



XVI SIMPOSIO  
INTERNACIONAL  
SELPER 2014

La Geoinformación  
al Servicio de la Sociedad

# Memorias



Sociedad Latinoamericana en  
Percepción Remota y Sistemas  
de Información Espacial  
Capítulo Colombia

**30**  
AÑOS

Medellín, Colombia  
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



# MODELACIÓN ESPACIAL DE LA DEFORESTACIÓN EN UN ÁREA DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

**José Julián González<sup>1</sup>, Miguel Arias<sup>2</sup>, Álvaro Cubillos<sup>3</sup>, Paulo Arévalo<sup>4</sup>**

Palabras Claves: modelación espacial, Deforestación, SIMWEIGHT, Variables explicativas.

Key words: spatial modelling, deforestation, SIMWEIGHT, explanatory variables.

La comunidad internacional ha puesto su mirada en los bosques naturales debido a que a través de su conservación se pueden mitigar los efectos cada vez más evidentes del cambio climático global. En este contexto, la modelación espacial tiene el potencial de ser una herramienta efectiva para orientar y monitorear acciones concretas de conservación y planeación territorial. El propósito de este artículo es contribuir a la teoría de cambio del uso y cobertura, a través del desarrollo y prueba de modelos que permitan mejorar la modelación histórica y proyección espacial de la deforestación en Colombia. Se recopiló y estructuró un conjunto de insumos a partir de los cuales se generó una base de datos de variables con potencial poder explicativo del fenómeno en un área de la región Amazónica. Se ejecutaron múltiples pruebas combinatorias para establecer el conjunto de variables y

---

<sup>1</sup> Ecólogo, Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo. Coordinador equipo técnico de proyecciones de deforestación y construcción de niveles de referencia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. [josejgonzaleza@gmail.com](mailto:josejgonzaleza@gmail.com).

<sup>2</sup> Ingeniero Catastral y Geodesta, Candidato a Magister en Geomática. Equipo técnico de proyecciones de deforestación y construcción de niveles de referencia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. [mifariaspa@unal.edu.co](mailto:mifariaspa@unal.edu.co)

<sup>3</sup> Ecólogo. Equipo técnico de proyecciones de deforestación y construcción de niveles de referencia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios [alvaroacubillosb@gmail.com](mailto:alvaroacubillosb@gmail.com)

<sup>4</sup> Ecólogo, Equipo técnico de proyecciones de deforestación y construcción de niveles de referencia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios [arevalo.paulo@gmail.com](mailto:arevalo.paulo@gmail.com).

períodos que mejor permiten predecir la deforestación al año más reciente conocido, a fin de evaluar mediante diferentes pruebas de validación los modelos más precisos. A partir de los mejores modelos, se generó un mapa de probabilidad que da cuenta del nivel de riesgo y futuro patrón esperado de expansión del fenómeno de deforestación en el área de estudio.

## **ABSTRACT**

The international community has put its eyes on natural forests because, through their conservation, the most evident effects of climate change can be mitigated. In this context, spatial modelling has the potential for being an effective tool to guide and monitor concrete actions for conservation and land planning. The purpose of this article is to contribute to the theory of land use and cover change, through the development and test of models that improves historic modelling and spatial projection of deforestation in Colombia. A set of inputs was compiled and structured from which a variable database was created, with explanatory power of the phenomena in an area of the Amazonian region. Multiple combinatory tests were executed to establish the set of variables and time periods that allow to predict, in the best way, the deforestation to the most recent known year, in order to evaluate by different validation tests of the most precise models. From the best models, a probability map was generated, which shows the risk level and the expected future pattern of the expansion of the deforestation phenomena in the study area.

## INTRODUCCION

En los últimos años, la comunidad internacional ha puesto su mirada en los bosques naturales, debido a que a través de su conservación se pueden mitigar los efectos cada vez más evidentes del cambio climático global. En Colombia la cobertura boscosa alcanza aproximadamente un 48% de la extensión continental del territorio (Ortega et al. 2010), e históricamente se ha visto amenazada por diferentes motores de origen antrópico y biofísico (Etter *et al.* 2006a; González *et al.* IDEAM 2011).

En este contexto, el gobierno nacional se ha concientizado en la importancia de promover políticas con el fin de disminuir la deforestación. Dentro las acciones desarrolladas, se encuentra la implementación de mecanismos como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestaciones y Degradación), en zonas en donde los bosques naturales están actualmente en riesgo.

La proyección de la deforestación es un paso necesario para identificar áreas potenciales para la implementación del mecanismo REDD+ y el cálculo de niveles de referencia, (Achard *et al.* 2009; González *et al.* IDEAM 2011).

El nivel de referencia es el punto de partida para el cálculo de las reducciones de emisiones de GEI, originadas por la implementación de actividades REDD+ siendo un indicador de la eficacia de las acciones desarrolladas para evitar actividades como la deforestación (Angelsen *et al.* 2011).

En Colombia, la mayor parte de la deforestación se localiza en terrenos propiedad del Estado, y se da por colonización no planeada y generalmente ilegal (Etter *et al.* 2006; González *et al.* IDEAM 2011). Poco se sabe del cambio al interior de los diferentes

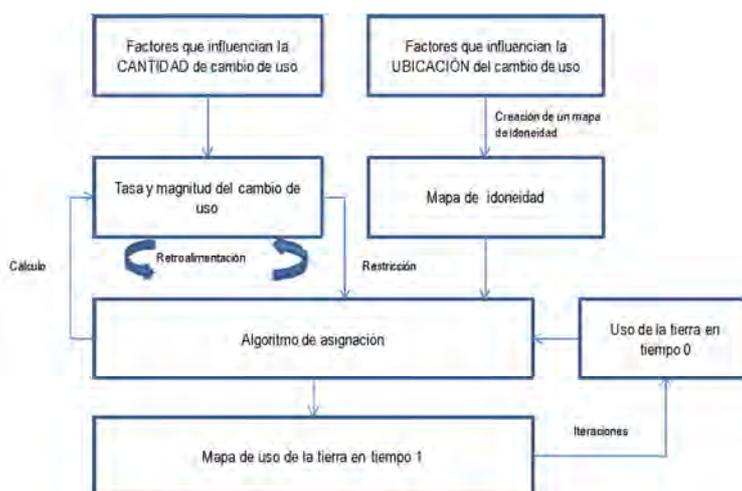
ecosistemas. Los estudios existentes son principalmente descriptivos y limitados en cuanto a su capacidad para predecir la dinámica futura de las transformaciones; existe entonces la necesidad de desarrollar modelos con una base teórica sólida, que puedan ser probados de forma empírica utilizando datos reales y que tengan una buena capacidad predictiva (Etter *et al.* 2006b; González *et al.* IDEAM 2011).

La proyección espacial de la pérdida de cobertura forestal en un área particular, requiere la caracterización de los procesos históricos de cambio en dicha cobertura, a través de la identificación de los principales motores y agentes de deforestación. Para ello, es necesaria la utilización de modelos de cambio del uso y cobertura de la tierra, conocidos como LULC (*Land Use Land Change*) (Figura 1), en los que se representa de forma explícita el cambio de uso o cobertura en un contexto geográfico particular. La predicción de los factores responsables de transformación de los bosques es fundamental para avanzar en el entendimiento de los patrones y motores de dicho cambio (Varios autores citados por Etter *et al.* 2006a). El monitoreo y reporte del cambio en la cobertura de la tierra a una escala nacional y regional es muy importante en términos políticos, pero no informa de la complejidad espacial y temporal de las dinámicas que ocurren por debajo de esos niveles de análisis (Etter *et al.* 2006a). Múltiples autores señalan la importancia de mejorar la capacidad explicativa y predictiva de los modelos LULC, con el fin de aumentar su contribución al uso sostenible del territorio y a la planeación de acciones de conservación (Varios autores citados por Etter *et al.* 2006a).

Los modelos LULC se desarrollan a través de tres pasos principales (Mas *et al.* 2012): 1) Un procedimiento no espacial que calcula la cantidad de transición, 2) un procedimiento espacial que asigna los cambios a las ubicaciones más probables donde se puede presentar

la réplica de los patrones del paisaje y 3) un procedimiento de evaluación o validación donde se compara la cobertura simulada para determinado año, con el escenario real de la misma fecha. La confiabilidad del modelo dependerá en gran medida de los insumos con los que se entrena el algoritmo de predicción, donde una buena resolución y actualización periódica de los datos juega un papel importante.

Existen múltiples herramientas para la simulación de cambios en la cobertura/uso de la tierra (Ver González *et al.* IDEAM 2011), cada una con una serie de ventajas comparativas (Pontius *et al.* 2008; Fuller *et al.* 2011; Mas *et al.* 2012) que usualmente son empleadas de forma independiente en estudios de caso.



**Figura 1.** Estructura general de un modelo de cambio de uso y cobertura de la tierra espacialmente explícito. Adaptado de Lambin & Geist (2006)

Sloan & Pelletier (2012) afirman que el uso de proyecciones espaciales para determinar niveles de referencia puede contribuir a informar el proceso de implementación de REDD+, y dicho procedimiento sigue siendo la aproximación recomendada para el cálculo de línea

base para proyectos REDD+ regionales. Desafortunadamente, las características de calidad, resolución y cobertura de la información no siempre permiten aplicar todas sus recomendaciones a los ejercicios de modelación en el contexto nacional. De la misma forma, otros factores de orden político también pueden influenciar la manera en que se llevan a cabo las proyecciones.

El propósito de este artículo es contribuir a la teoría de cambio del uso y cobertura, a través del desarrollo y prueba de modelos que permitan mejorar la modelación histórica y proyección espacial de la deforestación en Colombia, que a futuro aporten a la construcción de niveles de referencia cada vez más precisos. Se partió de un ejercicio de subregionalización para tener una aproximación más precisa a las dinámicas de transformación del bosque al interior del área de estudio. Se recopiló y estructuró un conjunto de insumos a partir de los cuales se generó una base de datos de variables con potencial poder explicativo del fenómeno en la zona. Se corrieron múltiples pruebas combinatorias para establecer el conjunto de variables y períodos que mejor permiten predecir la deforestación al año más reciente conocido, a fin de evaluar mediante pruebas de validación los modelos más precisos. Esto último, se llevó a cabo empleando de forma complementaria dos de las herramientas actualmente más utilizadas para simulación espacial de coberturas. Finalmente, y a partir de los mejores modelos encontrados para cada subregión, se generó un mapa de probabilidad que da cuenta del nivel de riesgo y futuro patrón esperado de expansión del fenómeno de deforestación en el área de estudio.

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

El área de estudio hace parte de la región Amazónica y cuenta con una extensión aproximada de 40,5 millones de hectáreas, correspondiente a la jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente de la Amazonía – CDA, y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía – CORPOAMAZONÍA. Para el año 2012, esta zona contaba con alrededor de 35,8 millones de hectáreas de Bosque Natural<sup>5</sup>, equivalente al 88% de su área total. Actualmente, en la zona se encuentran algunos de los puntos calientes (*hotspots*) de deforestación más importantes del país (IDEAM, 2013).

### **Subregionalización**

Para la subregionalización del área de estudio, se calculó inicialmente la pérdida de bosque entre los años 2000 y 2012 a nivel de municipio/corregimiento, utilizando la información generada por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del IDEAM (Cabrera et al., 2011), con el fin de calcular tanto el número de píxeles de cambio por municipio, como la concentración de píxeles de cambio en la superficie de cada municipio. Estos dos productos se clasificaron en 10 categorías por quiebres naturales de Jenks para tratar de identificar patrones espaciales. Finalmente, se agruparon los municipios con mayor concentración de deforestación (superior a 0.008513 Píxeles\* ha<sup>-1</sup>), que coincidían con los municipios con mayores valores absolutos de píxeles deforestados (superior a 10504 Píxeles), ubicados en la parte noroccidental del área de estudio. Esta área se denominó “Región de Alta Dinámica de Deforestación” o subregión “Alta” para denominarla de forma abreviada. En contraste,

---

<sup>5</sup> Área calculada a partir del mapa Bosque-No Bosque producido por el IDEAM (Sin Publicar)

los demás municipios/corregimientos, ubicados en la parte suroriental del área sub-nacional A8, que presentan valores inferiores a los mencionados, se agruparon para constituir el área denominada “Región de Baja Dinámica de Deforestación” o subregión “Baja”.

De manera complementaria, el análisis de la información socioeconómica disponible acerca del patrón de aglomeración y conectividad (vial y fluvial) de los asentamientos (Riaño & Salazar, 2009), la dinámica de la actividad ganadera (Murcia *et al.* 2011), y los patrones de distribución histórica de los cultivos ilícitos en la región (UNODC & SIMCI, 2013), permitió diferenciar dos subregiones principales al interior del área de estudio: la subregión noroccidental con un mayor grado de consolidación urbana y conectividad vial en la que históricamente se ha dado una mayor producción de coca y conversión de tierras a uso pecuario; y la subregión suroriental con asentamientos dispersos, conectividad reducida o restringida, y una baja densidad histórica de cultivos de coca y producción ganadera. Con base en la información disponible para las dinámicas biofísicas (deforestación histórica) y antrópicas (patrón de asentamiento, distribución de áreas productivas, etc.), se propuso una división en dos regiones denominadas “Alta” y “Baja” (Figura 2).



**Figura 2.** Sub-regionalización propuesta para el área subnacional A8. Regiones Alta y Baja.

### **Variables Explicativas**

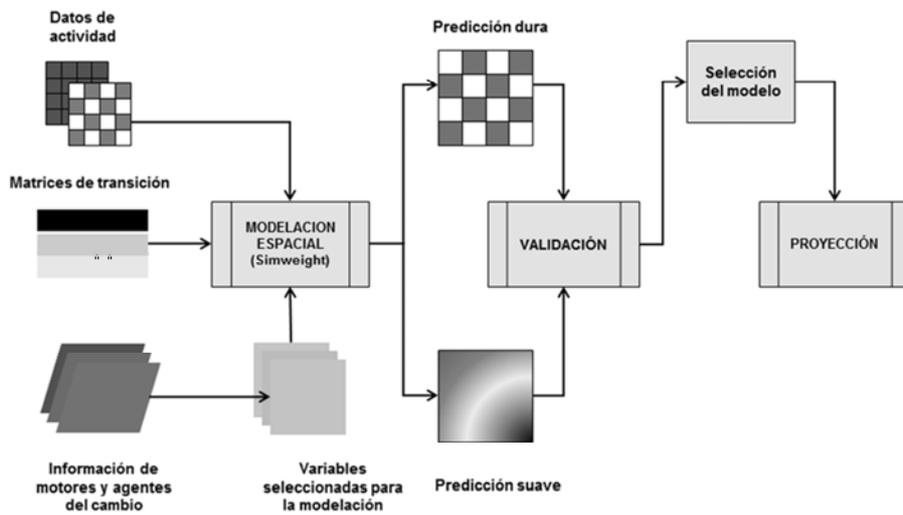
Luego de caracterizar los agentes y causas de deforestación desarrollada a partir de información secundaria, y con el propósito de llevar a cabo una adecuada representación espacial de los motores de deforestación que tienen mayor influencia en cada una de las subregiones delimitadas, se consultaron diferentes fuentes académicas y oficiales que permitieron contar con información para la construcción de variables consideradas con mayor potencial para explicar la transición de Bosque a No Bosque en la zona. Para ello, se utilizaron técnicas como mapas de distancias, Análisis de lógica difusa, Costo Distancia, entre otras (Tabla 1).

**Tabla 1.** Factores priorizados, indicadores de mapeo y variables preseleccionadas para las principales actividades asociadas a la deforestación (motores) en el área de estudio.

<b>Factor priorizado</b>	<b>Indicador para mapeo priorizado</b>	<b>Variable preseleccionada</b>
Accesibilidad y proximidad	Red vial, títulos mineros, centros poblados, drenajes, cuerpos de agua, áreas recientemente deforestadas, pozos petroleros, entre otras.	<p>Distancia euclidiana a áreas deforestadas entre el período de entrenamiento</p> <p>Distancia euclidiana a pastos para el periodo 2002</p> <p>Distancia euclidiana a praderización periodo 2002-2007</p> <p>Distancia euclidiana a lagos.</p> <p>Distancia euclidiana a Títulos mineros vigentes al 2013.</p> <p>Distancia euclidiana a Títulos mineros inscritos entre el año 2002 y 2008.</p> <p>Distancia a Pozos petroleros vigentes al 2013.</p> <p>Distancia euclidiana a Puertos</p> <p>Costo Distancia Con accesos terrestres (50%), asentamientos (30%) y drenajes dobles (20%) con Origen en el año 2002</p> <p>Costo Distancia Con Drenajes (50%), asentamientos (30%) y accesos terrestres (20%) con Origen en el año 2002</p> <p>Costo Distancia Con variables ponderadas, cada una con categorías ponderadas: accesos terrestres (50%), asentamientos (30%) y drenajes dobles (20%) con Origen en el año 2002</p> <p>Distancia euclidiana a los cultivos de coca entre 2004 y 2010 (sumatoria ponderada).</p> <p>Distancia euclidiana a área total de cultivos de coca entre el período de entrenamiento</p> <p>Distancia a accesos terrestres.</p> <p>Distancia a accesos terrestres no pavimentados</p> <p>Distancia a accesos terrestres pavimentados</p> <p>Distancias a asentamientos.</p> <p>Distancia a asentamientos de primer nivel</p> <p>Distancia a asentamientos de segundo nivel</p> <p>Distancia a asentamientos de tercer nivel</p> <p>Distancia a drenajes dobles.</p> <p>Distancia a drenajes priorizados</p> <p>Distancia a drenajes no priorizados</p> <p>Navegabilidad</p>
Variables biofísicas	Precipitación, pendiente, altitud	<p>Categorías de precipitación en el año 2008.</p> <p>Pendiente.</p> <p>Elevación (DEM).</p>
Categoría de manejo de la tierra	Áreas protegidas, resguardos indígenas.	<p>Parques Nacionales Naturales.</p> <p>Resguardos Indígenas.</p> <p>Sustraciones a la reserva Ley 2 de 1959</p>

### Etapas de la modelación

La modelación de la deforestación, integró la aproximación en función del tiempo con la de modelación espacial. La tasa de deforestación se calculó con base en las tendencias históricas observadas al interior de las diferentes subregiones, y la distribución espacial de los cambios se hizo a partir del comportamiento de las variables explicativas derivadas del análisis de motores de deforestación (Figura 3).



**Figura 3.** Diagrama del procedimiento implementado para modelar espacialmente la deforestación.

En una primera etapa se priorizaron las variables con mayor poder explicativo, utilizando el cálculo de medidas de relevancia del algoritmo Simweight (módulo LCM de IDRISI Selva 17.02) (Eastman, 2012) que emplea la siguiente ecuación (Sangermano *et al.* 2010):

$$\text{Peso de pertenencia} = 1 - \frac{\sigma \text{ en Cambio}}{\sigma \text{ en el \u00e1rea de estudio}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde  $\sigma$  en Cambio es la desviaci\u00f3n est\u00e1ndar de la variable para los p\u00edxeles coincidentes con el cambio de Bosque a no Bosque y  $\sigma$  en el \u00e1rea de estudio es la desviaci\u00f3n est\u00e1ndar de la variable en el \u00e1rea efectiva de estudio.

A continuaci\u00f3n, se emple\u00f3 de nuevo *Simweight* para asignar espacialmente los cambios en la cantidad de bosque (deforestaci\u00f3n) proyectados para cada subregi\u00f3n mediante el uso de una tasa fija anual derivada del promedio hist\u00f3rico (2000-2012). Como resultado, se obtuvo una capa *soft* (predicci\u00f3n suave), correspondiente al mapa de riesgo de deforestaci\u00f3n para cada una de las simulaciones anuales entre 2012 y 2022.

Finalmente, dada la importancia de la validaci\u00f3n de los modelos en la selecci\u00f3n del m\u00e1s apropiado para emplearlo como referencia en la proyecci\u00f3n de la deforestaci\u00f3n, se usaron dos m\u00e9tricas independientes para establecer su capacidad predictiva con respecto a la capa real 2012: i) Similaridad difusa (DINAMICA-EGO) (Soares-Filho *et al.* 2002), y ii) Figura de M\u00e9rito (IDRISI). Para los c\u00e1lculos de similaridad difusa se emplearon opciones de comparaci\u00f3n con funciones de decaimiento exponencial. Para cada modelo, se realizaron 50 validaciones, correspondientes a ventanas de comparaci\u00f3n desde 1 p\u00edxel (comparaci\u00f3n exacta de diferencias entre cambios) hasta 99 p\u00edxeles, en incrementos de 2 (*e.g.* todos los n\u00fameros impares del 1 al 99). Dado que los mapas presentan tama\u00f1os de p\u00edxel de 90 metros, las ventanas de comparaci\u00f3n presentan tama\u00f1os desde 90 hasta 8910 metros. Paralelamente, a los modelos construidos se les realiz\u00f3 el c\u00e1lculo de aciertos, omisiones y falsas alarmas (tabulaci\u00f3n cruzada), adem\u00e1s de la *Figura de m\u00e9rito* (Figure of Merit -

FOM) a partir de dichos valores. Los modelos escogidos para cada zona fueron aquellos con los valores más altos de validación difusa en todas las ventanas evaluadas, pero que además obtuvieron un valor significativo de FOM.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cálculo de medidas de relevancia

La Tabla 22 y la

Tabla 33 resumen los principales resultados del cálculo de las medidas de relevancia para las variables explicativas evaluadas en cada una de las regiones (Alta, Baja). En las dos regiones las variables con mayor poder explicativo fueron las de accesibilidad, hecho que concuerda con lo descrito en la literatura disponible relativa al tema de modelación espacial de la deforestación (Varios autores citados por González *et al.* IDEAM 2011).

**Tabla 2.** Resultados del cálculo de medidas de relevancia (Simweight) de las variables seleccionadas para modelación de la deforestación en la región Alta (>0,5).

<b>Variable explicativa</b>	<b>Peso</b>
Distancia a pixeles de deforestación en el período de entrenamiento	1,00
Costo Distancia con accesos terrestres y asentamientos	0,92
Distancia a praderización periodo 2000-2007 zona baja	0,72
Distancia a cultivos ilícitos	0,70
Distancia a Pastos	0,59
Distancia a asentamientos	0,53
Distancia a accesos terrestres	0,52
Distancia a accesos terrestres no pavimentados	0,52
Distancia a asentamientos de tercer nivel	0,51

**Tabla 3.** Resultados del cálculo de medidas de relevancia (Simweight) de las variables seleccionadas para modelación de la deforestación en la región Baja (>0,5).

<b>Variable explicativa</b>	<b>Peso</b>
Distancia a pixeles de deforestación en el período de entrenamiento	1,00
Costo Distancia con accesos terrestres y asentamientos	0,76

### **Modelación y validación**

Se ejecutaron más de trescientas pruebas de modelación espacial en el módulo LCM del software IDRISI Selva 17.02, empleando diferentes combinaciones de períodos de entrenamiento y variables. La predicción al año 2012 de cada combinación probada fue evaluada mediante las métricas de similaridad difusa y Figura de Mérito (FOM).

En la subregión Alta sobresalieron cinco modelos que alcanzaron una similaridad por encima del 70% en una ventana de 7x7 pixeles (40 ha), y que se estabilizaron en un 80% a partir de la ventana de 11x11 pixeles (98 Ha), alcanzando incluso valores cercanos al 90% en la máxima ventana. Por su parte, para la subregión Baja, se destacaron cuatro modelos que superaron el umbral de similaridad de 70% en una ventana de 25x25 pixeles (506 ha).

Dado que los valores de FOM de un modelo aceptable deben ser al menos iguales al porcentaje de área que experimentó pérdida de cobertura boscosa en el periodo de entrenamiento del modelo (2002-2006) (Pedroni, L., 2012), y que dicho valor correspondió al 1,4% para la subregión Alta, puede concluirse que los cinco modelos preseleccionados para esta subregión presentan un desempeño muy por encima del mínimo aceptado (>17%).

Lo mismo ocurrió en el caso de la subregión Baja, donde el porcentaje de cambio durante el período de entrenamiento fue de 0,2%, lo que indica que en su estado actual el valor de FOM de los mejores modelos (>8%) también supera los mínimos requeridos.

Las pruebas de validación mostraron que la mejor combinación de períodos para el entrenamiento de los modelos correspondió al cambio observado entre 2002 y 2006. Esto indica que ejercicios de modelación similares deben tener en cuenta posibles diferencias en la calidad de sus predicciones, derivadas de la variabilidad temporal de los insumos empleados para el entrenamiento del modelo LULC.

Las variables explicativas utilizadas para correr los modelos definitivos de cada subregión se resumen en la Tabla 44. Como se observa, todas las combinaciones definitivas agrupan variables de accesibilidad.

**Tabla 4.** Variables explicativas empleadas para proyectar espacialmente la deforestación en las subregiones Alta y Baja.

Subregión	Variables explicativas
Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Distancia euclidiana a áreas deforestadas entre 2002 y 2006.</li> <li>•Capa de costo distancia.</li> <li>•Distancia euclidiana a los cultivos de coca entre 2002 y 2006.</li> </ul>
Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Distancia euclidiana a áreas deforestadas entre 2002 y 2006.</li> <li>•Capa de costo distancia.</li> </ul>

### **Mapa de riesgo de deforestación año 2022**

La Figura 4 presenta el mapa consolidado de riesgo de deforestación al año 2022, obtenido a partir del mejor modelo de cada subregión. Las áreas cercanas al rojo (valores cercanos a 1) tienen un mayor riesgo futuro, debido principalmente a que los agentes de deforestación pueden acceder más fácilmente a ellas. Por el contrario, las áreas más cercanas al azul (valores cercanos a 0) son menos vulnerables debido, entre otras cosas, a su baja accesibilidad y la presencia de figuras administrativas de protección por parte del Estado



valores de áreas predichos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los procesos de calibración de los modelos espaciales no deben buscar una versión completamente ajustada a un año particular. Aunque debe emplearse un año como referencia para la validación, es recomendable optar por un modelo lo suficientemente flexible que pueda ser ajustado conforme las condiciones del área de estudio cambien. Los resultados del ejercicio de simulación espacial de la deforestación desarrollado para el área de estudio superan ampliamente la precisión obtenida en ejercicios similares a escala regional y nacional (Ver González *et al.* IDEAM 2011), y son un insumo clave para la definición e implementación de estrategias que permitan desacelerar el avance de la deforestación en la zona. Las deficiencias en la información necesaria para lograr predicciones espaciales más precisas siguen siendo una limitante; sin embargo, los resultados de los diferentes métodos de validación aplicados durante el proceso de modelación, demuestran que los mejores modelos obtenidos superan ampliamente los niveles de precisión mínimos requeridos para su uso en la definición de líneas base en REDD+. En el marco de una aproximación “paso a paso” como la que debe orientar la construcción de niveles de referencia (Mora *et al.* 2012), es recomendable continuar explorando el potencial de la modelación espacial para la definición de este tipo de mecanismos de compensación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Achard, F., Brown, S., DeFries, R., Grassi, G., Herold, M., Mollicone, D., ... Souza, C. (Eds.). (2009). *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forest remaining forest, and*

*forestation*. Alberta, Canadá: GOFC-GOLD Project Office. Recuperado a partir de [http://unfccc.int/files/methods\\_science/redd/methodologies/other/application/pdf/sourcebook\\_version\\_nov\\_2009\\_cop15-1.pdf](http://unfccc.int/files/methods_science/redd/methodologies/other/application/pdf/sourcebook_version_nov_2009_cop15-1.pdf)

Angelsen, A., Boucher, D., Brown, S., Merckx, V., Streck, C., & Zarin, D. (2011). *Guidelines for REDD+ Reference Levels: Principles and Recommendations*. Recuperado a partir de <http://www.redd-oar.org/links/REDD+RL.pdf>

Cabrera, E., Galindo, G., & Vargas, D. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia. Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM.

Eastman, R. (2012). IDRISI Selva (Versión 17.02). Worcester, MA: Clark University.

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 240–254.

Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management*, 79(1), 74–87.

Fuller, D., Hardiono, M., & Meijaard, E. (2011). Deforestation Projections for Carbon-Rich Peat Swamp Forests of Central Kalimantan, Indonesia. *Environmental Management*, 48(3), 436-447. doi:10.1007/s00267-011-9643-2

González, J. J., Etter, A. A., Sarmiento, A. H., Orrego, S. A., Ramírez, C., Cabrera, E., ... Ordoñez, M. F. (2011). *Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Recuperado a partir de <http://goo.gl/qTyN8>

IDEAM. (2013). *Reporte de Alertas Tempranas de Deforestación para Colombia. Segundo Semestre del 2013* (p. 9). Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Lambin, E., & Geist, H. (Eds.). (2006). *Land-use and land-cover change local processes and global impacts*. Berlin; New York: Springer. Recuperado a partir de <http://www.springerlink.com/content/978-3-540-32202-3?MUD=MP>

Mas, J.-F., Pérez-Vega, A., & Clarke, K. C. (2012). Assessing simulated land use/cover maps using similarity and fragmentation indices. *Ecological Complexity*, *11*, 38-45. doi:10.1016/j.ecocom.2012.01.004

Mora, B., Herold, M., De Sy, V., Wijaya, A., Verchot, L., & Penman, J. (Eds.). (2012). *Capacity development in national forest monitoring: Experiences and progress for REDD+*. Bogor, Indonesia: CIFOR and GOF-C-Gold. Recuperado a partir de [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Books/BWijaya1201.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BWijaya1201.pdf)

Murcia, U. G., Huertas, C. M., Rodríguez, J. M., & Castellanos, H. O. (2011). *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado a partir de <http://www.sinchi.org.co/index.php/centro-de-informacion-y-divulgacion/publicaciones/item/56-monitoreo>

Ortega, P., García-Guerrero, C., Ruiz, J., & Vargas, J.D. (Eds.). (2010). *Deforestación evitada. Una guía REDD+ Colombia*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Conservación Internacional Colombia; Fondo Mundial para

la Naturaleza; The Nature Conservancy. Recuperado a partir de [http://www.minambiente.gov.co/documentos/documentosGestion/cambio\\_climatico/publicaciones/230812\\_cartilla\\_redd.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/documentosGestion/cambio_climatico/publicaciones/230812_cartilla_redd.pdf)

Pedroni, L. (2012, diciembre 3). *Methodology for Avoided Unplanned Deforestation. VM0015. Version 1.1*. Recuperado 4 de febrero de 2013, a partir de [http://v-c-s.org/sites/v-c-](http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/VM0015%20Methodology%20for%20Avoided%20Unplanned%20Deforestation%20v1.1.pdf)

[s.org/files/VM0015%20Methodology%20for%20Avoided%20Unplanned%20Deforestation%20v1.1.pdf](http://v-c-s.org/files/VM0015%20Methodology%20for%20Avoided%20Unplanned%20Deforestation%20v1.1.pdf)

Pontius, R. G., Boersma, W., Castella, J.-C., Clarke, K., Nijs, T., Dietzel, C., ... Verburg, P. H. (2008). Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The Annals of Regional Science*, 42(1), 11-37. doi:10.1007/s00168-007-0138-2

Riaño, E., & Salazar, C. A. (2009, julio). Sistema urbano en la Región Amazónica colombiana: análisis de la organización e integración funcional. Recuperado a partir de

[http://sinchi.org.co/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=513:&Itemid=1924](http://sinchi.org.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=513:&Itemid=1924)

Sangermano, F., Eastman, J., & Zhu, H. (2010). Similarity Weighted instance-based learning for the Generation of Transition Potentials in Land use Change Modeling. *Transactions in GIS*, 14(5), 569-580.

Sloan, S., & Pelletier, J. (2012). How accurately may we project tropical forest-cover change? A validation of a forward-looking baseline for REDD. *Global Environmental Change*, 22(2), 440-453. doi:10.1016/j.gloenvcha.2012.02.001

Soares-Filho, B. S., Coutinho Cerqueira, G., & Lopes Pennachin, C. (2002). DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), 217–235.

UNODC, & SIMCI. (2013). *Monitoreo de Cultivos de Coca 2012* (p. 117).

UNDOC/SIMCI. Recuperado a partir de

<https://docs.google.com/file/d/0B8gBMg5i8qRzTHVoQmtVQ3pRN2s/edit>