

ANEXO

ESTIMACIÓN DEL AJUSTE POR CIRCUNSTANCIAS NACIONALES PARA NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES 2018-2022

Elaborado por:

*José Julián González Arenas
Iván Roberto Pérez Vizcaino
Edilneyi Zúñiga Avirama
Milton Alexander Cubillos González*

*Componente Causas y Agentes de
Transformación del Bosque – SMBYC*

*IDEAM – Patrimonio Natural Fondo Para La
Biodiversidad y Áreas Protegidas*

Diciembre de 2019



**El medio ambiente
es de todos**

Minambiente

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	METODOLOGÍA	5
2.1.	Modelo nacional general	5
2.2.	Modelo logístico	6
3.1.1.	Estimación de la tasa de crecimiento (b)	7
3.1.2.	Estimación del bosque susceptible a deforestación (K)	7
	Estimación del Bosque Protegido	9
	Estimación del Bosque No Accesible	10
	Estimación del efecto de la pendiente	10
	Estimación del efecto de la accesibilidad por cercanía a vías terrestres	11
	Estimación del Bosque Mínimo	11
2.3	Estimación del error	12
3.	INSUMOS EMPLEADOS PARA LA MODELACIÓN	12
3.2.	Información base	12
3.3.	Marco Geoestadístico Nacional (MGN)	13
4.	RESULTADOS	14
4.1	Estimación de la tasa de crecimiento (b)	14
4.2	Estimación del bosque susceptible a deforestación (K)	15
3.3.1.	Estimación del Bosque Protegido	15
3.3.2.	Estimación del Bosque No Accesible	17
	Determinación del efecto de la pendiente	17
	Estimación del efecto de la accesibilidad por cercanía a vías terrestres	17
3.3.3.	Estimación del Bosque Mínimo	17
3.3.4.	Total de bosque susceptible a la deforestación por bioma	18
3.4.	Proyección de la deforestación	19
3.5.	Ajuste por circunstancias nacionales 2018-2022	21
3.6.	Estimación del error	22
5.	GLOSARIO	24
6.	BIBLIOGRAFÍA	24



Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono

Equipo de Causas y Agentes

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

b	Tasa de crecimiento de la deforestación
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
FARC	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
K	Bosque susceptible a la deforestación
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
MGN	Marco Geoestadístico Nacional
PNN	Parques Nacionales Naturales
RI	Resguardos Indígenas
RUNAP	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas
SMBByC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
TCCC	Territorios Colectivos de Comunidades Negras
UNODC	Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito

1. INTRODUCCIÓN

La Decisión 12 / CP.17 de la CMNUCC invita a las partes a incluir detalles sobre cómo se han considerado las circunstancias nacionales en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF). En el marco de esta disposición, Colombia considera que además del análisis histórico de la deforestación acumulada de al menos los últimos diez años, a nivel nacional y regional, es necesario ponderar el importante efecto que eventos sociopolíticos recientes han tenido y tendrán en la dinámica de transformación de los bosques. En la historia reciente de Colombia se ha negociado, firmado e iniciado la implementación de un acuerdo de paz sin precedentes que pretende poner fin a un conflicto interno que ha durado más de 50 años; con este hito el país ha tenido cambios significativos de orden político, social y económico que han influido en la dinámica histórica de deforestación.

La firma del Acuerdo de Paz a finales de 2016, marcó el inicio oficial en la implementación de los términos acordados entre las FARC y el Estado. Sin embargo, los efectos sociales y ambientales de un proceso de esta naturaleza comenzaron mucho antes de la firma. Numerosos factores, como la interpretación de la información disponible sobre los acuerdos, la magnitud de la inversión estatal y privada durante el proceso de paz, la aplicación de políticas o medidas durante la negociación (restitución de tierras, construcción de carreteras, entre otros), los acuerdos unilaterales o bilaterales de cese del fuego, la suspensión de la fumigación aérea de cultivos ilícitos, la demanda activa de cocaína, la consolidación de nuevas economías criminales, entre otros, afectaron las expectativas de las partes interesadas y desempeñaron un papel clave según el análisis de la intervención de los bosques al inicio del período de posconflicto (González et al., 2018). Es de recordar que para llegar al Acuerdo final se suscribieron entre 2013 y 2016 acuerdos parciales sobre diferentes temáticas de la agenda de negociación,

Desde el inicio de las conversaciones de paz entre el Estado colombiano y las FARC en el año 2012, los expertos previeron que el proceso, si bien culmina un conflicto interno cuya resolución había sido un anhelo del pueblo colombiano durante décadas, podría paradójicamente tener impactos sobre la intervención de los bosques, principalmente debido a cambios en el acceso a áreas restringidas durante el conflicto armado y la falta de planificación para el desarrollo sostenible de estos territorios (MADS-IDEAM, 2014). Los resultados del monitoreo y la información socioeconómica recopilados por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBByC), han demostrado que se ha dado una mayor presión humana sobre los recursos forestales a partir del año 2013. Esto fue ratificado por los expertos de LULUCF en el reporte de análisis técnico del anexo técnico del Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia, quienes concluyeron que los efectos en la dinámica de deforestación comenzaron con el inicio de las negociaciones de paz en 2013 y que las tasas de deforestación recientes aun no muestran un cambio hacia una tendencia decreciente o de estabilización. Por lo tanto, consideran que los datos proporcionados por Colombia indican que el período de transición, después del cual habrá una disminución o estabilización de la tasa de deforestación, probablemente sea más largo de lo inicialmente esperado (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2018).

Entre 2013 y 2014 hubo una reducción cercana al 40% en la intensidad de la confrontación armada. Las FARC pasaron de operar en 242 municipios a 26 veredas (pequeñas áreas rurales dentro de los municipios), abandonando más del 98% del área donde operaban y creando un nuevo escenario de intervención territorial (Fundación Paz y Reconciliación, 2018a). Sin embargo, su repliegue no significó la llegada inmediata de las instituciones estatales en todos los municipios, generando en muchas de estas zonas una situación de vacío de poder (Ávila, 2017), en la cual otros actores han llegado impulsando nuevos procesos de deforestación. Así,

economías en torno a los cultivos ilícitos, la extracción ilícita de minerales, la tala ilegal, el tráfico de madera y la ocupación de áreas protegidas, se consolidaron durante el desarrollo del proceso de paz con las FARC y luego de la firma del acuerdo final (Garzón et al., 2016; Álvarez et al., 2018; Fundación Paz y Reconciliación, 2018b).

Los efectos de esta consolidación han tenido un impacto a nivel nacional con un aumento del 44% en la deforestación entre 2015 y 2016 (124,035 ha / año a 178,597 ha / año), y un 23% entre 2016 y 2017 (178,597 ha / año a 219,973 ha / año), principalmente como resultado de las acciones de actores ilegales que, bajo las nuevas condiciones de accesibilidad al territorio, han promovido procesos masivos de acaparamiento de tierras, extracción ilícita de minerales y la expansión de la frontera agropecuaria a través del cultivo de coca (González et al., 2018). Los cultivos de coca en todo el país aumentaron un 52% entre 2015 y 2016, y un 17% entre 2016 y 2017 (UNODC-Gobierno de Colombia, 2018a). Las áreas con evidencia de explotación de oro aluvial también aumentaron entre 2014 y 2016, pasando de 78,939 ha/año a 83,620 ha/año (aumento del 6%) (UNODC-Gobierno de Colombia, 2018b). Además, se han identificado procesos de recolonización de territorios previamente ocupados por las FARC y una reconfiguración de los actores armados ilegales en los cinco biomas que conforman el país, particularmente en las áreas con mayor concentración de deforestación. Estos grupos han impuesto cambios en las reglas locales del uso de la tierra y los recursos naturales, alentando la tala indiscriminada de bosques (Fundación Paz y Reconciliación, 2018a).

La Fundación Paz y Reconciliación (2018b) indica que dos años después de la firma del acuerdo de paz entre las FARC y el Estado, lo que inicialmente se planteó como desafíos ambientales posteriores al conflicto, hoy se reconoce como pasivo ecológico. Las estrategias y acciones necesarias para la protección del patrimonio natural del país, en el período inicial del posacuerdo, no se han implementado a la misma velocidad de las presiones sobre los ecosistemas, lo cual ha generado nuevos escenarios de transformación. En este contexto, la deforestación se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales del país, lo que no solo se refleja en el aumento constante de las cifras nacionales durante los últimos años, sino también en el reconocimiento común de que sus efectos negativos van desde la escala local hasta el nivel global. Para establecer un nivel de referencia de emisiones forestales que ajuste el promedio histórico por las particulares circunstancias nacionales de manera coherente, tanto con la dinámica histórica como con los efectos del reciente acuerdo de paz, se desarrolló un modelo de proyección de la deforestación con el que se calculó un ajuste sobre el promedio de deforestación 2008-2017. La modelación emplea un enfoque conservador basado en supuestos sencillos que tienen asidero en la realidad, siguiendo un proceso completamente documentado para garantizar su transparencia y replicabilidad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Modelo nacional general

El análisis parte del supuesto de que las recientes condiciones socioeconómicas y políticas generadas desde el proceso de negociación y el acuerdo resultante entre el Estado colombiano y las FARC, que expandieron y reforzaron los impulsores históricos de la pérdida de bosques a nivel regional, continuarán teniendo un efecto decisivo en la pérdida de los bosques naturales a nivel nacional, hasta el momento en que la tendencia actual llegue a un punto de estabilización y se revierta como resultado de la implementación de políticas públicas de control a la deforestación ajustadas a las nuevas realidades posteriores al Acuerdo de Paz.. Esto implica un período de transición en el que dos factores principales incidirán en la proyección de la tasa deforestación de los bosques: i) el crecimiento de la deforestación y ii) la accesibilidad a los bosques. Como se mencionó

anteriormente, los datos históricos disponibles para analizar el comportamiento de la deforestación en el país muestran un cambio distintivo que puede atribuirse a las negociaciones de paz y la firma del acuerdo final. Por lo tanto, cualquier enfoque para proyectar la deforestación no solo debe tener en cuenta la deforestación acumulada durante el período de referencia, sino también reflejar los cambios recientes en las tendencias históricas. Por otra parte, la intervención de los bosques está condicionada por el nivel de accesibilidad al recurso, donde las áreas aisladas o aquellas con restricciones biofísicas o sociales tienen menos probabilidades de ser deforestadas, mientras que otras áreas forestales presentan un mayor riesgo y, por lo tanto, son más susceptibles a la deforestación (González et al, 2018). Finalmente, todos estos factores deben analizarse utilizando una aproximación regional que considere las diferencias subnacionales en las dinámicas y patrones de deforestación.

Teniendo en cuenta los supuestos presentados y las tendencias de deforestación observadas, se utilizó un conjunto de modelos logísticos regionales para proyectar la deforestación nacional durante el período 2018-2022. Para cada bioma se evaluaron y estimaron las mismas variables de forma independiente, dando como resultado submodelos en los cuales cada uno cuenta con parámetros propios para la estimación. La Figura 1 presenta el modelo general. Este modelo tiene en cuenta la variabilidad propia de cada bioma, manteniendo la homogeneidad en la selección y evaluación de los criterios de análisis.

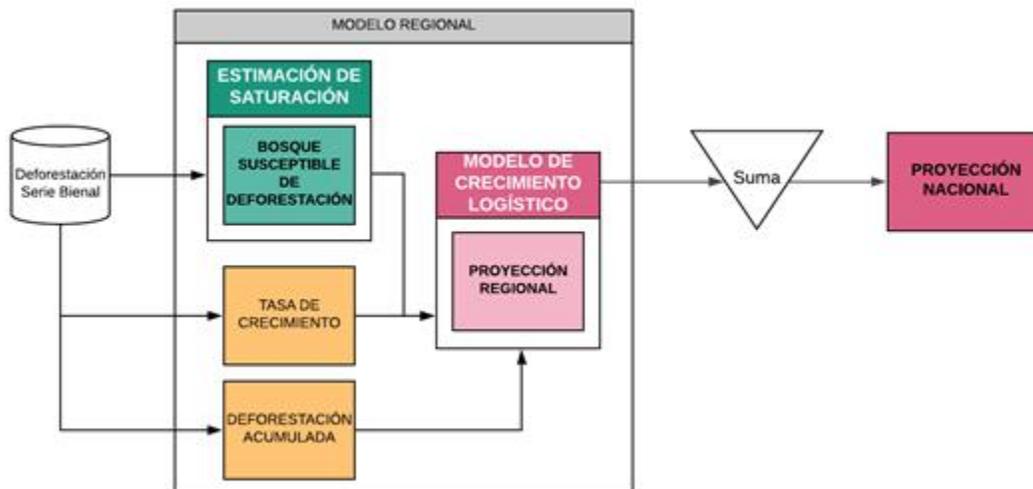


Figura 1 Modelo general de deforestación

2.2. Modelo logístico

El comportamiento futuro de la deforestación se proyectó para cada uno de los cinco biomas del país, utilizando un modelo de crecimiento logístico en el que establece que la expansión de la deforestación sobre el bosque remanente presenta un comportamiento exponencial. Sin embargo, también establece que existen condiciones que no permiten que este crecimiento ocurra indefinidamente, lo que significa que hay un límite para la pérdida de bosques. La ecuación general para el modelo logístico se define como (Poveda y Manrique, 2007):

$$N_t = k_1 + \frac{k_2}{1 + e^{a+bt}}$$

Donde,

k_1	Área mínima deforestada
k_2	Área máxima deforestada
N_t	Deforestación proyectada en el tiempo t
t	Período de proyección
b	Tasa de cambio entre periodos
a	Constante

Dado que la variable a modelar es el área deforestada, se podría argumentar que en realidad siempre hay un valor mínimo de pérdida de cobertura forestal. Sin embargo, se eligió un enfoque más conservador donde se permite un valor de deforestación cero. Teniendo en cuenta este nuevo supuesto, la ecuación se modifica de la siguiente manera:

$$k_1 = 0$$

Resultando:

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a+bt}}$$

Donde,

K	Área de bosque susceptible a la deforestación
-----	---

Se requieren dos parámetros básicos para el modelo: la tasa de crecimiento (b) y el área de bosque susceptible a la deforestación (K), que corresponde al área máxima de crecimiento de la deforestación.

3.1.1. Estimación de la tasa de crecimiento (b)

Para evaluar el crecimiento de la deforestación, el modelo incorpora la deforestación acumulada de las series históricas 2000-2017 disponibles para cada bioma. También utiliza la tasa de cambio observada entre 2016-2017 (b) para representar adecuadamente la velocidad de los cambios recientes en las tendencias de deforestación, causadas por el proceso de negociación y el acuerdo resultante entre el Estado colombiano y las FARC.

3.1.2. Estimación del bosque susceptible a deforestación (K)

Para la construcción del modelo de crecimiento logístico es necesario establecer un límite del crecimiento a la deforestación. Teóricamente, este límite podría estar determinado por el área total de bosque del país; sin embargo, con el fin de mantener un enfoque conservador, se asume que por diferentes factores no todas las

áreas de bosque del país son susceptibles a ser deforestadas. El modelo incorpora este supuesto conservador a través del parámetro K. El área de “**bosque susceptible a la deforestación**” (K) se calculó restando el área denominada “**bosque no deforestable**” del área total de bosque disponible en el año 2017 (Figura 2). El bosque no deforestable se estimó utilizando tres variables: i) bosque protegido, ii) bosque no accesible y iii) área de bosque mínimo. La categoría de **bosque protegido** incluye áreas de bosque ubicadas dentro de Parques Nacionales o territorios indígenas (específicamente Resguardos Indígenas) donde la conservación del bosque natural se demostró estadísticamente. La categoría de **bosque no accesible** corresponde a las áreas forestales restantes ubicadas en pendientes fuertes o en zonas distantes de las carreteras. Finalmente, la categoría de área de **bosque mínimo** se agregó como una medida conservadora para tener en cuenta la proporción de bosque (diferente de las dos categorías anteriores) que, debido a diferentes factores, generalmente permanece en cualquier municipio, incluso después de que el mismo haya estado históricamente expuesto a altas tasas de deforestación. Los supuestos específicos para el cálculo del bosque susceptible a la deforestación se describen a continuación:

- **Supuesto 1 (S1):** Las áreas de Parques Nacionales Naturales (PNN), Resguardos Indígenas (RI) y Territorios Colectivos de Comunidades Negras (TCCN), se consideran como áreas de protección efectiva y se asume que el bosque contenido en dichas áreas no será susceptible a ser deforestado en la modelación, siempre y cuando exista una diferencia estadística significativa entre las tasas de deforestación dentro y fuera del área evaluada. Este análisis se llevó a cabo para cada uno de los cinco biomas. Como resultado, las áreas que no mostraron una diferencia estadística significativa fueron incluidas dentro del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 2 (S2):** Las altas pendientes dificultan el desarrollo de actividades consideradas motores de deforestación, por lo cual constituyen una limitante para su establecimiento en las áreas boscosas que allí se ubican. Por lo tanto, se define que los bosques localizados en pendientes iguales o superiores a los 15° no serán deforestados y aquellos por debajo de 15° hacen parte del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 3 (S3):** Cualquier área de bosque que se encuentre a una distancia de 15 km o más de una carretera, se considera difícilmente accesible y se asume que no será deforestada. Por lo tanto, todas las áreas de bosque que estén a menos de 15 km de una carretera hacen parte del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 4 (S4):** Existe una cantidad residual de bosque que por factores diferentes a los previamente evaluados se conserva al interior de los biomas. Este bosque residual o mínimo se estima a partir de análisis estadísticos hechos para cada uno de los biomas. Las áreas que no hagan parte de este bosque mínimo hacen parte del bosque susceptible a la deforestación.

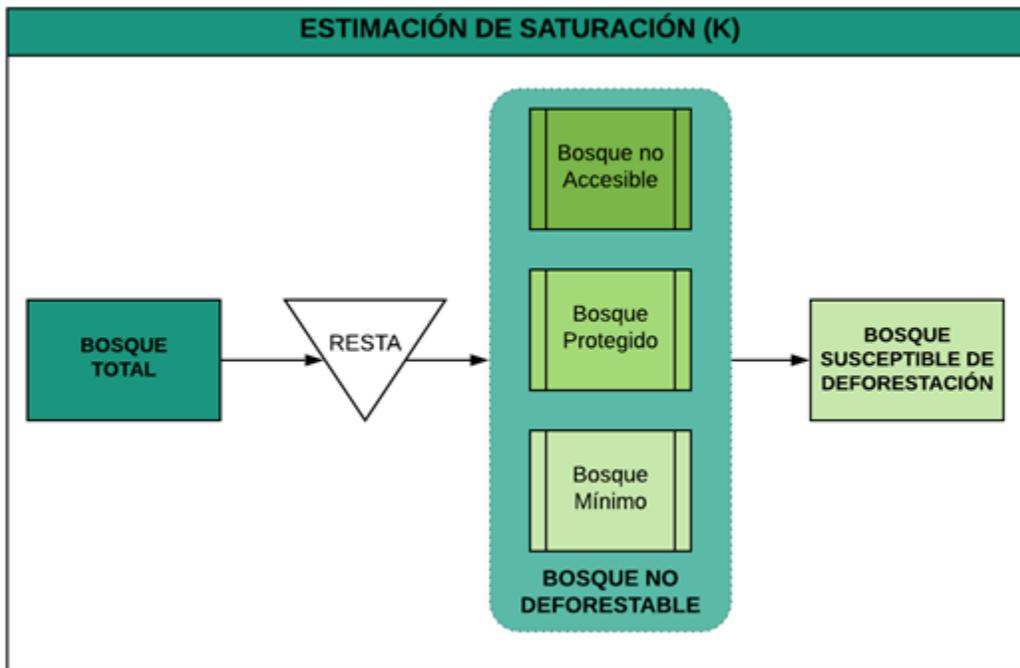


Figura 2 Estimación del nivel de saturación regional o bosque susceptible a la deforestación

La suma de los resultados de los tres análisis intermedios genera el **bosque no deforestable**, el cual es sustraído del bosque total de cada bioma para obtener el **bosque susceptible a la deforestación**, es decir, la cantidad máxima de bosque que puede consumir el modelo para la proyección de la deforestación en cada bioma. A continuación, se describen los análisis específicos desarrollados para la estimación de cada una de las variables evaluadas.

Es importante señalar que, si bien el modelo emplea información espacialmente explícita para su construcción, sus resultados no lo son; es decir, el modelo proyecta la cantidad de bosque susceptible a ser deforestada en el tiempo (t) por tipo de bioma o región natural mas no su localización.

Estimación del Bosque Protegido

Para evaluar el efecto de las figuras de manejo consideradas dentro de la estimación del Bosque Protegido, se utilizó la cuadrícula de 3 km x 3 km del Marco Geoestadístico Nacional (MGN) descrito en el numeral 3.2. A cada celda del MGN se le asignó pertenencia a las figuras de manejo por medio de centroides, para lo cual se utilizaron las capas disponibles de PNN, RI y TCCN; el proceso se presenta en la Figura 3. Teniendo en cuenta que estas figuras de manejo en algunos casos se superponen, el análisis incluyó las intersecciones como clases independientes.

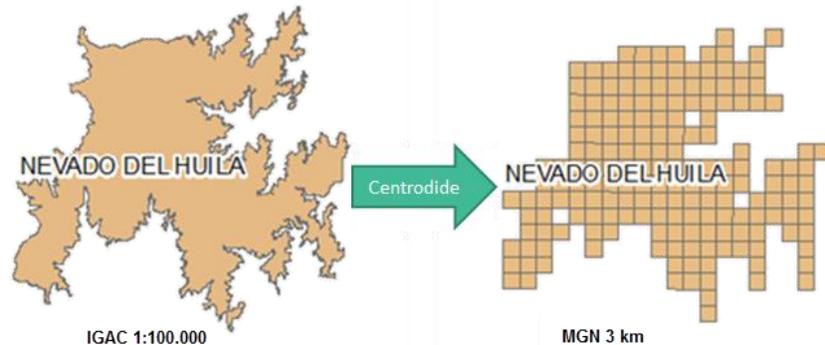


Figura 3 Ejemplo del uso del Marco Geoestadístico Nacional para la estimación del Bosque Protegido.

Una vez asignada la pertenencia de cada cuadrícula, se analizó la distribución de la deforestación acumulada en el periodo 2000-2017 comparando las medias por el método de Bonferroni (Dunn, 1961). Como resultado, se obtuvieron las figuras de manejo con una deforestación significativamente menor, en comparación con las áreas sin figura de manejo o zonas no protegidas. El análisis fue realizado de forma independiente para cada bioma. Una vez establecido el efecto de las figuras de manejo, se calculó el área de **Bosque Protegido** utilizando el límite oficial del territorio (escala 1:100.000), con el objetivo de evitar la subestimación generada por el método de selección por centroide del MGN. Estas áreas fueron excluidas de análisis posteriores para evitar el efecto agregado de variables y la doble contabilidad de bosques.

Estimación del Bosque No Accesible

Estimación del efecto de la pendiente

Para realizar los análisis de pendiente, se realizó un muestreo homogéneo de toda la superficie mediante puntos separados a 1 km. La información de pendiente en cada punto fue asociada a la información de deforestación en cada celda del MGN (Figura 4).

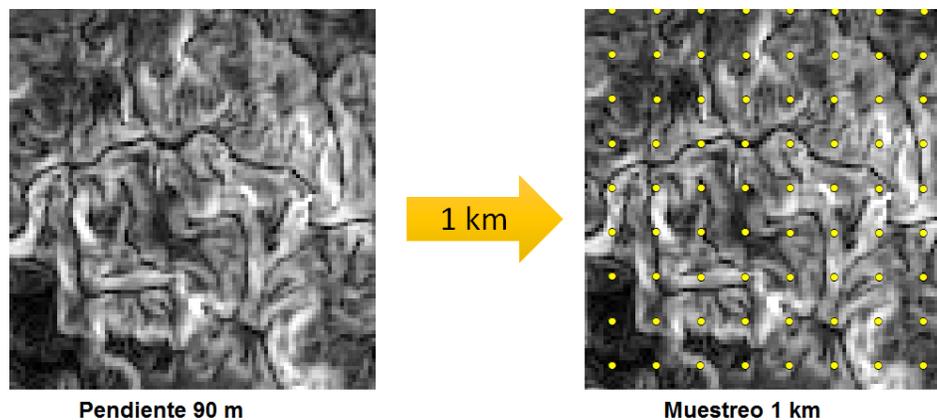


Figura 4 Ejemplo del muestreo llevado a cabo para establecer el efecto de la pendiente

Posteriormente, se realizó una comparación de distribuciones entre dos grupos para cada bioma: pendiente alta y pendiente baja, buscando encontrar diferencias significativas en la deforestación acumulada 2000-2017 para los dos grupos. La definición del umbral de “alta pendiente” se realizó por aproximaciones sistemáticas sucesivas, evaluando grupos con pendientes superiores e inferiores a determinados grados. Dado que se presentaron diferencias significativas en varios de los grupos evaluados, se eligió como umbral el de la prueba con mayor poder explicativo. Una vez establecido el umbral, se realizó una reclasificación de la capa de pendiente, estableciendo así las áreas no accesibles por pendiente, la cual es incluida como restricción para estimar el **Bosque No Accesible**.

Estimación del efecto de la accesibilidad por cercanía a vías terrestres

Se estableció un rango a partir del cual se considera que deja de existir un efecto de la accesibilidad sobre la deforestación. Para ello, se construyó una curva de deforestación acumulada a partir de la cual se estableció que la influencia deja de ser significativa en el punto de inflexión de la curva, cuando la pendiente de la misma es inferior a 1; esto debido a que la razón de cambio de la deforestación se hace mucho menor, es decir que para que se acumule una nueva unidad de deforestación es necesario que se recorra una distancia varias veces mayor. Adicionalmente, se estableció que en este punto acumula alrededor del 90% de la deforestación total. Esta distancia fue la utilizada para la asignación de la pertenencia al nivel “**Accesible**” a las celdas del MGN.

Estimación del Bosque Mínimo

Uno de los supuestos más conservadores en la estimación del K es que existe una cantidad mínima de bosque que se mantiene en pie por razones diversas y diferentes a las ya evaluadas; es decir, que en una zona o municipio no se consume la totalidad del bosque disponible, aun cuando este no se encuentre bajo una figura

de protección y sea accesible. Esto se ha documentado habitualmente en zonas que han registrado procesos históricos de deforestación, donde las actividades económicas y el desarrollo urbano está consolidado. Se trata de áreas donde actualmente la deforestación es baja o incluso nula, en la que persiste una proporción mínima de bosques que por diferentes factores ya no son intervenidos.

Para establecer el porcentaje mínimo de bosque se definió como unidad de análisis espacial el municipio. Se buscó establecer la proporción de bosque conservado por otros factores, por lo cual únicamente se incluyeron las porciones del municipio que habían sido excluidas en análisis previos. Para definir los municipios que cuentan con características de baja deforestación y baja cobertura de bosque, se realizó un análisis de clúster por el método de *k-means* (Hartigan et al., 1979), basado en dos variables: i) deforestación anual proporcional al tamaño del municipio y ii) proporción de bosque por municipio. Se utilizaron variables proporcionales al área con el fin de eliminar el efecto del tamaño del municipio. Se generaron agrupaciones de 5, 4 y 3 clústeres por cada bioma, entre los cuales se eligieron aquellos municipios con menor proporción de bosque y menor deforestación; el valor estimado como bosque remanente fue el promedio de la proporción de bosque del clúster seleccionado. El valor obtenido fue multiplicado por el área no bloqueada del bioma con el fin de estimar el Bosque Mínimo.

2.3 Estimación del error

Para medir la incertidumbre o error del modelo, se utilizaron análisis cuantitativos a través del error cuadrático medio y el porcentaje medio de error absoluto, los cuales permiten medir la dispersión de los datos observados frente a los proyectados.

A continuación se presentan las pautas que se siguieron para su cálculo.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{|A_t| n}$$

Donde

A_t	Deforestación observada en el período t
F_t	Deforestación proyectada en el período t
n	Total de períodos observados

3. INSUMOS EMPLEADOS PARA LA MODELACIÓN

3.2. Información base

La Tabla 1 presenta la información espacial utilizada para la estimación del modelo deforestación.

Tabla 1 Información espacial utilizada para la estimación de deforestación

Variable	Capas base	Fuente	Fecha	Escala
Cantidad de bosque	Serie bienal Bosque – No Bosque 2000 - 2017	Sistema de monitoreo de bosques y carbono – IDEAM	2018	1:100.000
Deforestación	Serie bienal cambio de Bosque a No Bosque 2000 - 2017	Sistema de monitoreo de bosques y carbono – IDEAM	2018	1:100.000
Pendiente	ASTER GDEM 30m	NASA	2012	1:100.000
Distancia a vías terrestres	Vías	IGAC	2012	1:100.000
Parques Nacionales	Parques Nacionales Naturales según categoría	Registro Único de Áreas protegidas	2018	1:100.000
	Áreas en proceso de declaratoria	Ministerio de Ambiente, validado con el Registro Único de Áreas Protegidas (RUNAP)	2018	1:100.000
Resguardos indígenas	Resguardo indígena constituido	Agencia Nacional de Tierras	2018	1:100.000
Territorios Colectivos de Comunidades negras	Comunidad negra titulada	Agencia Nacional de Tierras	2018	1:100.000
Municipios		IGAC	2015	1:100.000

3.3. Marco Geoestadístico Nacional (MGN)

Se utilizó el un Marco Geoestadístico de alcance nacional, generado por el IDEAM para el análisis de causas y agentes de transformación del bosque, con el fin que la información empleada como insumo fuera lo más homogénea y comparable posible. El MGN es un conjunto de cuadrículas anidadas y codificadas (Figura 5) que permiten homogeneizar la información y, en algunos casos, extrapolarla a diferentes escalas de análisis. Está conformado por celdas de 24 km por 24 km que cubren todo el territorio nacional, subdivididas progresivamente en cuadrículas de 12, 6, 3, 1 y 0,5 km. Para la modelación de las circunstancias nacionales se empleó la cuadrícula de 3 km por 3 km, dado que este tamaño de celda presenta la mejor relación entre precisión y capacidad de infraestructura de análisis computacional. Al utilizar el MGN las variables se comparan entre unidades de análisis homogéneas, conformando clases en las que se reúnen grupos de celdas, lo que facilita y robustece el análisis estadístico.

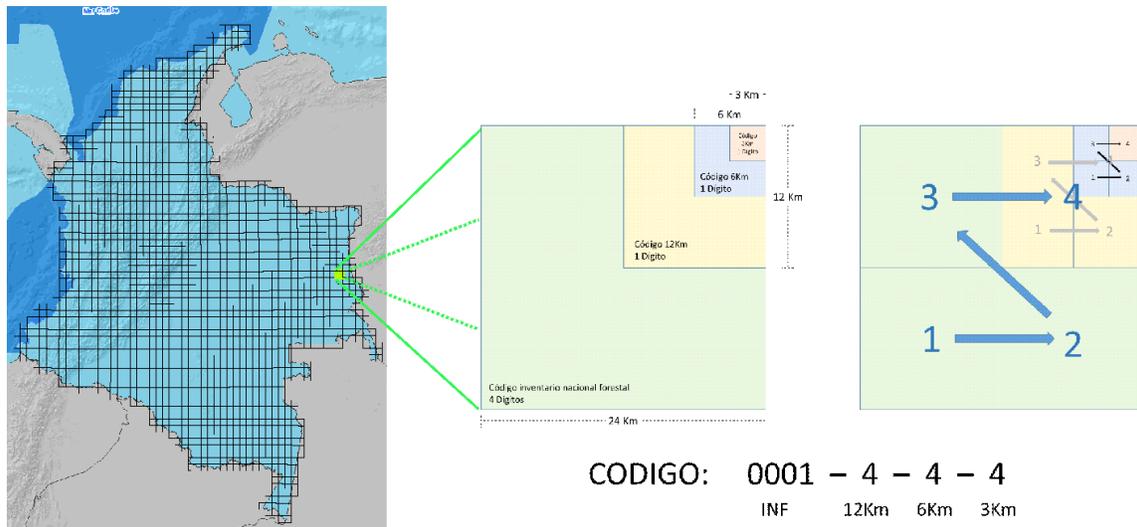


Figura 5 Marco Geoestadístico Nacional

4. RESULTADOS

4.1 Estimación de la tasa de crecimiento (b)

Para evaluar el crecimiento de la deforestación, el modelo incorpora la deforestación acumulada de las series históricas 2000-2017 disponibles para cada bioma. También utiliza la tasa de cambio observada entre 2016-2017 (b) para representar adecuadamente la velocidad de los cambios recientes en las tendencias de deforestación, causadas por el proceso de negociación y el acuerdo resultante entre el Estado colombiano y las FARC. Las tasas estimadas para cada bioma se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tasa de crecimiento (b) estimada por bioma.

Bioma	Tasa de crecimiento exponencial estimada para el año 2017
Amazonia	10,4
Pacífico	8,4
Andes	8,1
Caribe	5,6
Orinoquia	5,6

4.2 Estimación del bosque susceptible a deforestación (K)

3.3.1. Estimación del Bosque Protegido

Los promedios de deforestación acumulada 2000-2017 por celda para cada una de las figuras de manejo se muestran en la Tabla 3. Se observa que los biomas con mayores valores promedio son Pacífico y Amazonía, en los cuales también se presentan valores medios considerablemente menores dentro de las figuras de manejo.

La Tabla 4 muestra el resultado de la prueba de comparación de medias, en la cual bajo cada columna se identifican los grupos que tienen valores de deforestación estadísticamente menores. Por ejemplo, para el caso de Amazonía, la columna “A” (PNN) muestra que el grupo “D” (PNN-RI) tiene una deforestación estadísticamente menor, es decir que en las zonas donde se superponen Parques Nacionales Naturales y Resguardos Indígenas se observa una menor deforestación que en las zonas donde únicamente hay parques. En la misma tabla se pueden comparar, además, las diferencias del área promedio de deforestación por celda entre las figuras de manejo por bioma; sin embargo, el resultado relevante para el ejercicio es el de la columna “H” (Ninguna), en la cual se realiza la comparación con las zonas sin figura de manejo, mostrando cuáles figuras muestran un promedio de deforestación estadísticamente menor, lo que representa un efecto de la figura en contrarrestar las intervenciones en los bosques según los supuestos establecidos.

Este resultado se interpreta de forma más clara en la Tabla 5, donde se muestra la selección de figuras de manejo a utilizar en el modelo de saturación. A modo de ejemplo, en Amazonía se encontró efecto de Parques Nacionales Naturales (PNN), Resguardos Indígenas (RI) y su intersección (PNN-RI), es decir que tanto PNN como RI se incluyen como zonas no deforestables en el modelo regional construido para el bioma de la Amazonía. En otras regiones el resultado no es tan claro, debido a que no se incluyeron las intersecciones. Esto se debe a que las áreas de traslape son pequeñas y los datos presentan una alta dispersión. En otros casos, como ocurre en el bioma Caribe, se incluye todo el territorio de Resguardo (RI) que en su mayoría se encuentra superpuesto con Parques Nacionales Naturales (PNN), mientras que los PNN por sí solos no mostraron diferencias estadísticamente significativas con las zonas no protegidas.

Tabla 3 Deforestación promedio por celda para el período 2000 - 2017

Bioma	Figuras de manejo							
	PNN	TCCN	RI	PNN-RI	PNN-TCCN	TCCN-RI	PNN-TCCN-RI	Ninguna
Amazonía	15,28	60,23	8,39	5,54				76,80
Andes	9,50	25,21	16,12	11,80		40,09		17,53

Caribe	24,06	62,52	2,76	7,86				18,40
Orinoquía	1,05		13,58					10,18
Pacífico	3,52	25,54	14,66	8,15	0,00			42,77
PNN: Parques Nacionales Naturales; TCCN Territorios Colectivos de Comunidades Negras; RI: Resguardo Indígena								

Tabla 4 Prueba de comparación de medias

Bioma	Figuras de manejo							
	PNN	TCCN	RI	PNN-RI	PNN-TCCN	TCCN-RI	PNN-TCCN-RI	Ninguna
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
Amazonía	D				.		.	A C D
Andes		A D	A	A			.	A D
Caribe	C D	A C D E H				.	.	C D
Orinoquía		.	A H	A
Pacífico		A C				A		A C F
Los resultados se basan en pruebas de dos caras que asumen varianzas iguales con el nivel de significación ,05. Para cada par de significación, la clave de la categoría menor aparece debajo de la categoría con una media mayor.								
PNN: Parques Nacionales Naturales; TCCN Territorios Colectivos de Comunidades Negras; RI: Resguardo Indígena								

Tabla 5 Selección de figuras de manejo por región no susceptible a la deforestación del bosque.

Bioma	Figuras de manejo							
	PNN	TCCN	RI	PNN-RI	PNN-TCCN	TCCN-RI	PNN-TCCN-RI	Resultado Concreto (áreas a utilizar)
Amazonía	X		X	X				PNN y Resguardos
Andes	X			X				PNN
Caribe			X	X				Resguardos
Orinoquía	X							PNN

Pacífico	X		X			X		PNN y Resguardos
PNN: Parques Nacionales Naturales; TCCN Territorios Colectivos de Comunidades Negras; RI: Resguardo Indígena								

3.3.2. Estimación del Bosque No Accesible

Determinación del efecto de la pendiente

En relación con el efecto de la variable "pendiente" con la deforestación, se encontró que existen correlaciones en las regiones Andina y Caribe, donde se ha presentado la mayor transformación histórica, lo cual es coherente con el supuesto de que las altas pendientes si constituyen un limitante para la deforestación (S2). En biomas como Pacífico y Amazonía, no se observó esta correlación, sin embargo con el fin de establecer una estimación más conservadora, se aplicó la misma restricción a todas las regiones. Los mejores ajustes se observaron con el umbral de 15°, un resultado consistente con ejercicios desarrollados para México (López-Barrera, Manson & Landgrave, 2014), donde se reporta un efecto de la pendiente a partir de los 12°.

Estimación del efecto de la accesibilidad por cercanía a vías terrestres

En este análisis se observó que la deforestación total se hace poco significativa a partir de los 14,5 km en el bioma amazónico, donde más del 90% de la deforestación se encuentra antes de este límite, con valores cercanos en el resto del país. Por ello, se estableció un umbral de 15 km como la distancia a partir de la cual el bosque se considera inaccesible o con poca probabilidad de deforestación por accesibilidad.

La accesibilidad por distancia a vías terrestres fue establecida como un *buffer* de 15 km a partir de las vías de la cartografía oficial IGAC escala 1:100.000, dando como resultado que la mayor parte del territorio nacional es accesible por medio terrestres, con más del 97% del territorio accesible en los biomas Caribe, Andes y Orinoquia; siendo ésta una variable diferenciadora en los biomas Pacífico y Amazonía donde sólo es accesible el 40,7% y 29,3% del territorio, respectivamente. Por lo tanto, se considera que en estas regiones la accesibilidad terrestre sí representa una limitante para el avance de la deforestación.

3.3.3. Estimación del Bosque Mínimo

Para establecer el bosque mínimo o remanente se realizó un análisis de conglomerados por municipio, asociando los municipios de acuerdo a su proporción de deforestación (deforestación acumulada con relación al área del municipio) y su proporción de bosque remanente (área de bosque 2017 con relación al área del municipio). Cabe aclarar que los análisis se hicieron con relación a la porción del municipio que no estaba previamente incluido dentro de figuras de manejo, zonas de alta pendiente o baja accesibilidad terrestre. La Tabla 6 muestra el resultado del análisis para cada bioma. Los resultados muestran que, comparados con los demás biomas, Amazonía y Pacífico no han llegado a un punto de estabilización, ya que aún en las zonas más

afectadas por la deforestación no presentan niveles de transformación semejantes a los de los demás biomas. Se realizaron proyecciones agrupando los municipios en 5, 4 y 3 conglomerados; sin embargo, el análisis con 5 conglomerados mostró un mejor ajuste y fue seleccionado para la modelación.

Tabla 6 Promedio de porcentaje de bosque mínimo para 5 conglomerados

Bioma	Bosque mínimo promedio
Amazonía	5,1%
Andes	2,4%
Caribe	1,6%
Orinoquía	4,6%
Pacífico	59,1%

3.3.4. Total de bosque susceptible a la deforestación por bioma

La superposición de las variables da como resultado las zonas no accesibles. Las áreas restantes corresponden a aquellas donde no hay efecto de ninguna de las variables; el área restante de cada región se multiplicó luego por la proporción mínima de bosque remanente estimada (Tabla 6), para establecer el área de bosque remanente para cada región. Este resultado se resta del total del bosque sin restricciones para obtener el bosque susceptible a la deforestación (Tabla 7), es decir el límite o saturación de crecimiento del modelo (K). Se estima que este corresponde a aproximadamente al 13,6% del bosque del país en el año 2017. Para efectos de la modelación este valor fue ajustado, incluyendo la deforestación acumulada en el periodo de referencia, pues el modelo incluye una proyección desde el año 2000 con pivotes en los años 2016 y 2017.

Tabla 6 Bosque susceptible a la deforestación

Bioma	No accesible (superposición de todas las restricciones)		Accesible (sin restricción)				K Bosque susceptible de deforestación 2017 (ha)	Deforestación acumulada 2000-2017 (ha)	K ajustado para la proyección (ha)
	Área total no accesible (ha)	Bosque no accesible (ha)	Área total Accesible (ha)	Bosque accesible (ha)	Proporción de bosque mínimo	Bosque mínimo (ha)			
Amazonía	37.888.875	35.792.871	7.968.338	3.722.461	5,1%	406.385	3.316.076	1.399.677	4.715.753

Andes	16.514.609	7.651.255	12.681.394	2.920.089	2,4%	304.353	2.615.735	462.133	3.077.868
Caribe	3.475.961	951.184	11.973.937	745.289	1,6%	191.583	553.706	281.178	834.884
Orinoquia	899.257	101.319	15.933.052	2.032.458	4,6%	732.920	1.299.537	179.501	1.479.039
Pacífico	4.391.507	3.741.677	2.330.320	1.650.723	59,1%	1.377.219	273.504	158.573	432.076
Nacional	63.170.210	48.238.306	39.816.022	11.071.020	7,6%	3.012.461	8.058.558	2.481.062	10.539.620

3.4. Proyección de la deforestación

Con base en los resultados obtenidos para las tasas de crecimiento (b) y la saturación (K), se construyeron proyecciones por bioma. Como se mencionó previamente, el modelo nacional consiste en la suma de los modelos regionales por bioma, lo que se ilustra en la Figura 6. Se observa que la mayor proporción de la deforestación total corresponde al comportamiento esperado en la región Amazónica, la cual determina la tendencia general del país. El resultado de la proyección nacional fue evaluado con respecto al ajuste a la serie histórica de referencia 2008-2017 para obtener el ajuste por circunstancias nacionales para el período 2018-2022 (Figura 7).

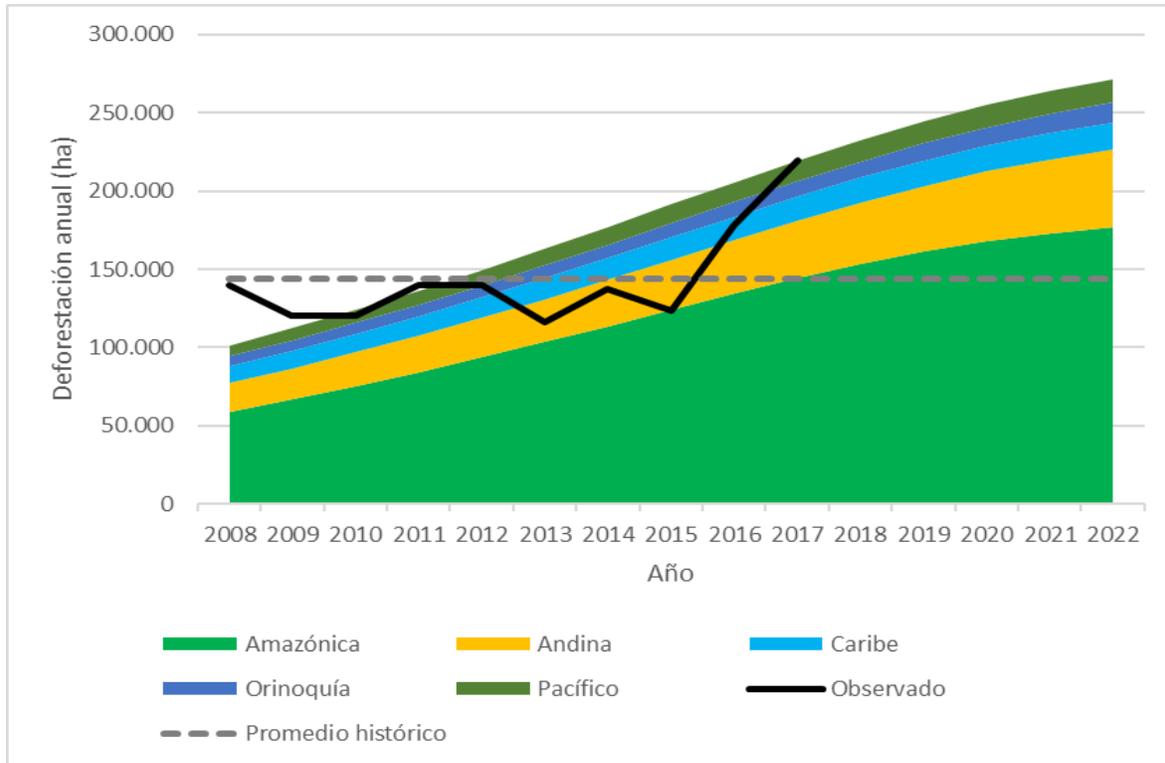


Figura 6. Proyección nacional resultado de la suma de proyecciones por bioma.

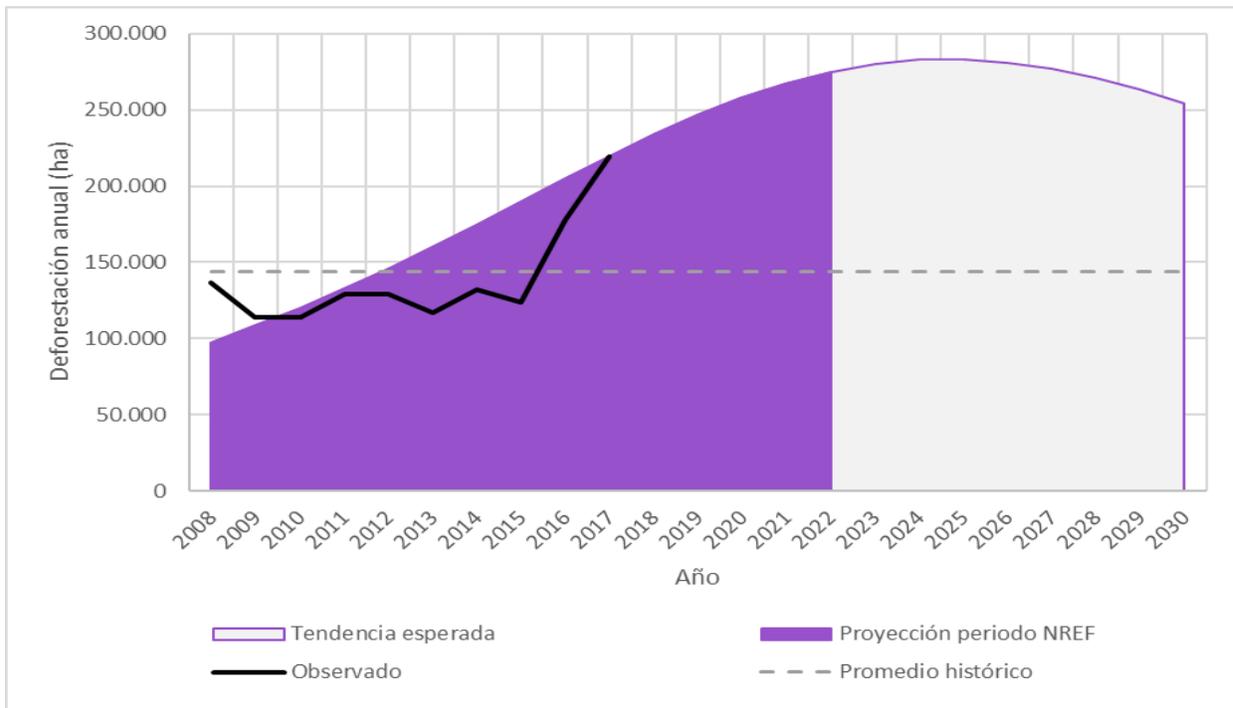


Figura 7. Proyección nacional de pérdida de bosque natural

3.5. Ajuste por circunstancias nacionales 2018-2022

El NREF incorpora un ajuste por las circunstancias nacionales estimadas utilizando el modelo logístico desarrollado para cada uno de los cinco biomas, los cuales fueron agregados para dar un resultado nacional. Colombia estimó un ajuste anual diferencial sobre el valor de las emisiones promedio del período de referencia 2008-2017. La Tabla 7 presenta el ajuste anual para el período 2018-2022, sin tener en cuenta el error del modelo.

Tabla 7. Ajuste anual del NREF por circunstancias nacionales. Período 2018-2022.

Año	Promedio histórico 2008-2017 (ha)	Ajuste circunstancias nacionales (ha)	Deforestación Total (promedio histórico + circunstancias nacionales)	Ajuste (%)
2018	143.532,6	89.105,5	232.638,08	62,08%

Año	Promedio histórico 2008-2017 (ha)	Ajuste circunstancias nacionales (ha)	Deforestación Total (promedio histórico + circunstancias nacionales)	Ajuste (%)
2019	143.532,6	101.120,7	244.653,28	70,45%
2020	143.532,6	111.728,3	255.260,88	77,84%
2021	143.532,6	120.622,7	264.155,28	84,04%
2022	143.532,6	127.552,0	271.084,58	88,87%

4.2.1 Estimación del error

Cualquier proyección tiene asociado un nivel de incertidumbre, dado que a su vez este se convierte en un pronóstico de un fenómeno a partir de unas características observadas. Por tanto, se hace necesario establecer en qué medida el modelo utilizado, en este caso la función logística, podría ofrecer proyecciones precisas y confiables.

Para medir la incertidumbre o error del modelo, se utilizaron análisis cuantitativos a través del error cuadrático medio, y el porcentaje medio de error absoluto, los cuales permiten medir la dispersión de los datos observados frente a los proyectados.

A continuación, se presentan las pautas que se siguieron para su cálculo.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{|A_t| \cdot n}$$

Donde

A_t Deforestación observada en el período t
 F_t Deforestación proyectada en el período t
 n Total de períodos observados

El cálculo de errores se realizó para cada una de las proyecciones realizadas utilizando los diferentes periodos de tiempo. A continuación, se presenta los resultados del error estimado para la proyección (Tabla 8). Se presentan los resultados del modelo que presenta el mejor ajuste, es decir, aquél que tiene asociado el menor error.

Tabla 8. Errores asociados a las proyecciones de deforestación

Bioma	Porcentaje error medio absoluto
	<i>MAPE</i>
Nacional	18,7
Amazónica	39
Andina	8,3
Caribe	15,8
Orinoquía	16,6
Pacífico	54,5

Con base en el porcentaje del error medio absoluto (tabla 8) se estimaron los intervalos de confianza para la estimación del ajuste por cambio en las circunstancias nacionales (tabla 9).

Tabla 9. Intervalos de confianza para el ajuste por cambio en las circunstancias nacionales

Año	Promedio histórico 2008-2017	Ajuste adicional estimado por circunstancias nacionales		Intervalo superior ajuste adicional circunstancias nacionales		Intervalo inferior ajuste adicional circunstancias nacionales	
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
2018	143.532,6	89.105,5	62,08%	132.608,8	92,39%	45.602,2	31,77%
2019	143.532,6	101.120,7	70,45%	146.870,9	102,33%	55.370,5	38,58%

Año	Promedio histórico 2008-2017	Ajuste adicional estimado por circunstancias nacionales		Intervalo superior ajuste adicional circunstancias nacionales		Intervalo inferior ajuste adicional circunstancias nacionales	
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
2020	143.532,6	111.728,3	77,84%	159.462,1	111,10%	63.994,5	44,59%
2021	143.532,6	120.622,7	84,04%	170.019,8	118,45%	71.225,7	49,62%
2022	143.532,6	127.552,0	88,87%	178.244,8	124,18%	76.859,2	53,55%

5. GLOSARIO

Bosque mínimo: Cantidad de bosque que debido a diferentes factores, generalmente permanece en cualquier municipio, incluso después de que el mismo haya estado expuesto a altas tasas de deforestación.

Bosque no accesible: Área de bosque que por efecto de su distancia a vías terrestres o de la pendiente es difícil o totalmente inaccesible para los agentes que generan la deforestación.

Bosque protegido: Área de bosque que se encuentra dentro de los límites de figuras de manejo que, de acuerdo con análisis estadísticos, presentan niveles de deforestación significativamente inferiores a zonas sin figuras de manejo. Para efectos de modelación se utilizan estas áreas como zonas protegidas donde la deforestación es igual a cero dentro del periodo de proyección.

Bosque susceptible de deforestación: Cantidad de bosque que no presenta ninguna de las restricciones establecidas por los supuestos de modelación, por lo tanto, es utilizada como el valor máximo de bosque deforestable por el modelo empleado.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ávila, A. 2017. Una tragedia ambiental en Colombia. El País, febrero 6. http://internacional.elpais.com/internacional/2017/02/06/colombia/1486384363_280683.html.

Dunn, O. 1961. Multiple Comparisons among Means, Journal of the American Statistical Association, 56:293, 52-64, DOI: 10.1080/01621459.1961.10482090

Fundación Paz & Reconciliación. 2018a. ¿Cómo va la paz? Pares-Fundación Paz & Reconciliación. La Iniciativa, Unión por la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Paz & Reconciliación. 2018b. ¿Cómo va la paz?: La reestructuración unilateral del Acuerdo de Paz. Pares-Fundación Paz & Reconciliación. Bogotá, Colombia.

González, J. Cubillos, A. Chadid, M. Cubillos, A. Arias, M. Zúñiga, E. Joubert, F. Pérez, I. Berrío, V. 2018. Caracterización de las principales causas y agentes de deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá, Colombia.

Hartigan, J. A.; Wong, M. A. (1979). «Algorithm AS 136: A k-medias Clustering Algorithm». *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)* **28** (1): 100–108. JSTOR 2346830.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2018. Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

López-Barrera, F., Manson, R. H., & Landgrave, R. (2014). Identifying deforestation attractors and patterns of fragmentation for seasonally dry tropical forest in central Veracruz, Mexico. *Land Use Policy*, 41, 274-283.