siegel 1978).

Este coeficiente se define como:

$$r_s = 1 - 6 \left[\frac{\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \right]$$

Donde:

x_i : indica el rango del dato i con respecto a la variable X

y_i : indica el rango del dato i con respecto a la variable Y

$d_i = x_i - y_i$, corresponde a la diferencia de los rangos para el dato i

n = el total de datos

r_s : puede tomar valores entre -1 y 1.

Respecto a la significancia del coeficiente de correlación de Spearman se realiza a través de una prueba t , definiendo el estadístico de prueba así:

$$t = \frac{r_s \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_s^2}}$$

Con grados de libertad = $n - 2$, bajo la hipótesis nula de no correlación de rangos.

El análisis de correlaciones se realizó para 20 variables de tipo socioeconómico, demográfico y relativas al estado de los ecosistemas a nivel municipal.

2.4 Modelo de regresión logística

Se realizaron modelos de regresión logística para cada una de las zonas de estudio: i) La Macarena, ii) Nukak, iii) Chibiriquete y iv) Puinawai para el año 2000. Se tomó como variable dependiente la variable dicotómica de cobertura, la cual tomó los valores de 1 cuando un píxel se encontraba transformado y 0 cuando un píxel de tipo natural. Las variables predictoras utilizadas fueron: distancia a vías, distancia a ríos, distancia a cabeceras, estado legal, altura, pendiente, aptitud y paisaje cuyas categorías fueron definidas anteriormente.

La expresión siguiente describe el modelo de regresión logística :

$$\log \text{it}(\pi_i) = \log_e \left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \right) = x_i^T \beta$$

π_i : designa la probabilidad que un píxel i esté transformado (categoría 1 de la variable cobertura) para un año t

$1 - \pi_i$: designa la probabilidad que un píxel i esté en un estado no transformado (categoría 0 de la variable cobertura) para un año t .

x_i^T : designa la matriz (transpuesta) de variables dummy correspondientes a los niveles de las variables predictoras en el modelo.

β : designa el vector de parámetros

La inclusión de variables dummy asociadas a las variables explicativas: Cuando se presentan variables predictoras (o explicativas) con n categorías o niveles (en el caso de las variables ordinales se puede asumir que la escala funciona aproximadamente a un nivel cuantitativo) y se desean obtener coeficientes para cada categoría, se incluye como variable categórica, de manera que a partir de ella se crean $n - 1$ variables dicotómicas llamadas dummy (Stokes, Davis and Koch, 1995). Al crear las variables dummy se debe precisar con cuál de las categorías de la variable original interesa comparar el resto, esta será nombrada categoría de referencia (de allí el hecho que se tomen $n - 1$ variables dicotómicas pues se excluye la categoría que se toma como base). Para la presente investigación se determinó tomar como categoría base o de referencia la última categoría de cada variable, lo que significa que corresponde a la categoría que en hipótesis es más favorable para procesos de conservación de la biodiversidad en cada una de las variables explicativas.

Odds, odds ratio y su relación con los parámetros: Para una mejor interpretación de los coeficientes β 's es importante asociarlos con el concepto de riesgo definiendo los odds y odds ratio: a) odds corresponde a una medida de riesgo relativo de que ocurra un evento y se define como la razón entre la probabilidad de que dicho evento ocurra (P) y la probabilidad de que no ocurra ($1 - p$). b) odds ratio se estima como el exponencial de los β 's y se interpreta como riesgo relativo de que ocurra el evento condicionado a la presencia de una variable explicativa, comparado con la situación de que ocurra el mismo evento condicionado con un nivel de referencia de la misma variable. (Fig. 3)

Etapas para estimar los odds ratio	Descripción
Parámetro	β_k
Probabilidad de que un píxel sea transformado	$\frac{e^{\alpha+\beta_k}}{(1+e^{\alpha+\beta_k})}$
Odds de que un píxel sea transformado	$Odds = \frac{P(Transf / nivel k_Var_predictora)}{1 - P(Transf / nivel referencia_Var_predictora)} = e^{\alpha+\beta_k}$
Odds ratio de β_k (respecto al nivel de referencia)	$Odds_ratio = \frac{Odds(Transf / nivel k_var_predictora)}{Odds(Transf / nivel referencia_var_predictora)} = \frac{e^{\alpha+\beta_k}}{e^\alpha} = e^{\beta_k}$



Posibles valores de un Odds ratio



[8] 1

<p>Odds ratio < 1 El nivel de referencia aporta (en términos de probabilidad) más a que un píxel sea transformado respecto al nivel analizado (k). Lo cual significa menor riesgo de transformación por el nivel analizado comparado con el nivel de referencia .</p>	<p>Odds ratio = 1 No hay diferencias entre el aporte (en términos de probabilidad) para que un píxel sea transformado con respecto al nivel de referencia</p>	<p>Odds ratio > 1 El nivel analizado (k) aporta más (en términos de probabilidad) a que un píxel sea deforestado respecto al nivel de referencia. Lo cual significa mayor riesgo de transformación por el nivel analizado comparado con el nivel de referencia</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 3: Relación entre la probabilidad de que un píxel sea transformado, odds, odds ratio y los parámetros del modelo

De esta forma el modelo estimado permitiría dar respuesta a la siguiente pregunta a través de los odds ratio:

- Qué tanto contribuye un nivel particular de una variable respecto al nivel de referencia al aumento del “riesgo” de que el píxel sea transformado?

- Bondad de ajuste y habilidad predictiva del modelo: Para efectos de evaluar la bondad de ajuste del modelo se realiza la prueba de ómnibus y la prueba de Hosmer-Lemeshow, el objetivo de la primera es contrastar la hipótesis referente a que los parámetros estimados del

modelo (coeficientes) son significativamente diferentes de cero, esto significaría que las variables explicativas permiten explicar de forma conjunta la variabilidad espacial de los píxeles transformados. El objetivo de la segunda es determinar el grado de discrepancia entre las probabilidades estimadas por el modelo y las probabilidades esperadas conformando rangos de probabilidades. Para evaluar la habilidad predictiva del modelo se estimaron los coeficientes de asociación de Gamma y Sommer. Los coeficientes de asociación permiten analizar la correspondencia entre probabilidades observadas y estimadas por el modelo también desde el punto de vista de rangos de probabilidades.

2.5 Modelos de simulación dinámica del paisaje utilizando el software DINAMICA

Dado que los modelos de regresión logística abordan la situación del año 2000 y su interés se centra en explicar la variabilidad espacial de píxeles transformados identificando los factores asociados a dicha variabilidad, y que éstos no consideran los posibles efectos de vecindad, se decidió complementar esta perspectiva de modelación con el enfoque de simulación del paisaje utilizando en software DINAMICA (Soares – Filho, Cerqueira y Pennachin 2002a, 2002b), este enfoque permitió obtener ganancia en: a) analizar la dinámica de cambio entre la década de los ochenta y los dos mil de áreas naturales a transformadas, b) tener en cuenta el efecto de vecindad (Wong y Lee, 2005) entre píxeles naturales y transformados y c) realizar un proceso de simulación (escenario) de cambios hacia el futuro.

Las variables predictoras utilizadas para los modelos de simulación son iguales a las utilizadas en los modelos de regresión logística. La variable dependiente utilizada fue cambio de cobertura natural entre la década de los ochenta y los dos mil, la cual tomó los valores de 0 cuando se dio transformación y 1 cuando se mantuvo la categoría natural.

A través del software de simulación dinámica del paisaje – DINAMICA (Soares-Filho, 1998; Soares-Filho, Assuncao y Pantuzzo, 2001; Soares – Filho, Cerqueira y Pennachin, 2002a, 2002b) se analizó la dinámica de cambio de los píxeles de natural a transformado entre la década de los ochenta y la década del dos mil así como la identificación de los principales factores asociados a dicho cambio para las zonas de mayor transformación: Nukak y La Macarena.

La descripción del modelo se sintetiza en tres etapas:

- 1) Estimación global de la probabilidad de cambio mediante la matriz de transición: Teniendo en cuenta las mapas de cobertura de las décadas de los ochenta y dos mil se estima la probabilidad de cambio de los píxeles de natural a transformado. La matriz de transición está conformada por las cuatro probabilidades de cambio de estado de los píxeles: i) de natural a natural, ii) de natural a transformado, iii) de transformado a natural y iv) de transformado a transformado, esta matriz sintetiza las probabilidades de cambio para el período de comprendido entre la década de los ochenta y los dos mil, a partir de ella es posible estimar las probabilidades de cambio para períodos anuales (Soares – Filho et al. 2002a).
- 2) Estimación de pesos de evidencia: El objetivo principal de esta etapa es determinar

el peso relativo de cada una de las variables predictoras, para estimar la probabilidad de cambio a nivel de píxel de un estado natural a un estado transformado. La metodología se basa en la aplicación del teorema de Bayes (Almeida et. al. 2005; Wang et al., s.f.) y para tal efecto se tiene en cuenta la frecuencia de píxeles que coinciden con haber tenido un cambio de natural a transformado y la presencia de un nivel específico de una variable predictora. Se pueden distinguir dos casos de pesos de evidencia W_i (Almeida et. al. 2005; Almeida et al. 2002), denotados como W_i^+ que es el peso de evidencia para el caso de presencia y W_i^- el peso de evidencia para el caso de ausencia. Finalmente se obtiene la estadística de contraste que se define como: $C_i = W_i^+ - W_i^-$, C_i indica el efecto absoluto del nivel de presencia de una variable X_i comparado con el nivel de ausencia de la misma variable, por lo tanto, si C_i es positivo esto indica que la presencia (nivel) de la variable X_i tiene un efecto para el incremento de la probabilidad de cambio de un píxel de natural a transformado, si el C_i es negativo esto significa que la presencia (nivel) de la variable aporta a la disminución de la probabilidad de cambio de un píxel de natural a transformado. La utilidad de esta estadística es que ella permite ordenar los niveles de las variables predictoras para efectos de identificar las principales variables que tienen un mayor efecto en la probabilidad de cambio de natural a transformado a nivel de píxel.

3) Simulación – posibles tendencias: Esta etapa tiene como objetivo estimar los cambios de estado a nivel de píxel de natural a transformado, lo que contribuye a visualizar la dinámica de cambio de la cobertura natural y detectar subzonas con mayor probabilidad de cambio en un futuro a corto plazo. Esto se realizó utilizando las siguientes funciones del software DINAMICA: expandir, patcher, nivel de saturación, distancia a píxeles transformados, simulación de vías (Soares – Filho et al. 2002a).

3 Resultados

3.1 Aspectos socioeconómicos y demográficos a nivel de zona

- Población

La estimación de población para las zonas de interés, evidencia que la zona de Nukak presenta la mayor población de toda el área de estudio, seguida por La Macarena. Los resultados muestran cómo la mayor parte de la población de las zonas de estudio no habita en las cabeceras sino que se encuentra en la zona de resto (se destacan las zonas de Puinawai y Chiribiquete que presentan el 100% de población ubicada en la zona de resto). (Tabla 2)

Zona / Año	1993	2000	2005
Nukak			
Cabecera	17514	22040	25953
Resto	54565	64509	72578
Total	72079	86549	98531
Part % población resto	76	75	74
Puinawai			
Resto	7523	9721	11216
Total	7523	9721	11216
Part % población Resto	100	100	100
Macarena			
Cabecera	7183	18858	21326
Resto	53557	42698	45411
Total	60740	61556	66737
Part % población Resto	88	69	68
Chiribiquete			
Resto	16807	16046	18133
Total	16807	16046	18133
Part % población Resto	100	100	100

Fuente: Fundación Social 1998 y DANE 1998. Cálculos IAvH.

Tabla 2: Población estimada de las zonas de estudio

- Desplazamiento Forzados de personas

De acuerdo con las estimaciones basadas en la Red de Solidaridad entre 1998 y 2004, el desplazamiento se ha incrementado en las zonas de estudio, pasando de una cifra de 32 desplazados (Recepción) en 1998 a 1.972 en 2004. Las mayores cifras tanto de expulsión como de recepción las presentan Nukak y la Macarena. Puinawai presentó cifras muy bajas de desplazamiento (expulsión), en tanto que para Chiribiquete se estima que no existe población desplazada (Tabla 3).

Municipio	Condición	1998	2000	2004	Cambio absoluto 2004 -1998
Puinawai	Expulsor	1	3	11	10
	Receptor	1	1	141	140
Nukak	Expulsor	450	1105	2215	1765
	Receptor	22	485	989	967
La Macarena	Expulsor	287	1905	1866	1580
	Receptor	8	235	778	770
Total Area de Estudio	Expulsor	745	3048	4165	3419
	Receptor	32	813	1972	1939

Fuente: RDS 2005

Tabla 3: Desplazamiento en la zona de estudio 1998-2004

- Área en cultivos ilícitos

El área de estudio incrementó su participación porcentual en áreas cultivadas de coca pasando de

significar un 13,2% en 2000 a representar el 21,9 % del total nacional en 2004 (Tabla 4). La Macarena presenta un mayor estado crítico tanto por la extensión de cultivos como por su participación en el total nacional y su crecimiento entre 2000 y 2004.

Para el año 2000, dentro de las áreas de estudio, la región de Nukak se caracterizaba por tener el mayor área en cultivos ilícitos, seguida por La Macarena, y en menor escala Puinawai y Chiribiquete; sin embargo, para el año 2004 este orden cambió y el área de La Macarena pasó a presentar la mayor superficie de coca seguida de Nukak, mientras Puinawai y Chiribiquete seguían con bajos niveles de cultivos en coca.

Área / año	2000	2004	Cambio %	Cambio absoluto	Part % en el área total nacional - 2000	Part % en el área total nacional - 2004
Macarena	4318	10878	152	6560	2,65	13,6
Nukak	15637	6284	-60	-9353	9,59	7,85
Puinawai	228	195	-14	-33	0,14	0,24
Chiribiquete	1390	173	-88	-1217	0,85	0,22
Total Area de estudio	21578	17538	-19	-4040	13,24	21,92
Total nacional	163000	80000	-51	-83000	100	100

Fuente: Gobierno de Colombia - Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), censos de cultivo de coca 2000-2003. Bogotá D.C.

Tabla 4: Cultivos ilícitos en las áreas de interés

– Área en cobertura natural y transformada

La zona con mayor área en pastos y cultivos es el área de Nukak; en esta zona se observa un alto crecimiento (alcanzó a ser de 395% entre 2000 y 1985, un aumento de 211.536 ha). También se dio un gran aumento en vías terrestres (casi del 120% entre 2000 y 1985) pasando de 3.651 ha en 1985 a 8.028 ha en 2000 (apéndice A). Macarena es otra de las zonas con mayor transformación, la cobertura natural en esta zona disminuyó en casi un 9% entre los ochenta y los dos mil, en tanto que la disminución en la zona de Nukak fue de 6% (Fig 4 y 5)

Las zonas de Puinawai y Chiribiquete presentan los menores cambios de cobertura natural entre el período 1985 – 2000, las vías son casi inexistentes, para el año 2000 sólo existían 379 ha en vías en Puinawai y 655 ha en Chiribiquete (apéndice A).

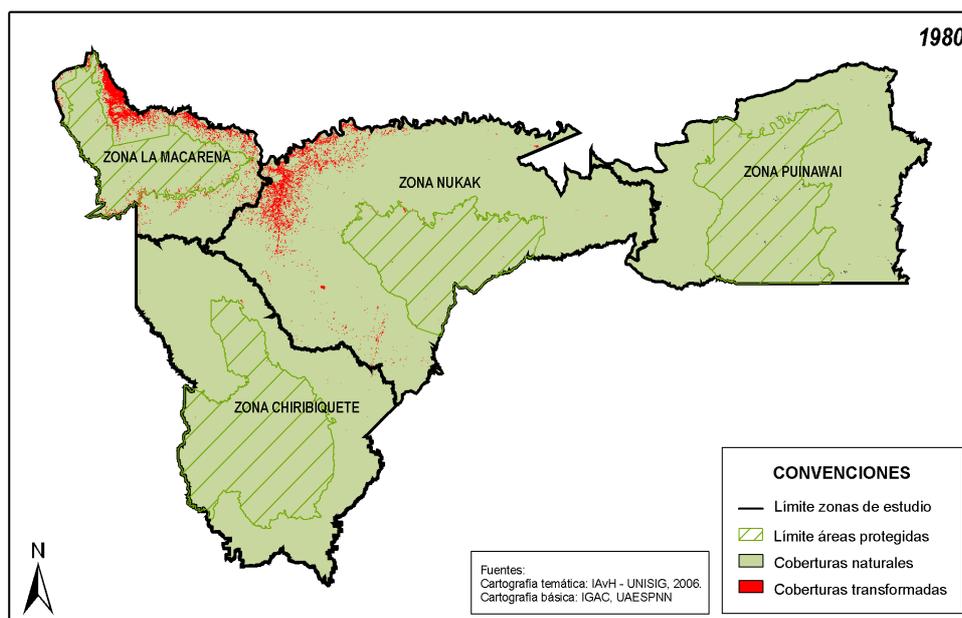


Figura 4: Mapa de cobertura 1980 para las cuatro zonas de estudio

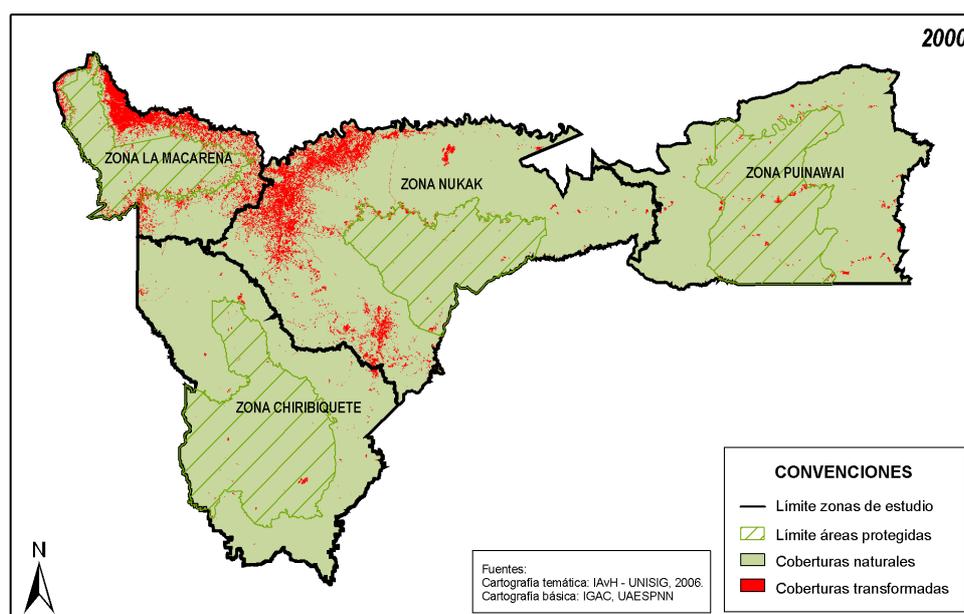
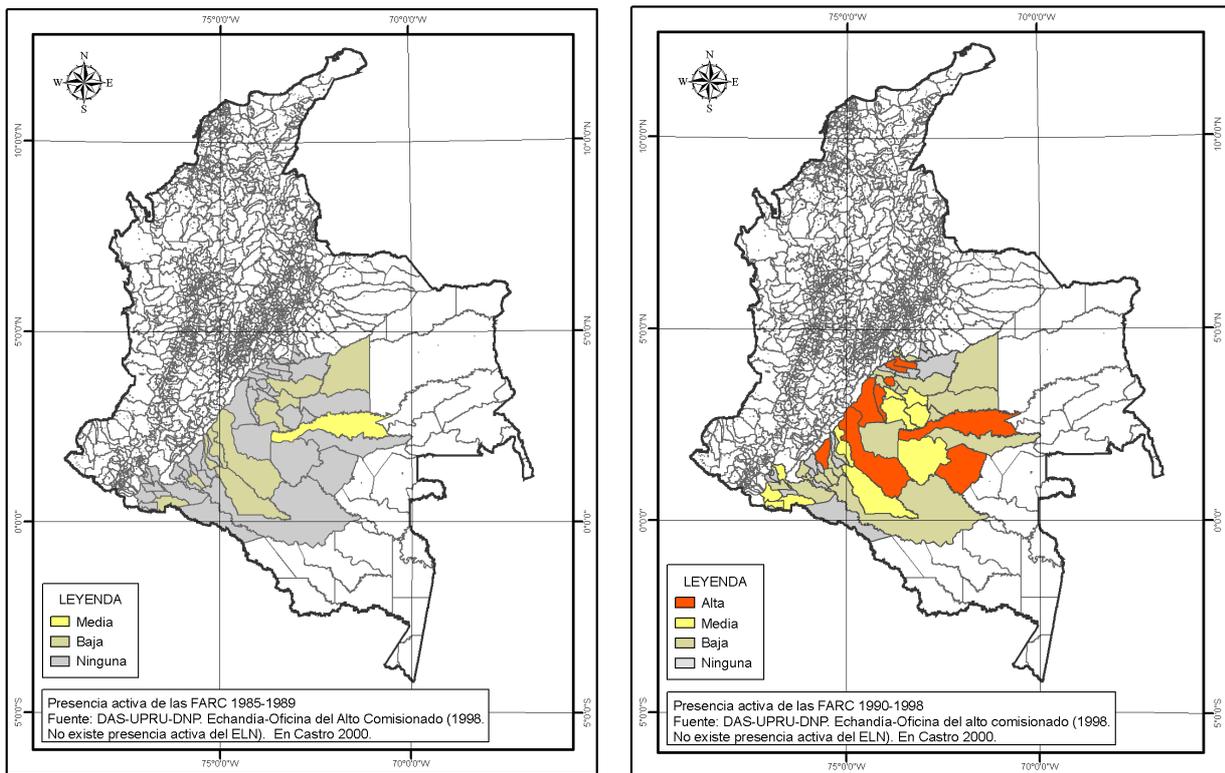


Figura 5: Mapa de cobertura 2000 para las cuatro zonas de estudio

- Violencia y presencia de grupos armados ilegales

El área de estudio es una de las regiones con mayores niveles de violencia del país, como se observa en la figuras 6 la presencia de grupos armados ilegales como las FARC en los departamentos asociados a la zona de estudio aumentó entre las décadas de los ochenta y noventa. En los noventa la llegada de grupos paramilitares incrementó la problemática.



Fuente: DAS-UPRU-DNP. Echandía-Oficina del Alto Comisionado. Tomado de Castro 2000.
Figura 6: Presencia activa de las FARC 1985 -1989 y 1990 -1998

3.2 Análisis de asociaciones

Los análisis de las variables sociales y demográficas, permiten evidenciar cómo las zonas más transformadas así mismo resultan ser las que presentan mayor densidad poblacional, mayor área en cultivos ilícitos, mayor área en vías y en pastos y mayores niveles de desplazamiento forzado de personas.

Las anteriores relaciones se corroboraron a través de un análisis de asociaciones realizado a nivel municipal entre los indicadores. Los resultados muestran cómo el área en vías, el área en pastos y la población, resultaron estar correlacionados de forma significativa y positiva como se esperaba, es decir, zonas con mayor posibilidad de acceso a su vez presentan mayor cobertura antrópica en pastos y mayor densidad demográfica. (Tabla 5)

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación	Significancia (bilateral)
Area en Vías 2000	Cobertura Antropica (ha) 2000	,798(**)	0,0
Area en Coca 2000 (ha)	Cobertura Antropica (ha) 2000	,753(**)	0,0
Area en Coca 2000 (ha)	% Personas trabajando (Sisben) Zona rural	,918(**)	0,0
Población Total 2000 (DANE) Estimada	Cobertura Antropica (ha) 2000	,727(**)	0,0
Area en Coca 2000 (ha)	Población Total 2000 (DANE) Estimada	,896(**)	0,0
Cambio Area en Vías 00/85	Area en Pastos y Cultivos 2000	,887(**)	0,0
Desp Expul 2000 RSS	Area en Pastos y Cultivos 2000	,788(**)	0,0
Total Población Sisben Estimada	Area en Pastos y Cultivos 2000	,973(**)	0,0
Población Total 2000 (DANE) Estimada	Area en Pastos y Cultivos 2000	,820(**)	0,0
Area en Coca 2000 (ha)	Area en Vías 2000	,861(**)	0,0
Area en Vías 2000	Area en Pastos y Cultivos 2000	,813(**)	0,0
Area en Coca 2000 (ha)	Total Población Sisben Estimada	,818(**)	0,0
Total Población Sisben Estimada	Cobertura Antropica (ha) 2000	,818(**)	0,0

** Significancia al 1%

Tabla 5. Síntesis de algunas de las correlaciones significativas

La variable área en vías, al estar asociada al área en pastos y al área en cultivos, evidencia el efecto multiplicador negativo sobre la biodiversidad, multiplicador en el sentido que genera nuevas presiones como atracción de población que generalmente se dedica a actividades económicas que degradan en mayor forma como la ganadería y la agricultura. (Figura 7)

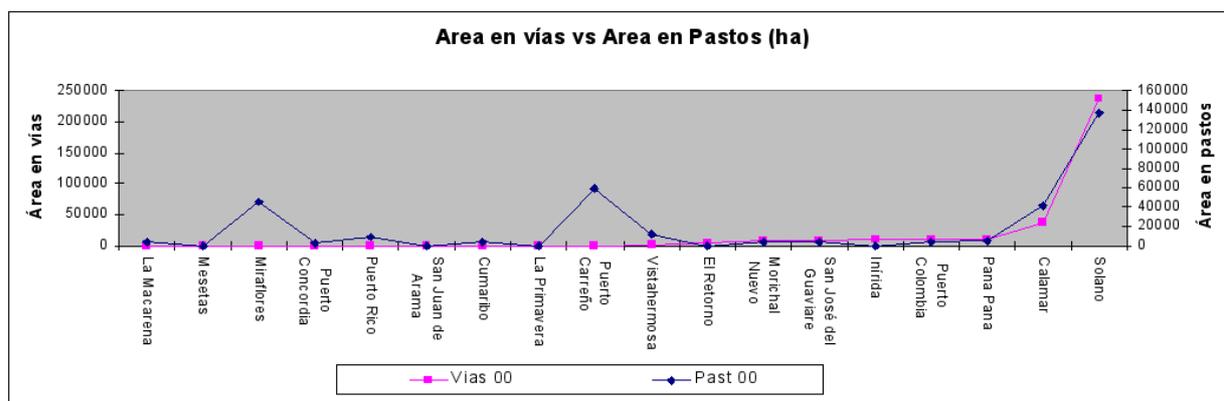


Figura 7: Área en Pastos y vías – Año 2000

3.3 Los modelos de regresión logística

Del análisis realizado para la cobertura en el año 2000 con regresión logística, se encontraron los siguientes resultados para cada zona:

- Macarena

Para la región de Macarena en general todas las variables incluidas en el modelo resultaron ser significativas y con los signos esperados (ver apéndice B)

Las variables distancia a vías, distancia a ríos y distancia a cabeceras presentaron coeficientes positivos indicando que la probabilidad de que un píxel esté transformado es mayor cuanto más cercano este se encuentren a la vía, al río o a una cabecera, así mismo estos valores van disminuyendo a medida que hay una mayor distancia, lo que sustenta el efecto significativo de la cercanía en que un píxel esté transformado.

En el caso de la variable vías se obtuvo un coeficiente de 1.811 para vías (1), seguida de vías (2) con 1.047 y vías (3) con 0.519. Los resultados se analizan igualmente a través de los odds ratio mostrando que vías (1) presenta un valor 6.117 lo que se traduce en que el riesgo de deforestación es 6 veces mayor en pixeles que se encuentran muy cercanos (entre 0 y 1000 metros) comparado con la situación de estar lejos (nivel de referencia). En el caso de ríos se presenta la misma situación presentando valores de ríos (1) con 1.698, seguida de ríos (2) con 1.608 y ríos (3) con 1.107.

Otro de los resultados importante fue la significancia de la variable estado legal (1), lo cual evidencia que existe mayor riesgo de pixeles transformados para aquellos casos que presentan una figura de estado legal del territorio diferente a la de parque natural. El odds ratio presentó un valor de 3.692 mostrando que el riesgo de que un píxel esté transformado es casi 4 veces mayor cuando hay estados legales de territorio diferentes a la de parque natural .

- Nukak

Para la zona de Nukak se evidencia que todas las variables incluidas en el modelo resultaron significativas con excepción de las variables de pendiente y altura (apéndice B)

Igual que en la zona de Macarena, las variables distancia a vías, distancia a ríos y distancia a cabeceras presentaron coeficientes positivos y con valores crecientes que evidencia un mayor riesgo de transformación de los píxeles en la medida que estos están más cercanos (ej: vías (1) tuvo un coeficiente asociado de 2.421 y un exp de 11,257 valor que resulta ser mayor que al resto de áreas de estudio, es decir en la región de Nukak existe un riesgo 11 veces mayor de pixeles transformados cuando hay vías cercanas - entre 0 y 1000 metros - que cuando están más lejanos). En el caso de distancia a cabeceras se destaca el valor alto del exp(B) para la cabecera (1) (54.137) lo cual evidencia el gran impacto de la cercanía de las cabeceras al hecho de tener pixeles transformados, pues estaría mostrando que existe un riesgo que un píxel este transformado 54 veces mayor cuando hay cabeceras cercanas (entre 0 y 50 km) que cuando están distantes).

- Chiribiquete

Para la región de Chiribiquete únicamente resultaron significativas las variables relativas a acceso (distancia a vías y ríos), y una de las categorías referentes a estado legal (apéndice B).

Con respecto a la variable distancia a vías y distancia a ríos los resultados muestran un mayor riesgo de transformación en píxeles cercanos a vías comparado con estar lejos. Con respecto al estado legal únicamente fue significativa la categoría correspondiente a estado legal (2) que se refiere a resguardos, es decir, que hay mayor probabilidad de tener una cobertura transformada en píxeles asociados a resguardos que a píxeles con estado legal correspondiente a parques.

- Puinawai

La región de Puinawai presentó como variable significativa la distancia a ríos, resultado esperado pues como se comentaba anteriormente los ríos Inírida y Guainía son básicamente las vías de comunicación básicas. El resto de variables con excepción de aptitud no presentaron significancia. La inexistencia de cabeceras dentro de la región y de vías terrestres en el territorio permiten cierto grado de inaccesibilidad que garantizan un nivel de conservación en la región de Puinawai, por ello esta región junto a Chiribiquete resultan ser las que menos procesos de transformación presentan y menos influencia de variables sobre el proceso de transformación. El ser la zona menos transformada de las regiones analizadas puede ser explicado precisamente por la ausencia de factores que influyen en la deforestación. (apéndice B)

- Habilidad Predictiva de los modelos

Coefficientes de Somers's y Gamma en los modelos: Los coeficientes de Somers's y Gamma presentan valores superiores a 0.6 en todos los casos lo cual se puede interpretar como una buena medida de asociación entre las probabilidades observadas y las estimadas por el modelo. (Ver tabla 6)

Zona / Coeficiente	Somers	Gamma
Macarena	0,71	0,72
Nukak	0,8	0,81
Chiribiquete	0,64	0,74
Puinawai	0,63	0,71

Tabla 6: Coeficientes de Somers y Gamma en los modelos

- Pruebas de bondad de ajuste

Pruebas de ómnibus y pruebas de Hosmer y Lemeshow: Los test de ómnibus para todos los modelos realizados muestran que el chi cuadrado resulta estadísticamente significativo tanto para el paso como para el bloque y el modelo lo cual en este ultimo evidencia que en forma conjunta las variables son significativas.

Con respecto a las Prueba de Hosmer y Lemeshow, los resultados para todos los modelos evidenciaron que la hipótesis nula de que no hay diferencias entre los valores observados de la

variable dependiente y los que predice el modelo es rechazada.

3.4 Estimación del modelo de simulación dinámica del paisaje utilizando el software Dinámica

- Zona de La Macarena

Descripción de la matriz de transición: Esta matriz sintetiza los cuatro posibles cambios entre la década de los 80's y la década de los dos mil, en particular, se estimó para la zona que la probabilidad de cambio de estado de natural a transformado es 0,11. También se resalta que la probabilidad de permanecer en el mismo estado natural correspondió a 0,89. (Tabla 7).

Año		2000	
		Cobertura	
1985	Natural	0,89	0,11
	Transf.	0,05	0,95

Tabla 7: Matriz de transición -período 80s – 2000 para la zona de Macarena

Estimación de los pesos de evidencia: En la figura 7 se presentan los pesos de evidencia (W+) de las variables distancia a vías y cabeceras en las cuales se resalta como los primeros niveles que corresponden a mayor cercanía tienen un mayor efecto sobre la probabilidad de cambio de estado de los píxeles de natural a transformado, esto significa que dichas variables asociadas a la accesibilidad se constituyen en factores dinamizadores de cambio (Si el valor estimado de los W+ es positivo este es un indicador de que el nivel de la variable aporta al aumento de la probabilidad de cambio).

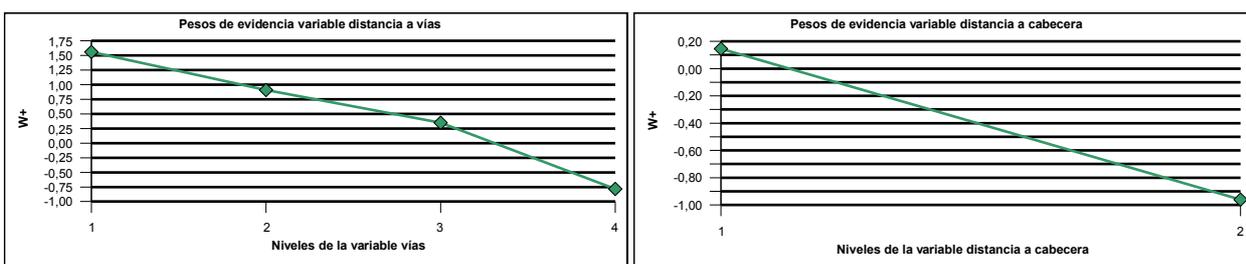


Figura 8. Pesos de evidencia de las variables distancia a vías y distancia a cabeceras en la zona de La Macarena

Identificación de las variables predictoras que mayor aportan a la probabilidad de cambio: En la tabla 8 se presentan las variables que mayor aportan a la probabilidad de cambio respecto al siguiente subconjunto de variables: i) distancia a ríos, ii) distancia a vías, iii) distancia a cabecera

y estado legal.

Variable y nivel	Estadística de Contraste $C = W+ - W-$ Para el primer nivel de la variable	Efecto absoluto significativo
1. Distancia a vías – nivel 1	1,79	Si
2. Estado legal – nivel 1	1,76	Si
3. Distancia a cabecera – nivel 1	1,11	Si
4. Distancia a ríos – nivel 1	0,64	Si

Tabla 8: Orden de importancia de las variables predictoras sobre la probabilidad de cambio de estado natural a transformado

Simulación de la dinámica de cambio: En la figura 8 se presenta los resultados del procesos de simulación para la zona de La Macarena, se presentan los mapas correspondientes al año 2000 y los mapas correspondientes a los tiempos de paso 5,10,15 y 20, se observa que los procesos expansión de píxeles transformados se proyecta que sea en los bordes de los fragmentos naturales que coincide con el límite del parque natural de La Macarena, adicionalmente se presenta una ventana que permite ver en detalle la dinámica de cambio.

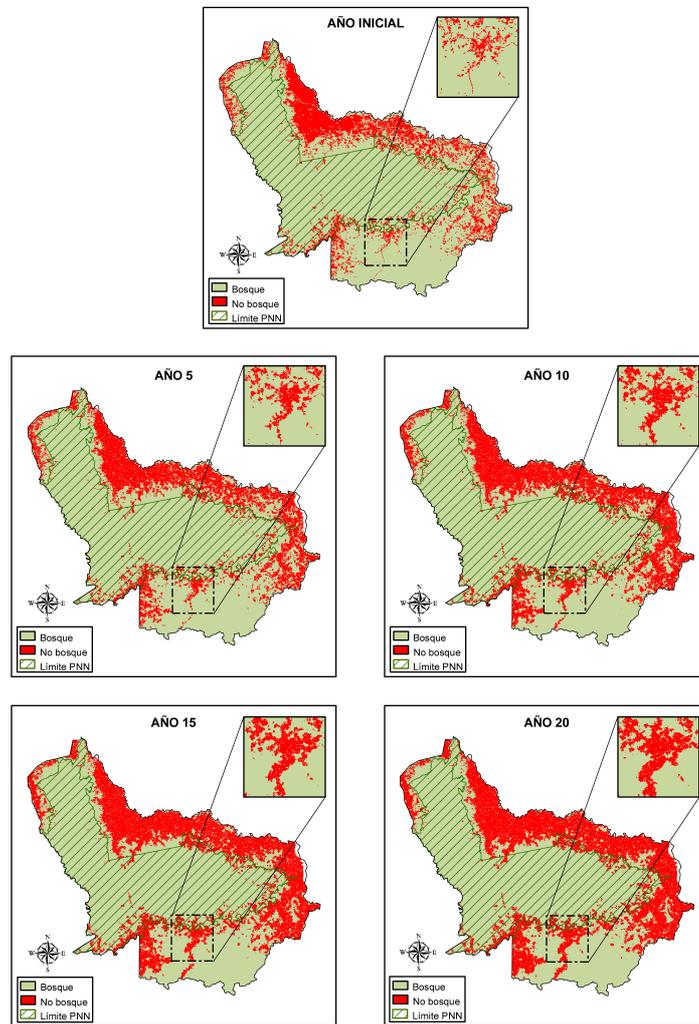


Figura 9. Resultados del proceso de simulación para la zona de La Macarena

- Zona Nukak

Descripción de la matriz de transición: En la tabla 9 se presenta la matriz de transición para la zona de Nukak, se observa que la probabilidad estimada de cambio de natural a transformado es 0,06 y la probabilidad de permanecer en el mismo estado natural es 0,94.

		Año	
		2000	
1985	Cobertura	Natural	Transf.
	Natural	0,89	0,11
	Transf.	0,05	0,95

Tabla 9. Matriz de transición período 80s – 2000 para la zona de Nukak.

Estimación de los pesos de evidencia: en la figura 9 se presentan los pesos de evidencia de las

variables distancia a ríos, distancia a cabeceras y distancia a vías. Se muestra como el primer nivel de este subconjunto de variables tiene un mayor efecto sobre la probabilidad de cambio de estado, es decir, el nivel de cercanía de un píxel a estos factores influye en la probabilidad de cambio.

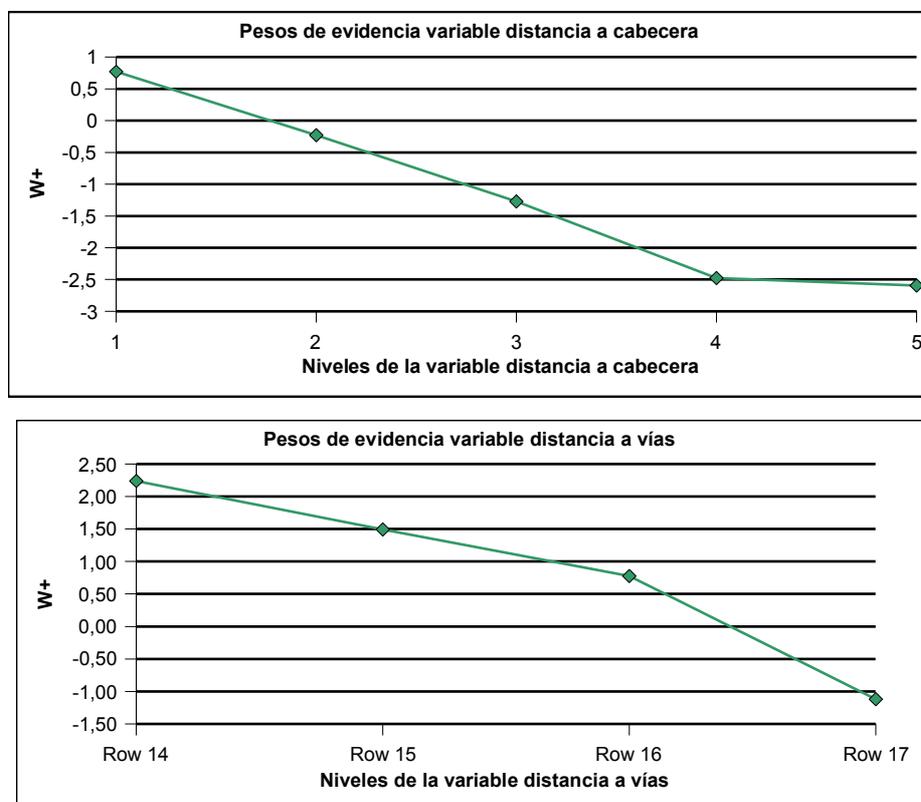


Figura 10. Pesos de evidencia de las variables distancia a vías y distancia a cabeceras en la zona de Nukak

Identificación de las variables predictoras que mayor aportan a la probabilidad de cambio: En la tabla 10 se presentan los variables que mayor aportan a la probabilidad de cambio, este proceso de identificación y ordenación se realiza empleando la estadística de contraste denominada C . De esta forma, se observa que las dos primeras variables asociadas a la accesibilidad influyen en la probabilidad de cambio de estado de los píxeles de natural a transformado.

Variable y nivel	Estadística $C = W+ - W-$ Para el primer nivel de la variable	Efecto absoluto significativo
1. Distancia a vías – nivel 1	2,6	Sí
2. Estado legal – nivel 1	1,71	Sí
3. Distancia a cabecera – nivel 1	1,66	
4. Distancia a ríos – nivel 1	0,33	Sí

Tabla 10. Orden de importancia de las variables predictoras sobre la probabilidad de cambio de estado natural a transformado

Simulación de la dinámica de cambio: En la figura 10 se observa la dinámica de cambio para la zona de Nukak, se presenta el mapa para el año 2000 y la simulación de 4 tiempos de paso, año 5, 10, 15 y 20, se observa que los píxeles naturales próximos a los píxeles transformados van cambiando a ser transformados y en la último año de simulación se generan claramente píxeles transformados por el proceso de extensión de las vías.

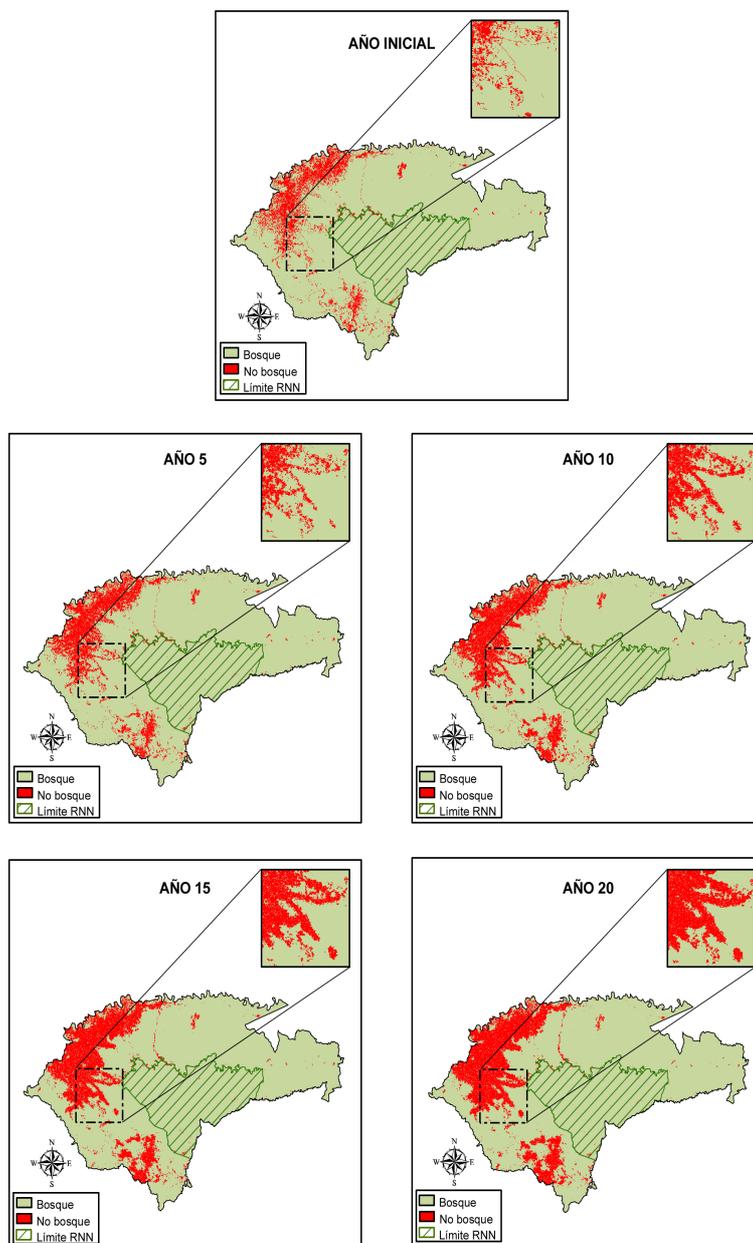


Figura 11. Resultados del proceso de simulación para la zona de Nukak

4 Conclusiones

De los modelos realizados con regresión logística para el año dos mil, se puede identificar cómo las zonas más transformadas presentaron el mayor número de variables significativas, es decir presentan un mayor número de factores que influyen en los procesos de transformación (Tabla 11)

Variable / zona	Macarena	Nukak	Chiribiquete	Puinawai
Vías	*	*	*	
Ríos	*	*	*	*
Estado Legal	*	*	*	
Pendiente	*		*	
Paisaje	*	*		
Poblacion	*	*		

* Variables Significativas en el modelo

Tabla 11: Variables significativas en los modelos logísticos

En todas las zonas se determinó como las variables de acceso (cercanía a vías terrestres o fluviales-ríos) fueron significativas, es decir estas fueron los principales factores responsables del proceso de transformación y deforestación. Para el caso de Macarena, Nukak particularmente se puede evidenciar como los procesos de transformación siguen el trayecto de las vías y ríos, mientras que en la zona del Puinawai al no presentar área en vías, la variable cercanía a ríos resulto ser la única variable significativa; por otra parte para el área de Chiribiquete aunque presenta un porcentaje bajo de vías y poca transformación se evidencia que el acceso comienza a influir en los procesos de transformación.

Otra variable fundamental que explica por qué Nukak y Macarena son las zonas más transformadas, es la cercanía a cabeceras, esta variable únicamente fue significativa en estas zonas, esto evidencia como el estar cerca de grandes centros urbanos, se convierte en un factor que puede favorecer los procesos de colonización. Por el contrario las zonas de Puinawai y Chiribiquete que tienen ausencia de cabeceras municipales en su área presentan menor transformación

Las áreas de Puinawai y Chiribiquete poseen el menor porcentaje en cobertura transformada y de igual manera el menor número de variables con influencia significativa en los procesos de transformación. Estas zonas deben su estado de conservación a su dificultad de acceso distancia a grandes centros poblados, en el caso de Puinawai su población es básicamente indígena y no a ejercido grandes presiones negativas, para el caso de Chiribiquete su condición de inaccesibilidad le garantiza mantenerse prácticamente deshabitada.

De otro lado se observa que la significancia de la presencia de un área protegida influye de forma relevante en los niveles de conservación de las zonas, pues en áreas de las zonas de estudio que no tienen esta figura se presentan mayor probabilidad de deforestación.

Respecto al análisis de la dinámica de cambio de los píxeles de un estado natural a estado transformado al comparar las década de los 80's y el dos mil para las zonas de La Macarena y Nukak se encontró que la zona de La Macarena presentó una probabilidad de cambio de 0,11 y la zona de Nukak un valor de 0,06, lo que significa que la dinámica de cambio ha sido mayor en la primera zona

Teniendo en cuenta los pesos de evidencia para la zona de La Macarena y Nukak y

considerando el conjunto de variables relacionadas con accesibilidad (distancia a ríos, distancia a vías y distancia a cabecera) y estado legal del territorio, se identificaron que las dos primeras variables que tienen un mayor efecto en el incremento de la probabilidad de cambio de natural a transformado en la zona de Macarena son: i) distancia a vías (1,56), ii) estado legal (0,64) para el caso de la zona de Nukak se identificó que las dos primeras variables que tienen un mayor efecto en el incremento de la probabilidad de cambio de natural a transformado fueron: i) distancia a vías (2,24) y ii) distancia a cabecera (0,77).

Dado que las áreas protegidas tienen impacto ambiental positivo (servicios ecosistémicos, biodiversidad) no sólo dentro de las zonas declaradas como tales sino también fuera de su jurisdicción, la transformación de sus áreas de influencia puede comenzar a afectar negativamente la biodiversidad dada la ruptura de la conectividad para cierto tipo de especies biológicas o porque se puede constituir en amenazas que pueden afectar directamente el área núcleo de conservación.

Las cuatro zonas de estudio presentaron diferentes grados de transformación en las áreas de influencia presentando importantes diferencias con respecto a los efectos de presión de ellas en su área de influencia, los mayores niveles de pérdida de cobertura natural se presentó en las zonas de La Macarena y Nukak, zonas donde la colonización y la economía extractiva han avanzado de gran forma gracias a la accesibilidad (fluvial o terrestre) y la cercanía a grandes centros de mercado. Según los resultados las figuras de área protegida, parque o resguardo son importantes para la conservación, sin embargo, en las áreas de influencia de Macarena y Nukak se ha presentado un alto ritmo de transformación. Esto contrasta con la situación de áreas como Puinawai y Chiribiquete, la primera se destaca por que aunque presenta población dentro de su área, su población es indígena y presenta uno de los mejores estado de conservación, lo cual muestra el equilibrio en el manejo de los recursos dado por los indígenas, de otro lado Chiribiquete presenta también altos niveles de conservación, pero la explicación radica en parte a su condición de inaccesibilidad por la no existencia de vías terrestres y vías fluviales innavegables, esto le permite no presentar presiones demográficas ni fenómenos expansivos, de colonización y economía extractiva en el sur de la región, adicionalmente presenta lejanía a centros de mercado grandes.

Los anteriores resultados son coincidentes con las causas directas de deforestación a nivel mundial, planteadas por Angelsen y Kaimowitz (1999), para quienes la accesibilidad (vías, caminos), Así mismo, permiten complementar otros estudios anteriormente realizados para Colombia Etter et al. (2005 y 2006) investigaciones que analizan patrones espaciales de deforestación y su vínculo con distancia a asentamientos y dinámicas de cambio de variables demográficas, al igual que los resultados de Armenteras et al. 2006 quienes analizan los procesos de degradación de ecosistemas naturales.

En los resultados se muestra cómo la posibilidad de acceso fluvial o terrestre y a la cercanía de centros de mercado importantes convierten en factores fundamentales que generan transformación y deforestación, esto como producto del avance de la colonización y la economía

extractiva. Por ello se recomienda adelantar procesos con las comunidades indígenas, los colonos, los propietarios para buscar un balance entre la conservación de los ecosistemas naturales actuales y la calidad de vida de las poblaciones presentes, principalmente en las zonas de Nukak y Macarena, donde estos factores tienen una influencia mayor en la transformación.

Agradecimientos

Queremos dar un especial agradecimiento al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología “Francisco José de Caldas” – COLCIENCIAS, por su apoyo financiero para desarrollar esta investigación. Igualmente a la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales –UAESPNN por su constante interés, apoyo y aportes; a Dolores Armenteras, directora del proyecto Análisis de patrones espaciales de pérdida y fragmentación de ecosistemas y factores socioeconómicos y demográficos asociados en cinco áreas protegidas del Escudo Guayanés; a Néstor Ortiz, investigador principal del sistema de indicadores del Instituto Humboldt por sus sugerencias y comentarios; al Departamento Nacional de Planeación, por habernos permitido acceder a la información de la investigación del Sisben. A Carlos Ariel Salazar, investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi, por sus aportes sobre colonización en el área de estudio.

A Britaldo Silvera Soares-Filho y Hermann Oliveira Rodrigues de la Universidad Federal de Minas Gerais, quienes nos asesoraron en el manejo y utilización del software de simulación del paisaje DINAMICA. A David Kaimovitz, del Center for International Forestry Research - CIFOR, quien nos suministró información bibliográfica referente a alternativas de modelos para explicar los procesos de deforestación en zonas tropicales. A Michael Campbell, Profesor of Medical Statistics University of Sheffield, por sus sugerencias en la interpretación y alcances de los modelos de regresión logística. A Clarice García Borges Demétrio, de la Universidad de Sao Paulo. Finalmente, expresamos nuestra especial gratitud a Fernando Gast Harders, director general del Instituto Humboldt, quien nos brindó todo su apoyo durante el proyecto y a todas aquellas personas que colaboraron y contribuyeron en el transcurso de esta investigación.

Apéndice A. Área, cambio absoluto y porcentual de cobertura natural y antrópica en las cuatro zonas de estudio

	AREA (ha)			Cambio absoluto			Cambio porcentual		
	1985	1990	2000	85-90	90-00	85-00	85-90	90-00	85-00
MACARENA									
Total Cobertura Natural	1226544	1204412	1098973	-22133	-105438	-127571	-2	-9	-10
Vías	270	415	3902	145	3487	3632	54	840	1345
Pastos y cultivos	46525	94852	169303	48327	74451	122778	104	78	264
Total Cobertura Antrópica	46795	95267	173205	48472	77938	126410	104	82	270
Pocentaje Cobertura Natural del total de área	91	89	82	-2	-7	-9	-2	-8	-10
NUKAK									
Total Cobertura Natural	3939227	3869972	3702392	-69255	-167580	-236835	-2	-4	-6
Vías	3651	4423	8028	772	3605	4377	21	82	120
Pastos y cultivos	53645	160271	265181	106626	104910	211536	199	65	394
Total Cobertura Antrópica	57296	164693	273208	107397	108515	215912	187	66	377
Pocentaje Cobertura Natural del total de área	97	95	91	-2	-4	-6	-2	-4	-6
CHIRIBIQUETE									
Total Cobertura Natural	3049972	3049364	3029701	-608	-19664	-20272	0	-1	-1
Vías	87	131	655	44	524	568	51	400	653
Pastos y cultivos	615	1241	6267	626	5026	5652	102	405	919
Total Cobertura Antrópica	702	1372	6922	670	5550	6220	95	405	886
Pocentaje Cobertura Natural del total de área	100	100	99	0	-1	-1	0	-1	-1
PUIAWAI									
Total Cobertura Natural	2903227	2903591	2881074	363	-22517	-22153	0	-1	-1
Vías	0	0	379	0	379	379	0	0	
Pastos y cultivos	4084	4239	16295	155	12056	12211	4	284	299
Total Cobertura Antrópica	4084	4239	16674	155	12435	12590	4	293	308
Pocentaje Cobertura Natural del total de área	100	100	99	0	-1	-1	0	-1	-1

Apéndice B. Resultados modelos de regresión logística para las cuatro zonas de estudio*

Variable	Categoría	Macarena			Chiribiquete			Nukak			Puinawai		
		B	Sig.	Exp(B) odds ratio	B	Sig.	Exp(B) odds ratio	B	Sig.	Exp(B) odds ratio	B	Sig.	Exp(B) odds ratio
Constante		-7,69	0,00	0,00	-39,20	1,00	0,00	-39,16	0,99	0,00	-21,69	1,00	0,00
Caberera (1)	0 - 50 km	1,31	0,00	3,71	18,40	1,00	102280647	3,99	0,00	54,14			
Caberera (2)	50 - 100 km				16,40	1,00	13409031	2,95	0,00	19,17			
Caberera (3)	100 - 150 km				16,40	1,00	13908190	2,13	0,00	8,40			
Caberera (4)	150 - 200 km				15,40	1,00	4985151	0,67	0,00	1,96			
Aptitud de Uso (1)	III	0,86	0,00	2,36	-0,60	0,30	0,50	-2,63	0,00	0,07	-1,41	0,00	0,24
Aptitud de Uso (2)	IV	1,13	0,00	3,10	0,90	0,10	2,40	-1,69	0,00	0,18	-0,49	0,00	0,61
Aptitud de Uso (3)	V	1,45	0,00	4,27	-0,20	0,70	0,80	-3,28	0,00	0,04	-0,78	0,00	0,46
Aptitud de Uso (4)	VI	0,69	0,00	1,99	-1,00	0,10	0,40	-0,80	0,00	0,45	-0,87	0,00	0,42
Aptitud de Uso (5)	VIII	0,87	0,00	2,38	-0,90	0,10	0,40						
Altura (1)	1 - 200 m	2,91	0,00	18,39	15,70	1,00	6263572	16,81	0,99	20063052	16,98	1,00	23,735,324
Altura (2)	201 - 300 m	3,43	0,00	30,89	15,40	1,00	4817855	15,90	0,99	8061142	16,34	1,00	12,461,235
Altura (3)	301 - 400 m	2,81	0,00	16,63	14,80	1,00	2586762	15,38	0,99	4764366	15,96	1,00	8,492,839
Altura (4)	401 - 500 m	2,96	0,00	19,24	14,80	1,00	2733972				0,47	1,00	1,60
Altura (5)	501 - 700 m	2,57	0,00	13,03	14,51	1,00	2000766				0,50	1,00	1,64
Altura (6)	701 - 900 m	2,57	0,00	13,02							0,50	1,00	1,64
Altura (7)	901 - 1100 m	2,53	0,00	12,55									
Altura (8)	> 1101 m	0,01	0,99	1,01									
E. Legal (1)	Otro estado legal	1,31	0,00	3,69	-0,10	0,10	0,90	0,76	0,00	2,15			
E. Legal (2)	Resguardos				1,10	0,00	3,00	0,27	0,00	1,31	-0,07	0,02	0,93
Ríos (1)	0-1000 m	1,70	0,00	5,46	2,10	0,00	8,50	1,27	0,00	3,57	3,59	0,00	36,14
Ríos (2)	1001 - 2500 m	1,61	0,00	5,00	1,70	0,00	5,50	0,80	0,00	2,23	2,56	0,00	12,89
Ríos (3)	2501 - 5000 m	1,11	0,00	3,03	1,80	0,00	5,80	0,38	0,00	1,47	0,88	0,00	2,42
Vías (1)	0 - 1000 m	1,81	0,00	6,12	2,80	0,00	16,00	2,42	0,00	11,26			
Vías (2)	1001 - 2500 m	1,05	0,00	2,85	1,70	0,00	5,30	1,62	0,00	5,05			
Vías (3)	2501 - 5000 m	0,52	0,00	1,68	0,20	0,10	1,20	0,86	0,00	2,36			
Paisaje (1)	Llanura Aluvial	-0,55	0,00	0,58	0,10	0,30	1,10	2,98	0,00	19,64	-0,95	0,00	0,39
Paisaje (2)	Planicie Amazónica	1,52	0,00	4,59	-15,20	1,00	0,00	-15,05	1,00	0,00	-17,88	1,00	0,00
Paisaje (3)	Lomerío Estructural	2,18	0,00	8,84							-0,98	0,00	0,38
Paisaje (4)	Piedemonte diluvial	-0,55	0,00	0,58									
Paisaje (5)	Montaña estructural	0,00	1,00	1,00									
Pendiente (1)	0 - 3 %	-0,70	0,04	0,50	-0,70	0,10	0,50	15,75	1,00	6888090			
Pendiente (2)	4 - 7 %	-0,92	0,01	0,40	-0,70	0,10	0,50	15,70	1,00	6553559			
Pendiente (3)	8 - 12 %	-1,14	0,00	0,32	-1,50	0,00	0,20	15,66	1,00	6315			
Pendiente (4)	13 - 25 %	-1,25	0,00	0,29	-1,80	0,00	0,20	14,36	1,00	1716922			
Pendiente (5)	25 - 50 %	-1,30	0,00	0,27									

*Los modelos incluyen las categorías de las variables presentes en cada zona.

Bibliografía

- Almeida, C.; Vieira, A.; Câmara, G.; Silveira, B.; Soares-Filho, S.; Cerqueira, G.; Pennachin, C.; & Batty, M. (2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 4, 20, February 2005, 759-774. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/claudia_ijrs.pdf> [Consulta 16/03/2006]
- Almeida, C.; Vieira, A.; Câmara, G.; Soares-Filho, B.; Cerqueira, G.; Pennachin, C.; Batty, M. (2002). *Empirism and Stochastic in Cellular Automaton Modelling of Urban Land Use*. Centre for Advanced Spatial Analysis, University of College London.
- <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/claudia_ceus.pdf> [Consulta 10/05/2006]
- Andrade, G. y A. Etter. (1987). Levantamiento ecológico del área de colonización de San José del Guaviare. Corporación Araracuara – Proyecto DAINCO – CASAM. Bogotá.
- Angelsen, A. y D. Kaimowitz. (1999). Rethinking the causes of deforestation: Lessons from Economic Models. *The World Bank Research Observer* 14(1). p. 73-98
- Arcila, O. (1991). “Diagnóstico económico de la colonización en la reserva de La Macarena”, en Corporación Araracuara, Fondo FEN. *Colonización del bosque húmedo tropical*. Bogotá: p. 205-213.
- Arcila, O.; González G.; Gutiérrez F.; Rodríguez A.; y Ariel C. (2000). Caquetá, construcción de un territorio amazónico en el siglo XX. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi). Bogotá.
- Ariza, E.; Ramírez, M.C.; Vega, L. (1998). Atlas cultural de la Amazonia colombiana. La construcción del territorio en el siglo XX. Instituto Colombiano de Antropología. Bogotá.
- Armenteras, D.; Rudas, G.; Rodríguez, N.; Sua, S.; Romero, M. (2006). “Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon”, *Ecological Indicators* 6. p. 353-368.
- Armenteras, D.; Rincón, A.; Ortiz, N. (2005). Ecological function assessment in the colombian andean coffee-growing region. Sub global assessment working paper. Millennium Ecosystem Assessment.
- Brown, K.; Pearce, D. (1994). *The causes of tropical deforestation*. UBC Press, University of British Columbia.
- Cárdenas, M.; Rodríguez, M. (eds.). (2004). Guerra, Sociedad y medio ambiente. Foro Nacional Ambiental. Fundación Alejandro Ángel Escobar, Universidad de Los Andes-Facultad de Administración, Ecofondo, Tropenbos Internacional Colombia, GTZ, Friedrich Ebert Stiftung en Colombia-Fescol. Prisma Asociados Ltda. Bogotá, Colombia. 545 p.
- CODHES. Consultoría para los Derechos Humanos y el Desplazamiento. (2005). Sistema de información de hogares desplazados SISDES. <http://www.codhes.org.co/observatorio/observ_sisdes.htm> [Consulta 03/02/2006]
- Castro, M.; Aristizabal, H. J. (2000). Conflicto, región y desarrollo en el suroriente colombiano (DNP). <www.derechoshumanos.gov.co/observatorio/04_publicaciones/04_03_regiones/suroriente/cap1.htm> [Consulta 05/03/2006]
- 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. p. 487-512
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (1998). Proyecciones Municipales de Población por Área 1995-2005. DANE. Bogotá.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2004). Diversidad étnica y cultural. Entidades territoriales indígenas. Archivo de Excel en línea:

<http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Territorial/divers_etnica/indigenas/ubic_geogr/DANE_RESGUARDOS_INDIGENAS_DE_COLOMBIA_2003.xls> [Consulta 05/01/2006]

Etter, A.; McAlpine, C.; Pillar, D.; Possingham, H. (2006). "Modelling the conversion of Colombia lowland ecosystems since 1940: Drives, patterns and rates", *Journal of Environmental Management.*, 79 p. 74-87.

Etter, A.; McAlpine, C.; Wilson, K.; Phinn, S.; Possingham, H. (2005). "Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia". *Agriculture, Ecosystems & Environment* (In press)

Etter, A. (ed). (2001). Puinawai y Nukak: Caracterización ecológica de dos reservas nacionales naturales de la amazonía colombiana. Pontificia Universidad Javeriana, Gobierno Francés, Colciencias, Ministerio del Medio Ambiente, UAESPNN, Instituto Alexander von Humboldt y Fundación FES. Bogotá.

Etter, A. (1992). "Caracterización ecológica general y de la intervención humana en la Amazonia colombiana", en Andrade, Hurtado y Torres. *Amazonia colombiana diversidad y conflicto*. Bogotá.

Fundación Social, Departamento Nacional de Planeación y Ministerio de Desarrollo. (1998). Municipios y Regiones de Colombia: una mirada desde la sociedad civil. Bogotá.

Geist H. y Lambin E. (2002). Land-Use and Land-Cover Change (LUCC). Project IV. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHPD). Report Series 4.

Gobierno de Colombia (UNODC) Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito Censos de cultivo de coca 2000-2003. 2004. Bogotá . <<http://www.unodc.org/colombia/es/coca2004.html>> [Consulta 05/03/2006]

Hosmer, D.; Lemeshow, S. (1989). Applied Logistic Regression. John Wiley & Sons, New York, USA.

IAvH- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2006. Proyecto Análisis de patrones espaciales de pérdida y fragmentación de ecosistemas y factores socioeconómicos y demográficos asociados en cinco áreas protegidas del Escudo Guayanés. Informe final de resultados. Contrato RC. No. 211 – 2004 – Convenio IAvH y Colciencias. Bogotá, Colombia.

IEPRI – FESCOL. (1999). Conflictos regionales: Amazonía y Orinoquia, Colección Debate Político, Tercer Mundo Editores. Bogotá,

Kaimowitz D.; A. Angelsen (1998). Economic Models of Tropical Deforestation a Review. Center for International Forestry Research - CIFOR. Bogor, Indonesia

Leal, C. 1995. A la buena de Dios: colonización en La Macarena, ríos Duda y Guayabero. CEREC – FESCOL. Bogotá

Ludeke, A.K.; Maggio, R.C.; Reid, L.M. (1990). "An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS", *Journal of Environmental Management* 31, p. 247-59 en Kaimowitz y Angelsen, 1998.

Mertens, B.; Lambin, E. (1999). "Modelling land cover dynamics: integration of fine scale land cover data with landscape attributes", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 1(1), p. 48-52.

Mertens, B.; Kaimowitz D.; Puntodewo A.; Vanclay J.; Mendez P. (2004). "Modeling deforestation at distinct geographical scales and time periods in Santa Cruz, Bolivia", *Internacional Regional Science Review* 27 (3), p. 271-296.

Molano, A. (1988). La colonización de la reserva la Macarena: yo le digo una de las cosas. 1980 Corporación Aracuara – Fondo FEN. Bogotá.

Nelson, G.; Hellerstein, D. (1997). "Do roads cause deforestation? Using satellite images in econometric analysis of land use". *American Journal of Agricultural Economics* 79: 80-8.

- Ortiz N.; Morales, M.; Bernal, N.R.; Rodríguez N.; Baptiste M.P.; Franco A.M. (2005). Línea base de la biodiversidad en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Instituto Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Serie: Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en Colombia, Número 5. Bogotá.
- Read, J.M.; Denslow, J.; Guzman S. (2001). “Documenting land cover history of a humid tropical environment in northeastern Costa Rica using time-series remotely sensed data” in Millington, Walsh y Osborne (Eds), *GIS and remote sensing applications in biogeography and ecology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 68-89.
- RDS - Red de Solidaridad Social. (2005). Sistema Único de Registro S.U.R. Registro Único de Población Desplazada. <http://www.red.gov.co/Programas/Apoyo_Integral_Desplazados/SUR/Registro_SUR_Municipal.htm> [Consulta 11/03/2006]
- Rincon, A.; Armenteras, D.; Ortiz N.; Ramirez, D.; Cabrera, E.; (2004). Indicadores de Seguimiento y Evaluación de la Política de Biodiversidad en la zona cafetera occidental: avances metodológicos y resultados, IAvH. Serie: Indicadores de Seguimiento y Evaluación de Política de Biodiversidad. Bogotá.
- Rodríguez, N.; Rincón A.; Armenteras D.; Mendoza H.; Umaña A.M.; Arango N.; Baptiste M.P. (2005). Corredor nororiental de robles: indicadores de estado de la biodiversidad, factores antrópicos asociados y áreas prioritarias de conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Serie: Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad. Bogotá.
- Romero, M.; Sua S.; Rodríguez, N.; Rudas, G.; Armenteras, D. (2003). Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonía colombiana: Aspectos metodológicos y resultados. IAvH. Serie: Indicadores de Seguimiento y Evaluación de Política de Biodiversidad. Bogotá.
- Rudas G.; Armenteras, D.; Sua, S.M.; Rodríguez, N. (2002). Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana. Informe final de resultados. Proyecto Diseño e Implementación del Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana. Instituto Humboldt, CDA, Corpoamazonia, Cormacarena, Instituto Sinchi, Unidad de Parques, Ministerio del Medio Ambiente (Crédito BID 774 OC/CO), Bogotá, Colombia.
- Serneels, S.; Lambin, E.F. (2001). “Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*. p. 65-81.
- Sisben. (2003-2004). Información de la encuesta Sisben elaborada por el Departamento Nacional de Planeación años 2003 – 2004. Archivos en SAS.
- Soares – Filho B.S. (1998). Modelagem da dinamica de paisagem de uma regio de fronteira de colonizacao amazonica. Thesis (Doctorate). Escola Politécnica de Universidade de Sao Paulo, Sao Pualo, p. 299.
- Soares-Filho B.S.; Assuncao R.M.; Pantuzzo, A. (2001). “Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier”, *Bio-Science* 51, p. 1059 – 1067.
- Soares-Filho B.S.; Cerqueira G.C.; Pennachin C.L. (2002a). “DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier”, *Ecological Modelling* 154: p. 217-25.
- Soares-Filho B.S.; Cerqueira G.C.; Araujo W. (2002b). DINAMICA project. <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica>> [Consulta 03/02/2006]
- Stokes, M.E.; Davis C.S.; Koch, G.G. (1995). Categorical data analysis using the SAS System, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- STRM (2000). Modelo digital del Terreno, Proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Space

Administration (NASA), Nacional Imagery Mapping Agency (NIMA), German Space Agency (DLR) e Italian Space Agency (ASI).

Wang, H.; Cai, G.; Cheng, Q. (s.f.). Data integration using weights of evidence model: application in mapping mineral resources potentials. < http://www.personal.psu.edu/users/h/z/hzw102/papers/268_Wang_paper.pdf > [Consulta 08/02/2006]

Wong, D.; Lee, J. (2005). Statistical Analysis of Geographical Information with Arcview GIS and ArcGIS, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.