



ESTIMACIÓN DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN EN MÉXICO PARA EL PERIODO 2001-2018 MEDIANTE EL MÉTODO DE MUESTREO.

Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico.

El presente documento describe la metodología implementada para la obtención de datos insesgados de la deforestación bruta a nivel nacional para el periodo 2001-2018, así como los principales resultados obtenidos.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

Octubre de 2020

Anillo Periférico Norte. Manuel Gómez Morín 5360,

Col. San Juan de Ocotán, C.P.

45019, Zapopan, Jalisco, México.

www.gob.mx/conafor

EDICIÓN

José Armando Alanís de la Rosa

Gerencia de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (GSNMF)

Oswaldo Ismael Carrillo Negrete

Unidad Técnica Especializada en Monitoreo, Reporte y Verificación (UTEMRV)

FORMA DE CITAR

CONAFOR (2020). *Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico.* Jalisco, México.

Publicación realizada con información del sistema Satelital de Monitoreo Forestal y del Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación y con participación de los siguientes especialistas de la UTEMRV y de la GSNMF:

Eder Larios Guzman, Luis Martinez Angel, Maria De Los Ángeles Soriano Luna, Cesar Moreno Garcia, Adrian Ochoa Sanchez, Rafael Mayorga Saucedo, Carmen Lourdes Meneses Tovar, Miguel Ángel Muñoz Ruiz, Miriam Vargas Llamas, Catherine Lynnette Navarro Duarte, Fabiola Isabel Esquerra Manjarrez, Juan Pablo Ávila De Alba, Marco Antonio Íñiguez Hernandez





AGRADECIMIENTOS

La Comisión Nacional Forestal agradece el valioso apoyo brindado por las diferentes iniciativas internacionales para fortalecer el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación y el sistema Satelital de Monitoreo Forestal, a través del cual ha sido posible la elaboración del presente trabajo. En especial agradecemos al Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés) por su confianza en la institución y sus contribuciones económicas y técnicas que permitieron generar los principales insumos empleados en este trabajo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVO	9
3. ANTECEDENTES	10
4. ALCANCES	
DE LA ESTIMACIÓN	15
5. METODOLOGÍA	20
6. RESULTADOS	52
7. RECOMENDACIONES	61
8. REFERENCIAS	63
9. ANEXOS	65

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

6ª CN	Sexta Comunicación Nacional
BUR	Informe Bienal de Actualización
CGL	Conglomerados
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
ENAREDD+	Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FRA	Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales
GEI	Gases de efecto invernadero
GSNMF	Gerencia de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal
IAPF	Información Agrícola, Pecuaria y Forestal
IC	Información Complementaria
IEFF	Información Ecológica, Florística y Fisonómica
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEGYCEI- USCUSS	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IRE	Iniciativa de Reducción de Emisiones
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
NRF	Nivel de Referencia Forestal
REDD+	Reducción de emisiones debidas a la deforestación y degradación forestal, y la función de la conservación, la gestión sostenible de bosques y el incremento de las reservas forestales de carbono
SNMF	Sistema Nacional de Monitoreo Forestal
SAMOF	Sistema Satelital de Monitoreo Forestal
SMRV	Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación
USCUSS	Sector Uso del Suelo, Cambio del Suelo y Silvicultura
USyV	Uso de suelo y vegetación
UMP	Unidades de muestreo primarias
UMS	Unidades de muestreo secundarias
UTEMRV	Unidad Técnica Especializada en Monitoreo, Reporte y Verificación



I.

INTRODUCCIÓN



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

I. INTRODUCCIÓN

Diversos países en el mundo han desarrollado iniciativas para el monitoreo de sus recursos forestales y la estimación de la deforestación, con la finalidad de producir información sobre los cambios en la cobertura forestal como un insumo básico para apoyar en la gestión de las políticas públicas y la toma de decisiones dirigidas a la conservación, protección, restauración y manejo sostenible de los ecosistemas forestales. Especialmente en los trópicos, donde los bosques están declinando rápidamente, es de vital importancia contar con sistemas nacionales de monitoreo forestal capaces de estimar de manera confiable la cobertura forestal, los cambios en la cobertura forestal y los cambios en los almacenes de carbono (Romijn *et al.*, 2015).

En la última década, muchos países tropicales han logrado avances importantes en el desarrollo e implementación de sus sistemas nacionales de monitoreo forestal, incluido el monitoreo de la deforestación, lo que les facilita un entendimiento sobre sus recursos forestales para apoyar en el diseño e implementación de acciones para la mitigación del cambio climático. Una parte importante de estos avances se refiere al desarrollo de capacidades, tanto técnicas como institucionales, para monitorear la deforestación.

En México, existen diversas publicaciones científicas sobre la cuantificación de la deforestación en distintos periodos, realizadas con diferentes objetivos, métodos e insumos. Una cuestión recurrente en muchas de éstas es la utilización de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, como principal insumo

EN LA ÚLTIMA DÉCADA,
MUCHOS PAÍSES TROPICALES
HAN LOGRADO AVANCES
IMPORTANTES EN EL DESARROLLO
E IMPLEMENTACIÓN DE SUS
SISTEMAS NACIONALES DE
MONITOREO FORESTAL

de base, debido a su consistencia en el uso de la clasificación sobre la cobertura vegetal y el uso del suelo en nuestro país.

La CONAFOR ha monitoreado la pérdida de la superficie forestal de México, en el marco de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA por sus siglas en inglés), la cual es coordinada por la FAO para evaluar regularmente el estado de los bosques del mundo. Además, como parte del informe de resultados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) y en cumplimiento al Artículo 46 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), la CONAFOR ha publicado la tasa de deforestación nacional y por formación forestal para el periodo 1993-2011, utilizando los procesos metodológicos establecidos por la FAO, las definiciones pertinentes estipuladas en la LGDFS y los insumos cartográficos del INEGI antes referidos.

Adicionalmente, otro reporte relevante para el país que contiene datos sobre la deforestación bruta es el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) de México, el cual fue elaborado por la CONAFOR y presentado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 2014. En este NREF se utiliza una definición de bosque consistente con la de Tierras Forestales, de conformidad con las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006). El NREF fue evaluado técnicamente por expertos de la CMNUCC y publicado en 2015 en el sitio de información de Lima¹.

Sin embargo, es importante resaltar que ninguno de los reportes antes mencionados fue presentado con un análisis de incertidumbre asociado a los datos de la deforestación resultantes. En otras palabras, los datos presentados en cada informe provienen de la cartografía del INEGI o del procesamiento de la información geoespacial derivada de esta cartografía, sin que se haya realizado la evaluación de su exactitud temática para calcular los errores asociados a la misma.

Posteriormente, en 2018, la CONAFOR y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) formularon y presentaron el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (INEGYCEI-USCUSS) como parte de la Sexta Comunicación Nacional (6^a CN) y el Segundo Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) ante la CMNUCC. Dichos informes fueron realizados en estrecha colaboración con el INEGI. Como producto de lo anterior, por primera vez en la historia del país, se generó un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) presentando los datos de deforestación bruta con el correspondiente análisis de incertidumbre asociado a los datos de actividad o, como también se conoce, con datos insesgados de deforestación.

La formulación del INEGYCEI-USCUSS a partir de la generación de datos de deforestación bruta con áreas insesgadas, representó un hito en las estimaciones a nivel nacional.

No obstante lo anterior, el monitoreo de la deforestación en México, en cuya metodología se encuentra implícito el uso de los productos cartográficos del INEGI, representa dificultades importantes, principalmente las asociadas a la falta de certeza respecto de la continuidad sistemática y periódica para la actualización de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación, las limitaciones que tiene esta cartografía para detectar los cambios en la cobertura forestal, por su baja resolución espacial y temporal, así como por la alta incertidumbre de los mapas de cambios que son generados mediante el traslape geométrico de dichas cartas.

Considerando lo anterior, se hizo necesario implementar un enfoque de monitoreo continuo y preciso que permitiera conocer las zonas críticas de deforestación a distintos niveles en el país. Por ello, desde 2012, la CONAFOR ha venido trabajando en el desarrollo e implementación de un sistema asistido por percepción remota para mejorar el monitoreo y análisis de la cobertura forestal de México.

En 2016, la CONAFOR creó la Gerencia de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (GSNMF), con la finalidad de institucionalizar y conjuntar las iniciativas para el monitoreo de los recursos forestales de México, de manera organizada y programática. Para la implementación óptima del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), se contemplan tres componentes esenciales: (i) el INFyS, dedicado a la colecta, gestión y análisis de datos de campo para la generación de indicadores forestales; (ii) el sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF), componente que se apoya en la percepción remota para el análisis de la cobertura de suelo y sus cambios originados por causas naturales o antrópicas para así estimar la

¹ El sitio de Información REDD+ de Lima fue establecido de conformidad con la decisión 9/CP.19 de la Conferencia de las Partes de la CMNUCC como un medio para publicar información sobre los resultados de las actividades de REDD+ y los correspondientes pagos basados en resultados. El Centro de Información de REDD+ de Lima tiene como objetivo aumentar la transparencia de la información sobre las acciones de REDD+ basadas en resultados. Disponible en <https://redd.unfccc.int/info-hub.html>

degradación y las tasas de deforestación del país; y (iii) el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (SNMRV), dedicado a la estimación y reporte de flujos de emisiones de GEI en el sector forestal.

El diseño e implementación del SNMF está mandatado a implementarse en la CONAFOR, de acuerdo con lo indicado en el artículo cuarto transitorio de la LGDFS, así como en el artículo 34, fracción VII de la misma. Por su parte, el sistema SAMOF también cuenta con un marco legal y programático robusto, teniendo como objetivo generar información geoespacial sobre la dinámica de la cobertura de los ecosistemas forestales, incluyendo la deforestación y degradación forestal, en cumplimiento de lo establecido en el artículo 46, fracciones I, II, III, IV y VIII, de la LGDFS y artículo 17, fracciones XXX y XXXI, del Estatuto Orgánico de la CONAFOR.

El Sistema SAMOF es un conjunto de enfoques, arreglos institucionales, herramientas y procesos para monitorear la dinámica de la cobertura forestal del país. Sus dos principales enfoques operativos son:

1. Enfoque *wall-to-wall* (pared a pared), cuyo objetivo es producir mapas de cobertura forestal y de cambios de cobertura forestal con la suficiente calidad (mayor resolución espacial y temporal y adecuada exactitud temática) para monitorear las diferentes transiciones de interés para el país (deforestación, reforestación, recuperación, permanencias, etc.); y

2. Enfoque de muestreo sistemático, implementado a través del uso de una malla nacional de muestreo basada en el diseño muestral del INFyS.

Particularmente, el enfoque de muestreo sistemático es un método costo-eficiente para producir información sobre los cambios de uso del suelo (incluyendo la deforestación bruta en primera instancia), con niveles adecuados de precisión en países con superficies extensas y con alta biodiversidad como es el caso de México. La necesidad de contar con datos actualizados de la deforestación en el país, así como con una serie histórica consistente sobre la deforestación, dio lugar a la implementación de este enfoque, el cual es complementario al enfoque *wall-to-wall* o pared a pared conforme a la ruta de trabajo del SNMF.

Además, la implementación del enfoque de muestreo sistemático ha sido alentada por expertos nacionales e internacionales, como una forma asequible y precisa para conocer las tasas de deforestación bruta del país y conocer espacialmente las zonas críticas de deforestación (hotspots) a nivel regional o estatal.

Este documento describe la metodología utilizada para la estimación de la tasa de deforestación bruta a nivel nacional con el método de muestreo sistemático.



2.

OBJETIVO



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



2. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es describir el proceso para la estimación de la tasa de deforestación bruta anual de México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo como parte de los enfoques operativos del SAMOF.





3.

ANTECEDENTES



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

3.1. ESTIMACIONES DE LA DEFORESTACIÓN NACIONAL EN LA LITERATURA CIENTÍFICA

Diversas publicaciones científicas respecto a la tasa de deforestación nacional coinciden en haber utilizado las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI como sus principales insumos. No obstante, estos estudios contemplaron temporalidades, objetivos y métodos distintos de estimación, por lo que los valores presentados en todos estos contienen variaciones significativas.

Masera *et al.*, (1997) reportaron una tasa de deforestación bruta de 668,000 hectáreas por año. Por su parte, Velázquez *et al.* (2002) reportaron una pérdida de superficie de 550,000 hectáreas por año, mientras que Rosete-Vergés *et al.*, (2014) encontraron una pérdida anual de 534,707 hectáreas en el año 2007.

Independientemente del nivel de consistencia metodológica entre estas investigaciones, es importante señalar que ninguno de estos estudios contempló la obtención de la evaluación de exactitud temática de los mapas procesados, por lo que ninguno cuenta con incertidumbres asociadas a los resultados.

3.2. ESTIMACIONES DE LA DEFORESTACIÓN EN REPORTE INSTITUCIONALES

En el marco del FRA de la FAO se reportó para México una pérdida neta de superficie forestal de 190,000 ha/año entre 1990 y 2000; de 136,000 ha/año entre 2000 y 2010; una pérdida de 92,000 ha/año en el periodo de 2010 a 2015; y finalmente, una tasa de deforestación de 127,770 ha/año para el periodo 2015-2020. Salvo en el último periodo de reporte, se observa una tendencia decreciente de la pérdida de cobertura forestal.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, estos datos fueron obtenidos teniendo como insumos las series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, por lo que dicha tendencia decreciente podría ser producto de las distintas metodologías utilizadas para la producción de cartografía del INEGI.

En 2012, México ya contaba con cinco comunicaciones nacionales presentadas ante la CMNUCC. Durante 2014, la CONAFOR, en colaboración con el INECC desarrolló el Inventario Nacional de

LITERATURA CIENTÍFICA: DEFORESTACIÓN BRUTA

1997- **668,000 ha/año**

PÉRDIDA DE SUPERFICIE

2002- **550,000 ha/año**

2007- **534,707 ha/año**

FAO: PÉRDIDA NETA DE SUPERFICIE FORESTAL

1990-2000: **136,000 ha/año**

2010-2015: **92,000 ha/año**

2015-2020: **127,770 ha/año**

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para el sector Uso del Suelo, Cambio del Suelo y Silvicultura (USCUSS) como parte del Primer BUR. Los datos obtenidos en este INEGEI fueron utilizados para la construcción del NREF que México presentó a la CMNUCC en diciembre de 2014. Los datos de deforestación bruta basados en una definición de bosque consistente con el IPCC², fueron los siguientes: 526,930 ha/año (periodo 2000-2001); 675,577 ha/año (periodo 2002-2006); y 355,988 ha/año (periodo 2007-2010).

Durante 2016 y 2017, la CONAFOR realizó mejoras metodológicas importantes al SNMRV que fueron implementadas en la elaboración del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN ante la CMNUCC. Una parte fundamental de estas mejoras metodológicas consistió en la generación de datos de actividad mediante un análisis de incertidumbre, que incluyó la evaluación de exactitud temática de los mapas de cambios generados a partir de las Series II hasta VI de las cartas de uso del suelo y vegetación. Los datos insesgados de deforestación resultantes a partir de la aplicación de este método fueron: 176,055 ha/año para el periodo 1990-2001; 173,935.01 ha/año en el periodo 2002-2006; 193,317.44 ha/año durante 2007-2010; y 251,202.38 ha/año para el último periodo analizado, correspondiente a 2011-2015.

La CONAFOR y distintos expertos en la materia han considerado que los valores de deforestación publicados en la 6ª CN, son un referente importante de la mejora en los cálculos para la estimación de la deforestación en comparación con los que se habían realizado con anterioridad en el país. Esta mejora se basó, principalmente, en brindar datos sobre áreas ajustadas, con respecto a las mapeadas, mediante un proceso de evaluación de exactitud temática, tomando en consideración las observaciones de evaluaciones externas internacionales, y no solamente a los datos estimados mediante la sobreposición de mapas, como se había realizado en reportes previos a la 6ª CN. No obstante, el enfoque metodológico basado en la sobreposición

de cartografía del INEGI, aún con la evaluación de la exactitud temática, continua presentando serias limitaciones.

DEFORESTACIÓN BRUTA

ESTIMACIONES BASADAS EN EL USO DE CARTAS DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DEL INEGI BASADAS EN UNA DEFINICIÓN DE BOSQUE CONSISTENTE CON EL IPCC

2000-2001: **526,930 ha/año**

2002-2006: **675,577 ha/año**

2007-2010: **355,988 ha/año**

3.3. CONTEXTO INTERNACIONAL

El uso de información y herramientas de percepción remota para el monitoreo de cambios en el área forestal se ha incrementado paulatinamente. Conforme a lo señalado en el FRA 2015, el área total de bosque tropical a nivel mundial que se evaluó con altas capacidades de detección remota aumentó de 69% (1,435 millones de ha) en 2005, a 83% (1,699 millones de ha) en 2015. En 2015, el 56% de los países generaron sus propios mapas de cambio de bosque usando herramientas de percepción remota para monitorear los cambios en el área forestal con mayor exactitud. En general, América Latina y los países del sudeste asiático tienen buenas capacidades técnicas para el uso de percepción remota. Los datos satelitales de alta resolución libres y de código abierto, como es el caso de Landsat, siguen siendo una fuente de datos importante para evaluar el cambio histórico de la cobertura forestal (Romijn *et al.*, 2015).

En el marco del mecanismo internacional REDD+, la CMNUCC reportó que, hasta el año 2019, 40 países habían sometido su nivel de referencia para su revisión por parte del secretariado de la CMNUCC, de los cuales, 14 países son del continente americano.

2 Esta definición de 'bosque' es consistente con el concepto de 'tierras forestales' según la clasificación del IPCC (2006). Éste último, representa una definición más amplia de 'bosque' ya que incluye a algunos tipos de matorrales como formaciones forestales.

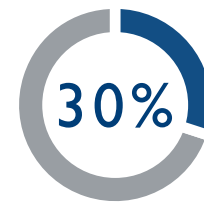
Brasil y México en 2014, y Colombia y Ecuador en 2015, fueron de los primeros países en elaborar y someter sus niveles de referencia de emisiones forestales. Como se ha mencionado anteriormente, México utilizó un enfoque *wall-to-wall* (es decir, usando los mapas de INEGI) para obtener los datos de actividad, incluyendo las tasas de deforestación, y el INFyS para estimar los factores de emisión.

Con excepción de Panamá y Nicaragua, la mayoría de los países latinoamericanos utilizaron el enfoque *wall-to-wall* asistido con percepción remota y sistemas de información geográfica. Panamá, en 2018, y Nicaragua, en 2019, utilizaron un método innovador para la estimación de la deforestación, basado en la detección de cambios temporales mediante la interpretación visual de una malla sistemática de muestreo asociada a sus inventarios forestales nacionales. Este método de muestreo sistemático ha tomado relevancia en los últimos años debido, principalmente, a su costo-eficiencia respecto a los enfoques *wall-to-wall*, basados en la producción y utilización de mapas, además de que los cálculos presentan mejores niveles de precisión que el enfoque *wall-to-wall*. La implementación del enfoque de muestreo sistemático se basa en el uso de herramientas de libre acceso como son Collect Earth y Open Foris Collect, desarrolladas por la FAO y Google Earth Engine.

Según datos de la FAO, el uso de enfoques de muestreo para el monitoreo de la deforestación bruta en el marco de la elaboración de Niveles de Referencia de emisiones Forestales (NREF) o Niveles de Referencia Forestales (NRF) ante la CMNUCC se ha incrementado de manera notable en los últimos años. En particular, en el año 2018, 30% de los NREF/NRF enviados a la CMNUCC utilizaron el enfoque de muestreo para reportar tasas de deforestación.

Hasta 2019

40 países
habían sometido su
nivel de referencia para
su revisión por parte
del secretariado de la
CMNUCC



de los NREF/NRF enviados a la
CMNUCC utilizaron el enfoque
de muestreo para reportar
tasas de deforestación

3.4. RECOMENDACIONES DE LAS EVALUACIONES EXTERNAS Y JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO

La mayoría de los reportes descritos en la sección 3.2 han sido sometidos a procesos de evaluación externa, realizados por expertos de la FAO, de la CMNUCC y del Banco Mundial. Por lo general, dichas evaluaciones técnicas han resultado en una serie de recomendaciones emitidas por expertos internacionales. Una recomendación recurrente de las agencias antes mencionadas se refiere a la necesidad de llevar a cabo el análisis de incertidumbres de los datos de actividad, con la finalidad de producir áreas con menor sesgo que eliminen falsos cambios generados por el traslape (o combinación geométrica) de los mapas del INEGI. Asimismo, también se enfocaron en la mejora de los datos de actividad, en términos de la resolución espacial y temporal de los mapas utilizados como insumos. La evaluación técnica del NREF de México (2015) indicó que las estimaciones no tomaron en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de actividad, identificándose como áreas de mejora técnica, entre otras, la adopción de un área mínima de mapeo de los bosques más refinada, así como a la producción de mapas de cambios de coberturas más precisos (UNFCCC, 2015).

Como resultado de la revisión de los NREF subnacionales para los 5 estados de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) -Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán-, por parte del Banco Mundial se emitieron recomendaciones bastante similares a las generadas por la CMNUCC en la evaluación del NREF nacional.

En atención a las recomendaciones de las evaluaciones externas, y aunado a las necesidades de contar con información oportuna para el diseño e implementación de políticas públicas para detener y revertir la deforestación, la CONAFOR ha estado trabajando intensamente en la producción de mapas de cobertura y de cambios de cobertura bajo el enfoque *wall-to-wall* a través del Sistema SAMOF. Actualmente, la CONAFOR ha elaborado cartografía de alta calidad (con unidad mínima mapeable de una hectárea, resolución temporal bienal y resolución temática mejorada para los cinco estados de la IRE, tanto de coberturas como de cambios de cobertura, para el periodo histórico 2000-2016).

Durante la implementación de la cadena de producción del enfoque *wall-to-wall* del Sistema SAMOF a nivel subnacional, la CONAFOR ha logrado consolidar sus capacidades técnicas e institucionales para generar cartografía de alta calidad. Sin embargo, también se ha hecho evidente la complejidad técnica y los altos costos de producción de los mapas, principalmente atribuibles a las fases de post-procesamiento y de evaluación de exactitud temática, debido a la cantidad de recursos humanos y financieros que se necesitan para llevar a cabo la revisión manual e interpretación visual de la información geoespacial de todo el país.

En tal sentido, para poder escalar la cadena de producción de cartografía a todo el país, es necesario aumentar el número de especialistas en interpretación visual para realizar las revisiones manuales necesarias después de la fase de producción semiautomatizada de los mapas. Debido a la insuficiencia de recursos humanos y financieros para realizar estas tareas, aún no ha sido posible producir cartografía con cobertura nacional mediante el Sistema SAMOF.

Ante dichas circunstancias, la CONAFOR, con asesoría de especialistas nacionales e internacionales, inició la exploración de enfoques más costo-eficientes para generar, en un menor tiempo y costo, datos precisos de la deforestación a nivel nacional. El enfoque de muestreo sistemático fue propuesto por la Unidad Técnica Especializada en Monitoreo, Reporte y Verificación (UTEMRV), como un método paralelo y complementario a la producción de mapas mediante el enfoque *wall-to-wall*.

A partir de la implementación del enfoque de muestreo sistemático (previamente presentado, analizado y avalado por expertos de instituciones como el Banco Mundial, el Servicio Forestal de los Estados Unidos y el programa SilvaCarbon), ha sido posible resolver las necesidades concretas y apremiantes de la institución para la generación de información sobre las tasas de deforestación, mientras se continúan desarrollando los mapas de cambios de cobertura forestal para todo el país.

EL ENFOQUE DE MUESTREO SISTEMÁTICO FUE PROPUESTO POR LA UNIDAD TÉCNICA ESPECIALIZADA EN MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN (UTEMRV), COMO UN MÉTODO PARALELO Y COMPLEMENTARIO A LA PRODUCCIÓN DE MAPAS MEDIANTE EL ENFOQUE WALL-TO-WALL



4.

ALCANCES DE LA ESTIMACIÓN



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

En esta sección se presentan algunos elementos necesarios para especificar los alcances y limitaciones de las estimaciones de deforestación del presente análisis. Uno de los elementos centrales son las definiciones de bosque y deforestación empleadas en el marco de este enfoque metodológico. Se ha puesto especial atención en que dichas definiciones sean consistentes, en la medida de lo posible, con las definiciones del marco legal mexicano.

4.1. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DEL INEGI

El Sistema de Clasificación de Uso del Suelo y Vegetación utilizado en las cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI, escala 1:250,000, fue utilizado para establecer las definiciones operativas del presente documento. Este sistema de clasificación abarca la totalidad de territorio nacional y está constituido por tres grupos de información: información ecológica, florística y fisonómica (IEFF); información agrícola, pecuaria y forestal (IAPF) e información complementaria (IC). La IEFF contiene los tipos de vegetación, cuyo sistema de clasificación está basado en los trabajos de Rzedowski, J. (1978, 2005) y Miranda, F. y Hernández, E. (1963), la cual ha sido adaptada para su representación espacial de acuerdo con las necesidades de información del país. Este sistema de clasificación de la vegetación es jerárquico, su categoría más alta contiene los grupos de vegetación en donde se agrupan aquellos tipos de vegetación o comunidades afines, principalmente por sus rasgos fisonómicos, florísticos y ecológicos (e.g. bosques selvas, matorrales de zonas áridas y semiáridas, etc.). La IAPF contiene las clases de uso de suelo, entre las que se encuentran la agricultura de humedad, riego y temporal con sus diferentes tipos de cultivo (anual, semiperenne y perenne).

Finalmente, la IC incluye los asentamientos humanos, cuerpos de agua y la clase desprovista de vegetación.

Esta información sobre el estado de la cobertura vegetal y el uso de suelo de las cartas del INEGI es generada a escala nacional y metodológicamente consistente a través del tiempo, lo que permite realizar estudios temporales y cuantificar los cambios existentes en distintos periodos.

Cartografía del Uso del Suelo y la Vegetación (INEGI, 2009), en las cuales se describen las características de cada tipo de vegetación y clases de uso de suelo. Además, se realizaron reuniones técnicas con los expertos en vegetación y uso de suelo del INEGI con el fin de generar consensos en dichas relaciones de correspondencia.

4.2. DEFINICIÓN DE BOSQUE

4.2.1. DEFINICIONES EN LA LGDFS

El artículo 7, fracción LXXI, define como “terreno forestal” a aquel que está cubierto por vegetación forestal o vegetación secundaria nativa y produce bienes y servicios forestales. Por su parte, la “vegetación forestal” se define por la LGDFS como el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales (artículo 7, fracción LXXX).

4.2.2. BOSQUE

De acuerdo con las definiciones anteriores, en este estudio se define como “bosque” a todos los terrenos o tierras forestales que tienen una cobertura de dosel superior al 10%, con árboles de más de 4 metros de altura o capaces de alcanzar esta

altura *in situ*, y con una unidad mínima mapeable de una hectárea. No incluye terrenos donde se encuentren árboles y estén sometidos a un uso predominantemente agrícola o urbano.

Uno de los principales criterios de la definición de bosque fue la inclusión de los tipos de vegetación con predominancia de especies leñosas para que sea considerada Tierra Forestal (TF) consistente con las categorías generales de uso de la tierra descritas por el IPCC (IPCC, 2003 & 2006), por lo que los distintos tipos de vegetación (bosques, selvas y ciertos matorrales *sensu* INEGI, (2016a) se clasificaron en esta categoría. A continuación, en el Cuadro I se indican los tipos de vegetación, usos de suelo y otras coberturas (*sensu* INEGI) que se incluyen como Bosque o Tierras Forestales, Tierras Agrícolas, Praderas y demás clases IPCC.

Cuadro I. Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI con su correspondencia de clase IPCC con base en sus características fisonómico-estructurales.

Categoría IPCC	Clave INEGI	Descripción de tipos uso del suelo y vegetación (INEGI)	Categoría IPCC	Clave INEGI	Descripción de tipos uso del suelo y vegetación (INEGI)
			Tierras Forestales	PT	Vegetación de Petén
Tierras Forestales	BS	Bosque de Ayarín	Tierras Forestales	ML	Chaparral
Tierras Forestales	BB	Bosque de Cedro	Tierras Forestales	MC	Matorral Crasicaule
Tierras Forestales	BQ	Bosque de Encino	Tierras Forestales	MET	Matorral Espinoso Tamaulipeco
Tierras Forestales	BQP	Bosque de Encino-Pino	Tierras Forestales	MRC	Matorral Rosetófilo Costero
Tierras Forestales	BG	Bosque de Galería	Tierras Forestales	MSC	Matorral Sarcocaula
Tierras Forestales	MK	Bosque de Mezquite	Tierras Forestales	MSCC	Matorral Sarco-Crasicaule
Tierras Forestales	BA	Bosque de Oyamel	Tierras Forestales	MSN	Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina
Tierras Forestales	BP	Bosque de Pino	Tierras Forestales	MSM	Matorral Submontano
Tierras Forestales	BPQ	Bosque de Pino-Encino	Tierras Forestales	MST	Matorral Subtropical
Tierras Forestales	BJ	Bosque de Tásate	Tierras Forestales	MKX	Mezquital Desértico
Tierras Forestales	BM	Bosque Mesófilo de Montaña	Tierras Forestales	MKE	Mezquital Tropical
Tierras Forestales	MJ	Matorral de Coníferas	Tierras Forestales	VG	Vegetación de Galería
Tierras Forestales	BC	Bosque Cultivado	Tierras Forestales	VPI	Palmar Inducido
Tierras Forestales	BI	Bosque Inducido	Tierras Forestales	MKX	Mezquital Desértico
Tierras Forestales	VM	Manglar			

Categoría IPCC	Clave INEGI	Descripción de tipos uso del suelo y vegetación (INEGI)
Tierras Forestales	VPN	Palmar Natural
Tierras Forestales	SAP	Selva Alta Perennifolia
Tierras Forestales	SAQ	Selva Alta Subperennifolia
Tierras Forestales	SBQ	Selva Baja Espinosa Subperennifolia
Tierras Forestales	SBP	Selva Baja Perennifolia
Tierras Forestales	SBQP	Selva Baja Subperennifolia
Tierras Forestales	SG	Selva de Galería
Tierras Forestales	SMP	Selva Mediana Perennifolia
Tierras Forestales	SMQ	Selva Mediana Subperennifolia
Tierras Forestales	SBC	Selva Baja Caducifolia
Tierras Forestales	SBK	Selva Baja Espinosa Caducifolia
Tierras Forestales	SBS	Selva Baja Subcaducifolia
Tierras Forestales	SMC	Selva Mediana Caducifolia
Tierras Forestales	SMS	Selva Mediana Subcaducifolia
		
Tierras Agrícolas	HA	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAS	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HS	Agricultura de Humedad

Categoría IPCC	Clave INEGI	Descripción de tipos uso del suelo y vegetación (INEGI)
Tierras Agrícolas	HSP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	RA	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RSP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	TA	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TSP	Agricultura de Temporal
		
Praderas	MDM	Matorral Desértico Micrófilo
Praderas	MDR	Matorral Desértico Rosetófilo
Praderas	VD	Vegetación de Desiertos Arenosos
Praderas	VU	Vegetación de Dunas Costeras
Praderas	VY	Vegetación Gipsófila
Praderas	VH	Vegetación Halófila Xerófila
Praderas	PC	Pastizal Cultivado
Praderas	PY	Pastizal Gipsófilo
Praderas	PH	Pastizal Halófilo

Categoría IPCC	Clave INEGI	Descripción de tipos uso del suelo y vegetación (INEGI)
Praderas	PI	Pastizal Inducido
Praderas	PN	Pastizal Natural
Praderas	VW	Pradera de Alta Montaña
Praderas	VS	Sabana
Praderas	VSI	Sabanoide
Praderas	VA	Popal
		
Asentamientos	AH	Asentamientos Humanos
Asentamientos	ZU	Zona Urbana
		
Humedales	ACUI	Acuícola
Humedales	H2O	Cuerpo de Agua
Humedales	PRE	Cuerpo de Agua
		
Otras Tierras	ADV	Desprovisto de Vegetación
Otras Tierras	DV	Sin Vegetación Aparente

En el Cuadro I se indican los estratos o grupos de vegetación que constituyen la definición de bosque o tierras forestales utilizadas en este estudio. Esta definición de bosque o tierras forestales es consistente con el resultado de la consulta de la ENAREDD+, de la cual se derivaron recomendaciones para usar una definición más amplia de bosques para cumplir con el objetivo de la implementación de REDD+ de una manera incluyente (CONAFOR, 2017). Asimismo, esta definición se estableció de manera consistente con las definiciones de la LGDFS.

4.3. DEFINICIÓN DE DEFORESTACIÓN

4.3.1. DEFINICIONES DE ACUERDO CON EL FRA Y LA LGDFS

De acuerdo con el FRA 2010 (FAO, 2010) y 2015 (FAO, 2016) la deforestación es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cubierta de copa por debajo del umbral mínimo del 10%. La deforestación se refiere a la pérdida permanente de la cubierta de bosque e implica el cambio de tierra forestal hacia otro uso de la tierra. Este proceso puede ser causado y mantenido por inducción humana o perturbación natural. Consistentemente, la LGDFS (2018) define la deforestación como la pérdida de la vegetación forestal en forma permanente, por causas inducidas o naturales.

4.3.2. DEFORESTACIÓN

La definición de deforestación empleada en este documento implicó el análisis de tierras en dos tiempos. Para considerar ocurrencia de deforestación en un terreno dado, tuvo que haber sido clasificado como tierra forestal en el tiempo inicial y haber perdido la cobertura durante el periodo de análisis y permanecido como Tierra NO Forestal hasta el final del periodo de análisis. Pero no solo eso, también debe existir evidencia de un cambio en el uso del terreno de manera permanente. Por ejemplo, el cambio de tierra forestal a uso agrícola, pastizal, urbano o acuícola. Con base en lo anterior, la definición excluye a los terrenos que pierden su cobertura debido al aprovechamiento forestal, la tala ilegal o perturbaciones naturales (como es el caso de huracanes, ciclones, plagas, enfermedades, entre otras), situaciones en la que se espera que el bosque se regenere de manera natural.

El presente estudio se enfoca en el análisis de la deforestación bruta anual, en el periodo 2001-2018.



5.

METODOLOGÍA



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la totalidad de la superficie del territorio continental. La malla de muestreo empleada cubre 26,220 parcelas de muestreo distribuidas sistemáticamente en todo el país.

La superficie total del país asciende a 195,609,666.21 ha (de acuerdo con el Marco Geoestadístico del INEGI, 2016³), y puede dividirse en siete ecorregiones terrestres (Figura 1). Las ecorregiones son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos, mediante las cuales el país se divide en grandes “ecozonas” o regiones biogeográficas. La relevancia de las ecorregiones radica en el reconocimiento de que las divisiones políticas con fines administrativos (e.g. municipios, estados y países) no respetan los procesos ecológicos, por lo que es importante el desarrollo de políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental (CONABIO, 2019).

Este análisis de deforestación se realizó considerando la estratificación del país en las siete ecorregiones terrestres Nivel I.

La superficie y número total de parcelas muestreadas en cada ecorregión se muestra en el Cuadro 2. Una estratificación de esta naturaleza permite gestionar, como parte de un enfoque escalonado, la variabilidad de la ocurrencia de la deforestación en el país, desde el punto de vista estadístico.

Cuadro 2. Superficie total y número de parcelas muestreadas por ecorregión y equidistancia.

	Ecorregión-equidistancia		Superficie total (ha)	#	Número total de parcelas muestreadas
10x10	California Mediterránea		1,543,616		142
20x20	California Mediterránea		811,575		24
5x5	California Mediterránea		160,671		64
10x10	Desiertos de América del Norte		11,001,237		1,070
5x5	Desiertos de América del Norte		836,288		251
20x20	Elevaciones Semiáridas Meridionales		18,793,655		541
5x5	Elevaciones Semiáridas Meridionales		2,731,139		945
10x10	Grandes Planicies		5,312,481		520
20x20	Grandes Planicies		5,202,305		146
5x5	Grandes Planicies		160,022		58

3 INEGI (2016). Marco Geoestadístico Nacional de la versión junio 2016. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825217341>

	Ecorregión-equidistancia		Superficie total (ha)	#	Número total de parcelas muestreadas
10x10	Selvas Cálido-Húmedas		2,274,559	318	
20x20	Selvas Cálido-Húmedas		10,997,511	420	
5x5	Selvas Cálido-Húmedas		14,179,090	5,264	
10x10	Selvas Cálido-Secas		15,314,267	1,546	
20x20	Selvas Cálido-Secas		12,235,142	330	
5x5	Selvas Cálido-Secas		4,217,740	1,471	
10x10	Sierras Templadas		3,204,549	380	
20x20	Sierras Templadas		11,194,475	397	
5x5	Sierras Templadas		28,762,375	11,080	

Figura 1. Ecorregiones terrestres de México, Nivel I.



5.2. PERIODO DE ANÁLISIS

Se determinó un periodo de análisis desde 2001 hasta 2018. El principal criterio para definir este periodo, suficientemente amplio, se basa en la necesidad de la CONAFOR de tener datos continuos para apoyar el diseño y evaluación de las políticas públicas en el sector forestal.

5.3 FUNDAMENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO DEL ENFOQUE ELEGIDO

Algunos métodos de evaluación de las conversiones de uso de la tierra se basan en el muestreo. Mediante el muestreo pueden estimarse las superficies y sus cambios, a través de una estimación por medio de proporciones. Este método requiere conocer la superficie total del área de contabilidad, y que el sondeo de muestras brinde sólo las proporciones de diferentes categorías de uso de la tierra. Asimismo, este método requiere la evaluación de una cantidad determinada de unidades de muestreo. La selección de las unidades de muestreo puede llevarse a cabo empleando un muestreo aleatorio simple o uno sistemático. El muestreo sistemático normalmente mejora la precisión de las estimaciones de la superficie, en especial cuando coexisten diferentes clases de uso de la tierra en grandes áreas. También puede aplicarse la estratificación para mejorar la eficacia de las estimaciones de la superficie (IPCC, 2006).

A través de la interpretación visual aumentada, los usuarios pueden analizar simultáneamente imágenes satelitales de múltiples escalas y basar toda su evaluación en la misma actividad. Por lo tanto, si bien sólo del 5% al 10% de un área puede evaluarse directamente en una evaluación típica de mapas de cambios de cobertura generados con algoritmos semiautomáticos, las herramientas de colecta y el diseño de muestreo garantizan a los usuarios evaluar el 100% de los sitios que se utilizan en el cálculo de estadísticas sobre uso del suelo, cobertura del suelo

y dinámica del suelo (Bey *et al.*, 2016). Esto permite evitar incertidumbres clásicas y sesgos relacionados con extrapolaciones de métodos basados en mapeo (Tzamtzis *et al.*, 2019).

La estimación de la deforestación bruta se realizó mediante una evaluación visual multitemporal, utilizando una malla sistemática de parcelas asociadas a la red de conglomerados de muestreo del INFyS de México.

Los pasos generales de procedimiento de estimación de la deforestación mediante el método de muestreo son los siguientes:

1. Diseño de muestreo
2. Diseño de la unidad de muestreo (parcela)
3. Establecimiento de criterios y jerarquía de clasificación de cobertura y uso de la tierra
4. Proceso de interpretación multitemporal de categorías de cambio de cobertura y uso de suelo con imágenes satelitales en el periodo de análisis
5. Procesamiento de información, construcción de base de datos y control calidad
6. Análisis estadístico para estimación de áreas de cambio
7. Estimación y propagación de incertidumbres

5.4. INSUMOS

Para el proceso de interpretación multitemporal de categorías de cambio de cobertura y uso de suelo se emplearon los insumos que se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Insumos empleados para la estimación de deforestación por medio del enfoque de muestreo.

Fuente de información	Insumos específicos
Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS)	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenadas del sitio central de los conglomerados del INFyS • Composición florística y variables dasométricas de las parcelas de INFyS: familia, género, nombre científico, nombre común, diámetro normal y altura total
Repositorios de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución	<ul style="list-style-type: none"> • Bing Maps, Yandex Maps, Google Earth Engine, Code Editor y Google Earth Engine Explorer
Otros insumos	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfica anual del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) • Series temporales de Tipos de Uso del Suelo y de Vegetación desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

5.5. DISEÑO DE MUESTREO

Como se ha mencionado, la estimación de deforestación bruta del presente estudio se apoyó en una malla de muestreo sistemática distribuida a lo largo de todo el país. Las parcelas de muestreo de esta malla se localizaron sobre las coordenadas centrales de los conglomerados (CGL) del INFyS.

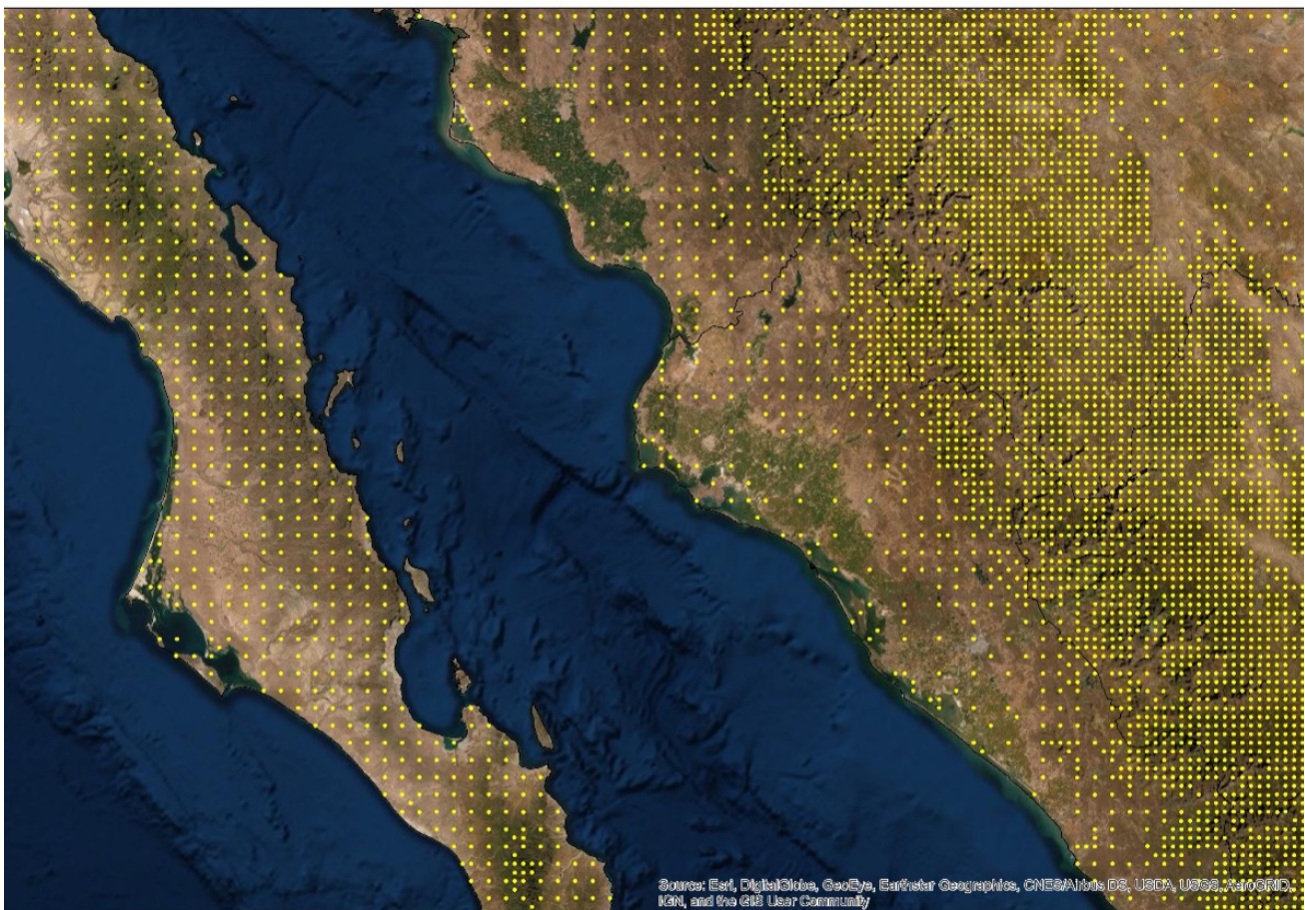
En virtud de lo anterior, a continuación, se describen las características del diseño de muestreo del INFyS. El INFyS está compuesto por CGL o unidades de muestreo primarias (UMP) con una superficie de 1,000 m² de forma circular; cada UMP cuenta, a su vez, con 4 sitios o unidades de muestreo secundarias (UMS) con una superficie de 400 m² cada una, dispuestas en forma de “Y” invertida (CONAFOR 2012 y 2018). Los elementos estadísticos bajo este diseño de muestreo permiten estimar la confiabilidad del inventario e intensificar el muestreo en zonas con mayor dinámica de cambio y con estructuras vegetativas más complejas (SEMARNAT, *et al.*, 2004)

La planeación del muestreo de campo del INFyS consistió en dos etapas. Una primera etapa o ciclo de muestreo en campo para el periodo 2004-2007 en donde se establecieron los conglomerados y se llevó a cabo la primera medición en campo. Posteriormente, una segunda etapa o ciclo denominada como remuestreo primera remediación. Actualmente se está llevando a cabo el tercer ciclo de levantamiento de datos de campo del INFyS para el periodo 2015-2019.

Específicamente, la evaluación de las parcelas (empleando imágenes satelitales) del presente estudio, se realizó sobre las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo (2009-2014) del INFyS; en caso de inaccesibilidad se consideró la ubicación de acuerdo con las coordenadas de campo del muestreo (2004-2009); finalmente si en ambas etapas los CGL fueron inaccesibles se consideró la ubicación teórica del CGL de acuerdo con las coordenadas de la malla original.









El número total de parcelas evaluadas fue 26,220 que corresponden a la totalidad de los CGL del INFyS (CONAFOR 2012 & 2018).

Figura 2. Patrón de distribución de los conglomerados del INFyS en tres estratos de vegetación (5x5 km, 10x10 km y 20x20 km).



DISEÑO DE MUESTREO EN OTROS PAÍSES

Diversos países han incursionado en las metodologías basadas en el muestreo para el cálculo de deforestación. A manera de ejemplo, en el Cuadro que sigue se muestran las equidistancias que determinaron algunos de estos países para sus inventarios forestales u otros objetivos como calcular tasas de deforestación. En los casos de Panamá, Nicaragua, Estados Unidos e Italia cuentan con Inventario Nacional Forestal. Particularmente, Panamá y Nicaragua anidaron su malla de muestreo a estos inventarios con la finalidad de calcular la deforestación. Es importante notar que las equidistancias tienen importantes variaciones, que van desde 1x1 km para el caso de un país como Italia, hasta 6x6 km en un país del tamaño de los Estados Unidos.

	País	 Diseño de muestreo	 Objetivo del muestreo	 Superficie nacional y tierra forestal (ha)
	Panamá	<ul style="list-style-type: none"> Malla de referencia de 3x3 km 8,237 puntos 	Utilización de malla de referencia anidada al Inventario Nacional Forestal y de Carbono para calcular la deforestación y el inventario de emisiones de GEI	<ul style="list-style-type: none"> Nacional: 7,690,261 TF: 4,899,255 (63.7% del territorio)
	Nicaragua	<ul style="list-style-type: none"> Malla de referencia a 4.5x4.8 km Aprox. 5,247 puntos 	Utilización de malla de referencia anidada al Inventario Nacional Forestal para calcular la deforestación y el inventario de emisiones de GEI	<ul style="list-style-type: none"> Nacional: 13,032,790 TF: 3,400,000 (26.1% del territorio)
	Mozambique	<ul style="list-style-type: none"> Malla de muestreo de 4x4 km considerando la malla de muestreo del Inventario Forestal Se revisaron 48,894 puntos 	Malla de referencia para calcular el nivel de referencia, deforestación y el inventario de emisiones de GEI	<ul style="list-style-type: none"> Nacional: 82,358,875 TF: 33,767,139 (41% del territorio)
	Estados Unidos de América	<ul style="list-style-type: none"> Malla de muestreo de 6x6 km 125,000 puntos 	Inventario Nacional Forestal	<ul style="list-style-type: none"> Nacional: 1,033,650,000 TF: 310,095,000 (30% del territorio)
	Italia	<ul style="list-style-type: none"> Malla de muestreo de 1x1 km 301,000 puntos 	Inventario Nacional Forestal	<ul style="list-style-type: none"> Nacional: 31,132,858 TF: 9,297,078 (29.9% del territorio)

5.6. DISEÑO DE LA PARCELA

El diseño de la parcela empleada para la interpretación siguió la forma geométrica de un cuadrado de una hectárea (10,000 m²) con centro en las coordenadas del sitio 1 de los conglomerados del INFyS. Asimismo, dentro de cada parcela y de manera sistemática se distribuyeron 25 puntos equidistantes, separados a 20 m (Figura 3). Con base en esta referencia, el intérprete contabilizó los puntos que interceptaron con cada elemento, usándolos como guía para evaluar el porcentaje de cobertura de cada elemento dentro de la parcela.

Figura 3. Diseño de las unidades de muestreo (parcelas).



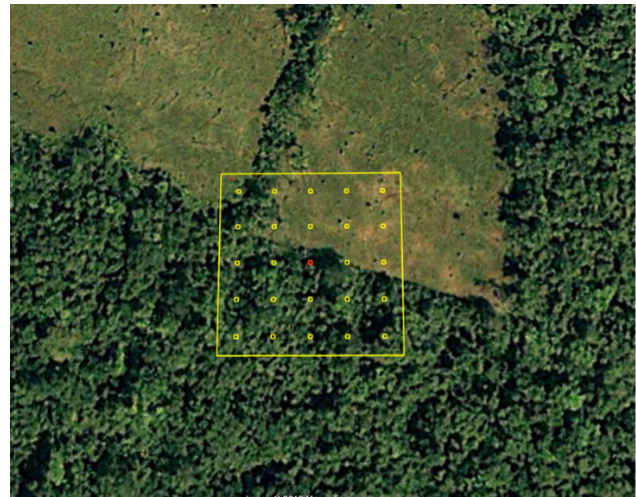
5.7. COLECTA DE DATOS

5.7.1 CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN AL AÑO BASE “2018”

La determinación de las clases en el año base (2018) para cada parcela analizada se realizó siguiendo los siguientes pasos. Es importante mencionar, que la determinación de la vegetación en cada parcela se realizó con base en los tipos de vegetación (sensu INEGI) que se incluyen como Bosque o Tierras Forestales y los tipos de vegetación por cada clase IPCC.

1. Determinación del número de clases INEGI (hasta dos clases) presentes en la parcela empleando una imagen de alta resolución del año 2018. El criterio para definir la existencia de la clase 1 y la clase 2 se basó en que éstas estuvieran asociadas a un macizo continuo igual o mayor a una hectárea como se muestra en la Figura 4.
2. Identificación de las clases INEGI dentro de la parcela; para lo cual se procedió de la siguiente manera:
 - a. Caracterización de la clase INEGI al año 2018 con base en los siguientes criterios:
 - i. Condiciones climáticas y ecológicas de la región donde se localizó la parcela.
 - ii. Tipo de composición de copa, fenología y sombra que proyectan los árboles obtenida en el análisis de fotointerpretación.
 - iii. Características de la fisiografía (altitud y exposición solar) sobre la imagen satelital de alta resolución.
 - b. Caracterización del uso de la parcela al año 2018 considerando:
 - i. El análisis del contexto de las áreas aledañas a la parcela.
 - ii. Las evidencias de elementos en las imágenes del 2018 para identificar

Figura 4. Determinación del número de clases en la parcela.



- iii. Un análisis multitemporal para identificar los siguientes escenarios:
 - Permanencia en cobertura del suelo
 - Permanencia de usos (tierra forestal, pradera, etc.)
 - Cambios de cobertura (cambio de uso, degradación por perturbaciones, recuperación, manejo forestal sustentable y otros)

el uso del suelo para las actividades pecuarias, agrícolas, asentamientos humanos y cuerpos de agua.

- c. Selección de la clase INEGI en función de:
 - i. Los criterios descritos en el Cuadro 4.
 - ii. Los criterios específicos para identificar la clase de Tierra Forestal según lo descrito en la Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250,000 Serie V (INEGI, 2014).
 - iii. La definición operativa de bosque: Terrenos o Tierras Forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de cuatro metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición *in situ*, y con una extensión mínima de una hectárea, la cual es consistente con el Reglamento de la LGDFS.
- d. Asignación de una sola clase INEGI a cada parcela, lo cual se definió con base en la dominancia (>50% entre la clase 1 y 2), (Figura 5).

Figura 5. Determinación de una sola clase con base en la dominancia entre clases presentes (Tierra Forestal > 50%) vs clase 2 (Praderas).



Cuadro 4. Criterios empleados para la caracterización de clases INEGI a nivel de parcela empleando imágenes satelitales de alta y muy alta resolución al año 2018.

Categoría IPCC	Criterio de caracterización	Ejemplo de imagen satelital
Tierra Forestal	<p>El uso de una parcela muestreada se determinó como Tierra Forestal, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se observó una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 m de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i>, y con una extensión mínima de 1 ha.</p>	
Tierra Agrícola	<p>El uso de una parcela muestreada se determinó como Agricultura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anual, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se identificaron patrones geométricos regulares asociados al trazado de parcelas o a la gestión de tierras, como surcos y melgas, presencia de infraestructura de riego, etc. • Perenne, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se identificaron patrones geométricos regulares asociados al trazado de parcelas y patrones de plantaciones sistemáticas. 	
Pradera	<p>El uso de una parcela muestreada se determinó como Pradera, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se observaron patrones de cercos, presencias de abrevaderos para el ganado, infraestructura ganadera, gestión de pastos, evidencia de pastoreo y patrones temporales de ramoneo. Además de que las parcelas interpretadas se localizaron dentro o cerca de áreas de producción pecuaria.</p>	
Asentamiento Humano	<p>El uso de una parcela muestreada se determinó como Asentamiento Humano, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se observó infraestructura rural/urbana y carretera.</p>	

Categoría IPCC	Criterio de caracterización	Ejemplo de imagen satelital
Humedales	El uso de una parcela muestreada se determinó como Humedales, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se observaron ríos, lagos, presas o infraestructura de producción acuícola.	
Otros usos	El uso de una parcela muestreada se determinó como Otros usos, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se observó suelos desnudos que no provienen de una perturbación, así como áreas desprovistas de vegetación.	

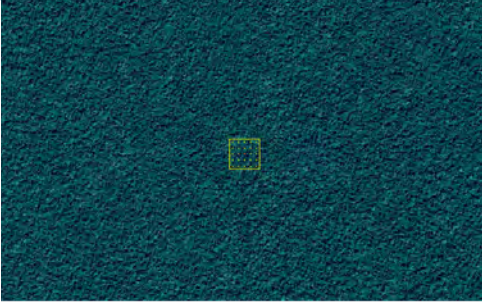

5.7.2. CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN AL AÑO INICIAL “2000”




La identificación de la clase del INEGI en el año 2000 para cada parcela analizada se determinó siguiendo los siguientes pasos:



- I.** Cuando **no** ocurrió un cambio de clase en el periodo de análisis se asignó la clase INEGI del año 2018 al año 2000. Esta evaluación se realizó mediante una comparación multitemporal 2000-2018 de cada banda y combinación de bandas de las imágenes Landsat. Con este análisis se determinó que, si no hubo cambios significativos en las combinaciones de bandas, entonces se asumió que la clase (clase dominante) del año 2018 se mantuvo constante al año 2000. Por lo tanto, para identificar la clase al año 2000 se procedió a:



- a.** Identificar en el año 2018 las clases INEGI presentes en la parcela analizada con base en imágenes de muy alta y alta resolución (siguiendo lo descrito en la sección 5.7.1 Criterios de interpretación al año base “2018”);
- b.** posteriormente, al año 2018 se infirieron las clases INEGI identificadas sobre una imagen Landsat 2018 con base en la caracterización de la imagen de alta y muy alta resolución obtenida en el punto anterior, y
- c.** finalmente, se infirió la clase INEGI al año 2000 a través de una comparación multitemporal de los píxeles y combinaciones de bandas de las imágenes Landsat 2018 y las del año 2000. Los criterios específicos de interpretación de la clase INEGI al año 2000, cuando no se identificaron cambios de clases ocurridos en el periodo de análisis, se exponen en el Cuadro 5.

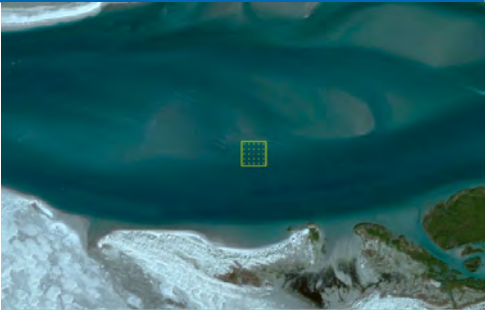

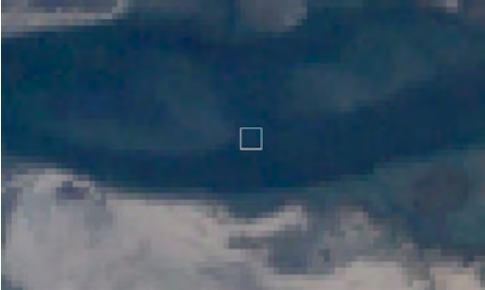
Cuadro 5. Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018.



Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
<p>Tierra Forestal</p>	<p>Se consideró como permanencia de Tierra Forestal al subconjunto de parcelas que mediante una interpretación visual de imágenes de alta y muy alta resolución al año 2018, se observó un uso de Tierras Forestales y que al realizar la comparación multitemporal 2000-2018 de imágenes satelitales de mediana resolución no se observaron cambios significativos en la tonalidad de las bandas espectrales y compuestos de bandas.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Tierras Forestales en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar el uso de Tierra Forestal observado en la imagen de alta y muy alta resolución al año 2018 (Figura a) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar Tierras Forestales. 2. Caracterizar el uso de Tierra Forestal observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura b) con base en la interpretación de la imagen de alta y muy alta resolución al año 2018 (Figura a). 3. Determinar que el uso de la parcela permaneció como Tierra Forestal en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8, no se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000). 	 <p>Figura a. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p>  <p>Figura b. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p>

Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
Tierra Forestal	<p>4. Caracterizar el uso de Tierra Forestal observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (Figura c) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (Figura b) y una imagen de muy alta o alta resolución (Figura a) al 2018.</p>	 <p>Figura c. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2000.</p>
Tierra Agrícola	<p>Se consideró como permanencia de Tierra Agrícola al subconjunto de parcelas que mediante una interpretación visual de imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018, se observó un uso de Tierra Agrícola y que al realizar la comparación multitemporal 2000-2018 de imágenes satelitales de mediana resolución no se observaron cambios significativos en la tonalidad de las bandas espectrales y compuestos de bandas.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Tierra Agrícola en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar el uso de Tierra Agrícola observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura d) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar Tierras Agrícola. 2. Caracterizar el uso de Tierra Agrícola observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura e) con base en la interpretación de la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura d). 	 <p>Figura d. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una Imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p>  <p>Figura e. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen de mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p>

Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
<p>Tierra Agrícola</p>	<ol style="list-style-type: none"> Determinar que el uso de la parcela permaneció como Tierra Agrícola en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8 no se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000). Caracterizar el uso de Tierra Agrícola observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (Figura f) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (Figura e) y una imagen de muy alta o alta resolución (Figura d) al 2018. 	 <p>Figura f. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2000.</p>
<p>Pradera</p>	<p>Se consideró como permanencia de Pradera al subconjunto de parcelas que mediante una interpretación visual de imágenes de alta y muy alta resolución al año 2018, se observó un uso de Pradera y que al realizar la comparación multitemporal 2000-2018 de imágenes satelitales de mediana resolución no se observaron cambios significativos en la tonalidad de las bandas espectrales y combinaciones de bandas.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Praderas en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> Caracterizar el uso de Pradera observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura g) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar un uso de Pradera. Caracterizar el uso de Pradera observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura h) con base en la interpretación de una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura g). 	 <p>Figura g. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una Imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p>

Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
Pradera	<p>3. Determinar que el uso de la parcela permaneció como Pradera en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8 no se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000).</p> <p>4. Caracterizar el uso de Pradera observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (Figura i) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (Figura h) y una imagen de muy alta o alta resolución (Figura g) al 2018.</p>	 <p>Figura i. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2000.</p>
Asentamiento Humano	<p>Se consideró como permanencia de Asentamiento Humano al subconjunto de parcelas que mediante una interpretación visual de imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018, se observó un uso de Asentamiento Humano y que al realizar la comparación multitemporal 2000-2018 de imágenes satelitales de mediana resolución no se observaron cambios significativos en la tonalidad de las bandas espectrales y combinaciones de bandas.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Asentamiento Humano en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <p>1. Caracterizar el uso de Asentamiento Humano observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura j) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar un Uso de Asentamiento Humano.</p> <p>2. Caracterizar el uso de Asentamiento Humano observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura k) con base en la interpretación de una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura j).</p>	 <p>Figura k. Visualización de un uso de Asentamiento Humano en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p>

Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
<p>Humedales</p>	<p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Humedales en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar el uso de Humedales observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura m) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar un uso de Humedales. 2. Caracterizar el uso de Humedales observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura n) con base en la interpretación de una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura m). 3. Determinar que el uso de la parcela permaneció como Humedales en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8 no se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000). 4. Caracterizar el uso de Humedales observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (Figura o) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (Figura n) y una imagen de muy alta o alta resolución (Figura m) al 2018. 	 <p>Figura m. Visualización de un uso de Humedales en una parcela de muestreo empleando una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p>  <p>Figura n. Visualización de un uso de Humedales en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p>  <p>Figura o. Visualización de un uso de Humedales en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2000.</p>

Categoría IPCC	Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018	Ejemplo de imagen satelital
Otras Tierras	<p>Se consideró como permanencia de Otras Tierras al subconjunto de parcelas que mediante una interpretación visual de imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018, se observó un uso de Otras Tierras y que al realizar la comparación multitemporal 2000-2018 de imágenes satelitales de mediana resolución no se observaron cambios significativos en la tonalidad de las bandas espectrales y combinaciones de bandas.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de permanencias de Otras Tierras en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar el uso de Otras Tierras observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura p) de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar un uso de Otras Tierras. 2. Caracterizar el uso de Otras Tierras observado en la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 al 2018 (Figura q) con base en la interpretación de una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura p). 3. Determinar que el uso de la parcela permaneció como Otras Tierras en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8 no se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000). 	 <p>Figura p. Visualización de un uso de Otras Tierras en una parcela de muestreo empleando una imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p>  <p>Figura q. Visualización de un uso de Otras Tierras en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p>

2. Cuando se identificó que ocurrió un cambio de clase a nivel de parcela en el periodo de análisis, se etiquetó la clase INEGI en la parcela en el año 2000 con base en el análisis de las imágenes Landsat del año 2000 y la interpretación de la clase del año base (2018). Estos casos se identificaron a través de una comparación multitemporal 2000-2018 de cada banda y combinación de bandas de las imágenes Landsat. Con este análisis se determinó que, si en el periodo de análisis hubo cambios significativos en las combinaciones de bandas, entonces se asumió que se presentó un cambio de clase. Por lo tanto, para identificar la clase al año 2000 se procedió a:

- a. Identificar en el año 2018 las clases INEGI presentes en la parcela analizada y en su contexto con base en imágenes de alta y muy alta resolución (siguiendo lo descrito en la sección 5.7.1 Criterios de interpretación al año base 2018).
 - b. Posteriormente, al año 2018 se infirieron las clases INEGI identificadas sobre una imagen Landsat 2018 con base en la caracterización de la imagen de alta y muy alta resolución obtenida en el punto anterior, y finalmente, se infirió la clase INEGI al año 2000 a través de una comparación multitemporal de los píxeles y combinaciones de bandas de las imágenes Landsat 2018 y las del año 2000. Los criterios específicos de interpretación de la clase INEGI al año 2000, con base en los procesos de cambios de clases ocurridos en el periodo de análisis, se exponen en el Cuadro 6. Cabe mencionar que los casos mostrados en el Cuadro 6 corresponden a los casos más comunes que se presentaron en la interpretación de parcelas que cambiaron su uso de suelo o perdieron su cobertura de vegetación leñosa en el periodo de análisis. Los casos en los que se presentaron diversos cambios de uso y recuperación o diversas pérdidas de cobertura y recuperación fueron abordados de manera análoga a los casos base mostrados en el Cuadro 5 pero repitiendo los procesos de cambio/perdida de cobertura y recuperación.
- 3. Una vez identificada la clase INEGI en el año 2000 (ya sea con el criterio 1 o 2) se procedió a la captura y registro de la información fotointerpretada en el formulario de Collect Earth, que incluyó:**
- la clase INEGI,
 - la confianza de fotointerpretación y
 - la imagen Landsat usada y año de captura.

Cuadro 6. Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de cambio de uso del suelo entre el año 2000 y 2018.

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018	Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018
Tierras Forestales a Otros Usos (deforestación)	<p>Las parcelas que sufrieron deforestación corresponden a aquellas cuyo uso del suelo al año 2000 fue determinado como Tierras Forestales y que al año 2018 su uso del suelo fue determinado como Otros Usos (Agricultura, Pradera, Asentamiento Humano, Cuerpo de Agua u Otras Tierras) con un solo cambio de uso del suelo entre el año 2000 y 2018.</p> <p>El proceso utilizado para la identificación de la clase de uso del suelo al año 2000 y fecha específica de cambio, en parcelas que se sufrieron una deforestación en el periodo 2000-2018, se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Caracterizar Otros Usos de tierras observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar Otros Usos. En la Figura a de este Cuadro, se observa un uso de Tierra Forestal y un uso de Tierra Agrícola, en particular se observa que en la parcela de muestreo existe un uso agrícola que fue identificado con los patrones geométricos asociados al trazado de las parcelas y la gestión de tierras post-siembra.

Tipo de cambio
de uso de suelo
entre el año
2000 y 2018

Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que
parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018

Tierras Forestales
a Otros Usos
(deforestación)



Figura a. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una Imagen de alta y muy alta resolución al año 2018.

2. Caracterizar Otros Usos de tierras observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar Otros Usos. En la Figura a de este Cuadro, se observa un uso de Tierra Forestal y un uso de Tierra Agrícola.

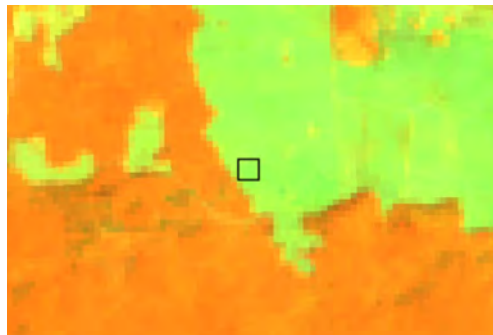


Figura b. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 8 al año 2018.

3. Determinar que el uso de la parcela cambió en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8 se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (e.g. 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000).

Para ejemplificar este proceso, en la Figura c se muestra una imagen Landsat del año 2009 en la que se observa el uso del suelo era Tierra Agrícola en la parcela muestreada. En la Figura d se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era Tierra Forestal en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8, se determinó que:

- a. Entre el año 2000 y 2008 se identificó una permanencia de Tierras Forestales ya que no se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela.
- b. La fecha específica de cambio fue el año 2009 ya que si se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución del año 2008 vs. 2009 en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela.

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018 **Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018**

Tierras Forestales a Otros Usos (deforestación)

c. Entre el año 2009 y 2018 se identificó una permanencia de Tierras Agrícola ya que no se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela.

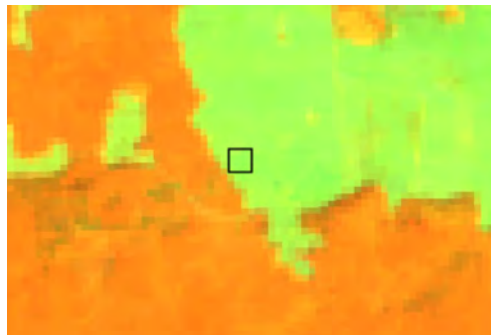


Figura b. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 8 al año 2018.

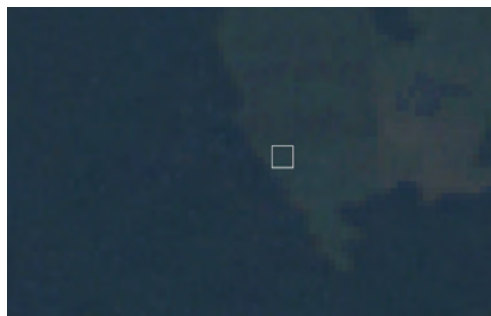


Figura c. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana Landsat resolución al año 2009.

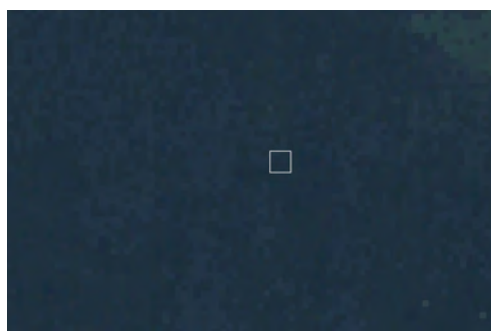


Figura d. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat al año 2000.

Tierras Forestales a Tierras No Forestales (pérdida de cobertura y recuperación)

Las parcelas que perdieron su cobertura y se “recuperaron” correspondieron a aquellas parcelas cuyo uso del suelo al año 2000 y 2018 fue determinado como permanencia de Tierras Forestales, sin embargo, estas perdieron toda su cobertura de vegetación leñosa en algún momento del periodo de análisis, pero que al año 2018 mostraron evidencia de recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, mediante fotointerpretación de imágenes de muy alta y alta resolución y de mediana resolución.

El proceso utilizado para la identificación de la clase de uso del suelo al año 2000 y fecha específica de cambio, en parcelas que se sufrieron una Pérdida de Cobertura y se Recuperaron en el periodo 2000-2018, se describe a continuación:

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018

Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018

Tierras Forestales a Tierras No Forestales a Tierras Forestales (pérdida de cobertura y recuperación)

- i. Caracterizar el uso Tierra Forestal observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 y siguiendo los criterios señalados en el Cuadro 4. En la Figura e se observa que la parcela de muestreo tiene un uso de Tierras forestales.
- ii. Caracterizar el uso de la tierra forestal analizando la imagen de mediana resolución Landsat 8 al 2018 (Figura f) con base en la interpretación de la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura e).



Figura f. Visualización del Uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una Imagen de mediana resolución Landsat en RGB y Landsat 8 en falso color al año 2018, respectivamente.

1. Caracterizar el uso Tierra Forestal observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 y siguiendo los criterios señalados en el Cuadro 4. En la Figura e se observa que la parcela de muestreo tiene un uso de Tierras Forestales.
2. Caracterizar el uso de la tierra forestal analizando la imagen de mediana resolución Landsat 8 al 2018 (Figura f) con base en la interpretación de la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura e).
3. Determinar que el uso de la parcela cambió temporalmente en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8 se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000).

Para ejemplificar este proceso, en la Figura g se muestra una imagen Landsat del año 2005 en la que se observa que el uso temporal del suelo era Pradera en la parcela muestreada. En la Figura h se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era Tierra Forestal en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8, se determinó que:

- a. Entre el año 2000 y 2004 se identificó una permanencia de Tierras Forestales ya que no se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela.

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018 **Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018**

Tierras Forestales a Tierras No Forestales a Tierras Forestales (pérdida de cobertura y recuperación)

- b.** La fecha específica de cambio fue el año 2005 ya que sí se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución del año 2004 vs. 2005 en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela.
- c.** Entre el año 2005 y 2018 se observó una transición de Pradera a Tierra Forestal ya que en el periodo 2005-2018 se detectó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de mediana resolución, este cambio se presentó en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. Este cambio en las imágenes de mediana resolución (y validada con alta resolución) estuvo asociado a una recuperación de la cobertura de vegetación leñosa por arriba del umbral de bosque, por lo que al año 2018 el uso del suelo de esa parcela fue categorizado como Tierra Forestal nuevamente.

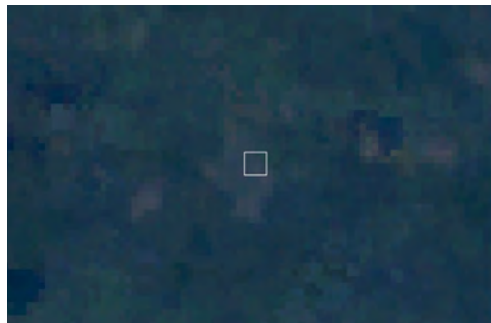


Figura g. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen Landsat de mediana resolución al año 2005.

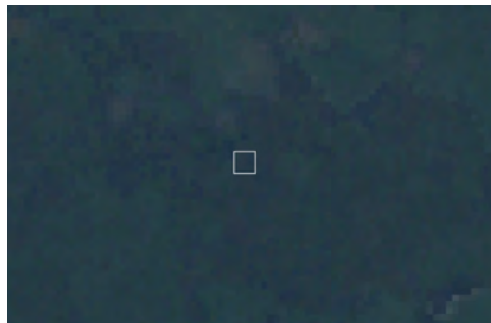


Figura h. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat al año 2000.

Tierras No Forestales a Tierras Forestales (recuperación total y parcial)

Las parcelas que se recuperaron correspondieron a aquellas cuyo uso del suelo al año 2000 fue determinado como Otros Usos y que al año 2018 se determinó como Tierra Forestal, debido a que se observaron evidencias de una recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, mediante fotointerpretación de imágenes de mediana, alta y muy alta resolución.

El proceso utilizado para la identificación de la clase de uso del suelo al año 2000 y fecha específica de cambio, en parcelas que sufrieron una recuperación en el periodo 2000-2018, se describe a continuación:

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018

Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018

Tierras No Forestales a Tierras Forestales (recuperación total y parcial)

1. Caracterizar el uso de Tierra Forestal observado en la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 de acuerdo con los criterios señalados en el Cuadro 4 para identificar Tierra Forestal. En la Figura i se observa que la parcela de muestreo presentó un uso de Tierra Forestal.



Figura i. Visualización del uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen de alta y muy alta resolución al año 2018.

2. Caracterizar el uso de Tierra Forestal analizando la imagen de mediana resolución Landsat 8 al 2018 (Figura j) con base en la interpretación de la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (Figura i).

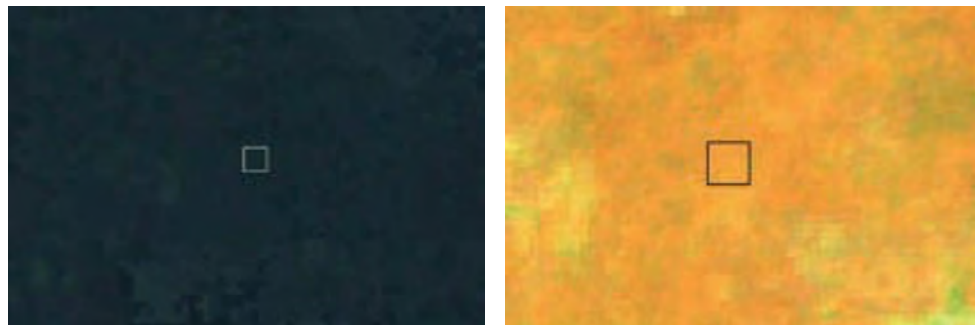


Figura j. Visualización del uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen de mediana resolución Landsat en RGB y Landsat 8 en falso color al año 2018, respectivamente.

3. Determinar que el uso de la parcela cambió temporalmente en el periodo 2000-2018 cuando a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8 se presentó en el periodo de análisis un cambio de uso en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (ejemplo: 2018 vs. 2015, 2015 vs. 2014, y 2014 vs. años previos, hasta llegar al año 2000).

Para ejemplificar este proceso, en la Figura j se muestra una imagen Landsat del año 2018 en la que se observa que el uso del suelo es una Tierra Forestal en la parcela muestreada. En la Figura k se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era una Pradera en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5 y 8, se determinó que:

- a. En el año 2000 se identificó el uso como Otros Usos ya que se observó una tonalidad y textura gris clara de los píxeles en las imágenes de mediana resolución (Figura k).

Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018

Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 que parcelas cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018

- b. La fecha específica de cambio de la recuperación fue en el año 2018 ya que sí se observó un cambio en la tonalidad y textura de los píxeles en las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela y evidencias de recuperación de vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosques en las imágenes de mediana resolución (ver Figura k vs. Figura j) y validado con imágenes de alta resolución (Figura i),
- c. el año 2018 se determinó el uso como Tierra Forestal ya que se observó una recuperación de cobertura de la vegetación leñosa por arriba de los umbrales de la definición de bosque.



Figura k. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen Landsat de mediana resolución al año 2000.

Recuperación Parcial

Las parcelas que alcanzaron una recuperación parcial ($TNF > TF$) correspondieron a aquellas cuyo uso del suelo al año 2000 fue determinado como Otros Usos y que al año 2018 se determinó como Tierra Forestal con 'recuperación parcial', debido a que no se observaron evidencias de una recuperación total de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, mediante fotointerpretación de imágenes de muy alta y alta resolución y de mediana resolución.

El análisis de fotointerpretación de este subconjunto de parcelas clasificadas como recuperación parcial ($TNF > TF$) se realizó utilizando el mismo enfoque que la recuperación total, con la diferencia que, en el último caso, los subconjuntos de parcelas no mostraron alguna evidencia de recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque.

5.7.3. CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN PARA IDENTIFICAR LA FECHA DE CAMBIO

Para identificar el año de cambio en aquellas parcelas en las que ocurrieron cambios de clase INEGI entre el año 2000 y 2018 (de acuerdo con lo descrito en el punto dos de la sección 5.7.2 anterior), se procedió a:

- I. Implementar un análisis detallado multitemporal 2000-2018 a nivel de píxel de cada banda, así como la combinación de bandas de las imágenes Landsat. Como parte de este análisis,

se identificó el año específico de cambio cuando la tonalidad, textura y color de los píxeles de la parcela (caracterizada con la clase INEGI en el año 2000) cambio en más de un 50% respecto a la imagen postcambio. Además, la fecha de cambio también se verificó a través de una disminución evidente en los valores del NDVI a lo largo del periodo de análisis como se muestra en la Figura 6.

2. Una vez identificado el año específico de cambio, se capturó y registró la información fotointerpretada en el formulario de Collect Earth, que incluyó:
 - a. las clases INEGI antes del cambio y clase INEGI post-cambio (que se identificaron siguiendo lo descrito en el punto dos de la sección anterior descrito en la sección),
 - b. el año específico de cambio,
 - c. la imagen de alta resolución o la imagen Landsat con la que se identificó el año de cambio y
 - d. el estatus de cambio de la parcela (deforestación, pérdida pradera, degradación absoluta, recuperación, etc.)

Cabe mencionar que cuando se presentaron múltiples cambios, la identificación del año específico de cambio y las clases INEGI antes y después del cambio se obtuvieron implementando sucesivamente los pasos 1 y 2.

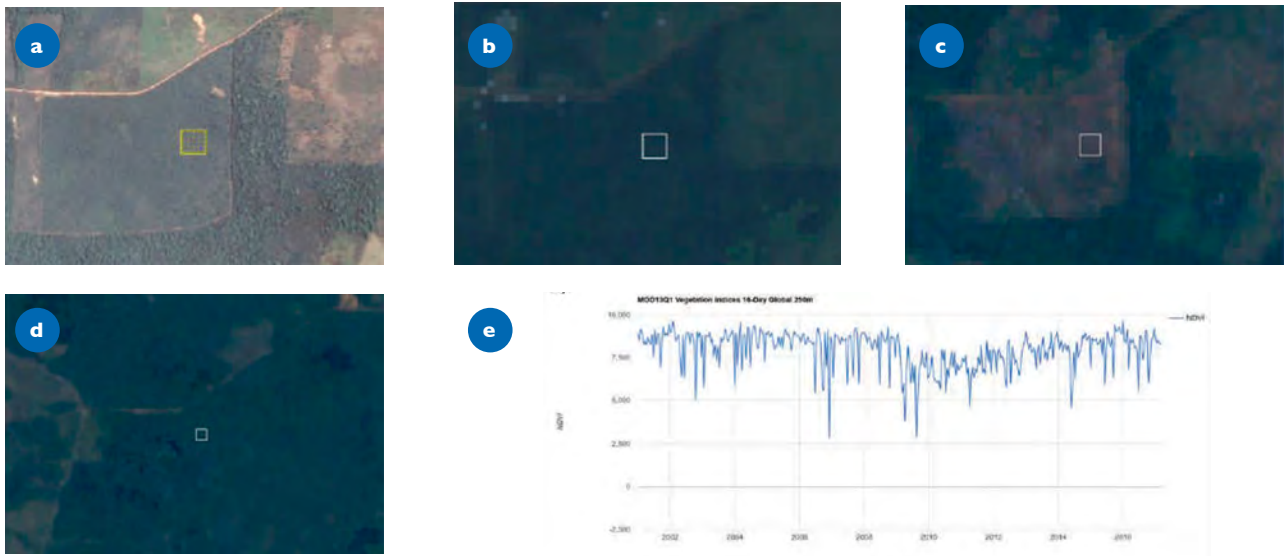


Figura 6. a) caracterización de imagen de alta resolución al año 2018 (Tierra Agrícola), b) caracterización de la imagen Landsat 8 2018, c) identificación del cambio de clase en la imagen Landsat 5 en el año 2009 (Tierra Forestal > Tierra Agrícola), d) caracterización de la imagen Landsat 5 al año 2000 (Tierra Forestal) y e) Identificación de la fecha de cambio con el gráfico del NDVI.

5.7.4. HERRAMIENTA COLLECT EARTH Y CUESTIONARIO DE COLECTA DE INFORMACIÓN

La interpretación, colecta y registro de la información de la clase INEGI y sus cambios de cobertura en las 26,220 parcelas del INFyS, durante el periodo 2000-2018, se realizó con apoyo de la herramienta Collect Earth desarrollada por la FAO⁴.

La herramienta Collect Earth (<http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>) es un software gratuito y de código abierto desarrollado por la FAO, que tiene como objetivo facilitar la recopilación, gestión y análisis de cobertura y uso de cobertura de la tierra.

La encuesta desarrollada a través de dicha herramienta se denominó “Estimación de tasas de deforestación en México, periodo 2000-2018”, y permitió capturar información en los niveles siguientes:

- a. Clase inicial al año 2000: para captura de información de la clase de cada parcela a nivel INEGI.
- b. Clase final al año 2018: para captura de información de las clases y elementos de cada parcela a nivel INEGI sobre una imagen de Alta Resolución (AR).
- c. Cambios de clase: para captura de información sobre la dirección y fecha de cambio de las parcelas que sufrieron de uno o más de dos cambios en todas las transiciones INEGI, en el periodo 2000-2018.

El análisis de las clases y sus cambios (empleando el cuestionario desarrollado por la CONAFOR en la herramienta Collect Earth) fue implementado por diez especialistas⁵ en interpretación visual de imágenes satelitales los cuales fueron capacitados en la homologación de criterios de interpretación y en el uso del cuestionario “Estimación de tasas de deforestación en México, periodo 2000-2018” desarrollado en Open Foris Collect. Las parcelas fueron distribuidas entre los intérpretes de acuerdo con el área geográfica de experiencia de cada especialista. La compilación, integración y control de calidad de las bases de datos fue implementada por el administrador del cuestionario, quien fungió como líder técnico de la colecta de datos. El trabajo de interpretación de la Fase I de la malla de referencia inició en diciembre de 2018 y concluyó en septiembre de 2019.

5.8. CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para facilitar el proceso de estimación de las tasas de deforestación, se construyó una base de datos, en la cual, del total de variables colectadas en las 26,220 parcelas, se eliminaron de la base original aquellas que no se consideraron relevantes para el análisis de estimación de tasas de deforestación. Adicionalmente, durante este proceso se identificaron parcelas atípicas que, a su vez, fueron corregidas y reinterpretadas.

Tomando en cuenta esta depuración de variables, la base utilizada para realizar las estimaciones contiene los campos indicados en el Cuadro 7.

4 Collect Earth es una herramienta diseñada por la FAO que permite recolectar datos con el apoyo de repositorios de imágenes de satélite como Google Earth, Yandex, Bing Maps y Google Earth Engine, donde se localizan imágenes de mediana, alta y muy alta resolución.

5 La contratación de los especialistas se realizó en el marco de colaboración con el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS), así como por el Proyecto Forest 2020 de la Agencia Espacial de Reino Unido.

Cuadro 7. Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de cambio de uso del suelo entre el año 2000 y 2018.

Variable	Descripción de la variable
id	Número del CGL.
coord_X	Coordenada X del sitio I de cada CGL.
coord_Y	Coordenada Y del sitio I de cada CGL.
tv_inegi_00	Tipo de vegetación de la clase INEGI al año 2000.
confianza_inegi_00	Porcentaje de confianza de interpretación de cada parcela al año 2000.
imagen_00	Imagen de mediana resolución empleada para la fotointerpretación al año 2000.
comentario_00	Comentario adicional al año 2000.
tv_inegi_18	Tipo de vegetación de la clase INEGI al año 2000.
confianza_inegi_18	Porcentaje de confianza de fotointerpretación de cada parcela al año 2018.
imagen_18	Imagen de alta resolución empleada para la fotointerpretación al año 2018.
fecha_imagen_18	Fecha de la imagen de alta resolución.
rectificación_Sentinel_18	Validación de la cobertura al año 2018.
tv_inicial_1	Tipo de vegetación inicial de la clase INEGI antes del primer cambio.
tv_cambio_1	Tipo de vegetación de la clase INEGI después del primer cambio.

Variable	Descripción de la variable
imagen_cambio_1	Imagen empleada para la identificación del año del primer cambio.
fecha_cambio_1	Año del primer cambio.
estatus_cambio_1	Estatus el primer cambio.
tv_inicial_2	Tipo de vegetación inicial de la clase INEGI antes del segundo cambio.
tv_cambio_2	Tipo de vegetación de la clase INEGI después del segundo cambio.
imagen_cambio_2	Imagen empleada para la identificación del año del segundo cambio.
fecha_cambio_2	Año del segundo cambio.
estatus_cambio_2	Estatus del segundo cambio.
tv_inicial_3	Tipo de vegetación inicial de la clase INEGI antes del tercer cambio.
tv_cambio_3	Tipo de vegetación de la clase INEGI después del tercer cambio.
imagen_cambio_3	Imagen empleada para la identificación del año del tercer cambio.
fecha_cambio_3	Año del tercer cambio.
estatus_cambio_3	Estatus del tercer cambio.

5.9. CONTROLES DE CALIDAD DE LA BASE DE DATOS

Debido a que el método empleado para estimar las tasas de deforestación bajo el enfoque de muestreo es altamente sensible a errores de interpretación en las parcelas (lo cual puede generar subestimaciones o sobreestimaciones), durante el proceso de colecta y análisis de la información se realizaron controles de calidad a diferentes niveles que incluyeron: (i) evaluación correcta de las clases al año 2000 y 2018, a nivel IPCC e INEGI; (ii) evaluación correcta de los elementos; (iii) evaluación correcta de la dirección (a nivel IPCC e INEGI) y de la fecha de cambio de las parcelas con cambios. Estos controles implementados se describen con mayor detalle en los siguientes apartados.

5.9.1. CONTROL DE CALIDAD EN LA RECEPCIÓN

Se revisó el 5% de los puntos interpretados semanalmente por cada especialista con la finalidad de identificar posibles errores en la interpretación de las clases y fechas de cambio. Cuando más del 5% de las parcelas revisadas presentaron algún tipo de error, se procedió a rechazar todas las parcelas del bloque entregado semanalmente, debiendo reinterpretarse nuevamente todas las parcelas del bloque rechazado. Una vez reinterpretadas las parcelas rechazadas, nuevamente se aplicó un control de calidad al 5% del bloque de parcelas reinterpretado.

5.9.2. CONTROL DE CALIDAD DE PERMANENCIAS

Un grupo de expertos de la UTEMRV y consultores evaluaron la totalidad de las parcelas que, entre el año 2000 y 2018, permanecieron con el mismo tipo de clase, para asegurar que no existieran

falsas permanencias. Este ejercicio permitió recuperar parcelas que durante la interpretación no fueron identificadas correctamente. En su caso, se incorporaron nuevas parcelas con cambios de clase que fueron integradas a la base de datos final.

5.9.3. CONTROL DE CALIDAD DE DIRECCIÓN DE CAMBIOS Y FECHAS

Todas las parcelas de cambios o las que presentaron algún tipo de cambio de clase IPCC e INEGI durante el periodo 2000-2018 fueron revisadas y validadas por un especialista experto en sensores remotos, con el objetivo de detectar falsos cambios y fechas de cambio incorrectas. Además, se validó la dirección de cambio a nivel IPCC e INEGI. Este proceso se realizó de manera exhaustiva, en el cual expertos de la UTEMRV realizaron un control de calidad en el 100% de las parcelas de cambios registradas.

5.9.4. CONTROL DE CALIDAD EN LA GESTIÓN DE LA BASE DE DATOS

La versión final de la base de datos se integró con un total de 26,220 parcelas interpretadas, las cuales incluyeron parcelas de permanencia y de cambios, con su respectiva fecha de cambio. En la gestión de la base de datos se implementaron controles de calidad adicionales para asegurar la consistencia de la base. Esto permitió detectar y corregir parcelas con valores atípicos cuando:

- a. Las parcelas de permanencia que presentaron la misma clase al año 2000 y 2018 que registraron fechas intermedias de cambios.
- b. Las parcelas que presentaron una clase distinta en el año 2000 vs 2018 y
- c. que no tenían registrado la fecha de cambios.

- d. Las parcelas que presentaron varios cambios, y que al validar la dirección de clase del último cambio con respecto a la clase 2018, no tenían coincidencia.

Todas las parcelas con valores atípicos fueron validadas, reinterpretadas y actualizadas en la versión final de la base de datos.

5.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS COLECTADOS

La estimación de las áreas deforestadas se realizó siguiendo el enfoque de superficies por medio de proporciones indicado en las Capítulos 3 del Volumen 4 de las Directrices del IPCC (2006) para lo cual, primero se generó una matriz en la que se identificó la evolución de las clases de cada una de las 26,220 parcelas a lo largo los 17 periodos anuales de análisis, desde el año 2000 y hasta el año 2018. Posteriormente, se estimaron las áreas deforestadas para los periodos de análisis y finalmente, se obtuvieron las respectivas incertidumbres. El proceso detallado de cada una de estas etapas se describe en los apartados siguientes.

5.10.1. IDENTIFICACIÓN DE PARCELAS Y AÑOS CON CAMBIO DE CLASE

La base de datos con los registros de las clases INEGI y fechas de cambios de clases de las 26,220 parcelas incluyeron distintas variables mencionadas en el apartado 5.8. Sin embargo, para la evaluación de las tasas de deforestación sólo se requirieron las variables sobre la clase INEGI de la parcela al año base 2018, al año 2000 y las correspondientes a aquellos casos en lo que se presentaron múltiples cambios, además de las fechas de cambio.

Las clases reportadas en el año 2018, 2000 y los diferentes años de cambio se etiquetaron a nivel de las clases de INEGI y fueron traducidas a las clases

IPCC de acuerdo con lo mostrado en el Cuadro 1, con la finalidad de agregar la información a clases más genéricas. De esta manera se facilitó el proceso de estimación.

Una vez obtenidas las clases IPCC del año 2000, 2018 y de los diferentes eventos de cambio, fue posible identificar las parcelas que permanecieron con el mismo tipo de clase, las que presentaron cambio, así como su respectiva dirección de cambio. Las parcelas con el mismo tipo de clase IPCC entre el año 2000 y el 2018 fueron etiquetadas como “permanencias”, mientras que aquellas que presentaron diferente clase IPCC entre el año 2000 y el 2018 se etiquetaron como “cambios”. De manera particular, se consideró como deforestación las siguientes transiciones: “Tierra Forestal a Pradera”, “Tierra Forestal a Agricultura”, “Tierra Forestal a Asentamiento Humano”, “Tierra Forestal a Cuerpo de Agua” y “Tierra Forestal a Otras Tierras”. Para evitar la doble contabilidad, en aquellas parcelas que presentaron múltiples pérdidas de Tierras Forestales en el periodo de análisis, sólo se contabilizó el primer evento de deforestación.

Con base en los criterios descritos en el párrafo anterior, se desarrolló una matriz en la que para cada parcela se registró la evolución de su clase IPCC de manera anual desde el año 2000 hasta el año 2018. De manera que, si la parcela registró un cambio de clase en un año en particular, entonces se registró un evento de cambio. Por lo tanto, en aquellas parcelas que permanecieron con el mismo tipo de clase en el periodo de análisis, no se registraron eventos de cambio. Con base en estas consideraciones la matriz de evolución de clases IPCC registró para cada una de las 26,220 parcelas la evolución de sus clases para cada uno de los 17 periodos de análisis (2000-2001, 2001-2002, ..., 2017-2018); donde, en particular, los cambios asociados a procesos de deforestación se registraron en su respectivo periodo de cambio con un valor numérico de “1” y cuando no se presentó cambio de clase se asignó “0” en los periodos de análisis.

La matriz se dividió en Ecorregiones y equidistancias de muestreo (5x5, 10x10 y 20x20), para cada uno de estos bloques. La matriz de

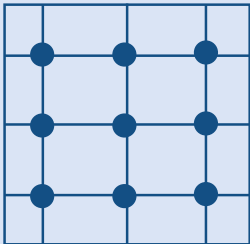
evolución de clases IPCC se agregó a nivel de cada una de las transiciones IPCC y equidistancia en todos periodos de análisis. De esta manera se generó una nueva base de datos en la que se contabilizó el número total de parcelas deforestadas en cada uno de los periodos de análisis y para todas las transiciones IPCC y equidistancias, la cual fue la base para realizar las estimaciones de las tasas anuales de deforestación y sus incertidumbres.

5.10.2. ESTIMACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS

En el Capítulo 3 del Volumen 4 de las Directrices del IPCC (2006), se indica que es posible estimar superficies y cambios mediante un enfoque de proporciones basado en un muestreo de parcelas. El IPCC sintetiza este enfoque como se presenta en el Cuadro 8 que se muestra a continuación.

Cuadro 8. Proceso de estimación de superficies por medio de proporciones. Modificado de IPCC, 2006.

Ejemplo de la estimación de superficies por medio de proporciones

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	ESTIMACIÓN DE PROPORCIONES	SUPERFICIES ESTIMADAS DE CATEGORÍAS DE USO DE TIERRA	ERROR ESTANDAR
	$p_i = n_i/n$	$A_i = p_i/A$	$s(A_i)$
	$p_1 = 3/9 \approx 0,333$	$A_1 = 300$ ha	$s(A_1) = 150,0$ ha
	$p_2 = 2/9 \approx 0,222$	$A_2 = 200$ ha	$s(A_2) = 132,2$ ha
	$p_3 = 4/9 \approx 0,444$	$A_3 = 400$ ha	$s(A_3) = 158,1$ ha
	Suma=1,0	Total=900 a	

DONDE:

A= superficie total (=900 ha en el ejemplo)
 A_i= superficie estimada de la categoría de uso de tierra i
 n_i= cantidad de puntos ubicados en la categoría de uso de tierra i
 n= cantidad total de puntos

Por lo tanto, para estimar el área de cambio es necesario obtener la proporción ($p_i=n_i/n$) de las parcelas de cambio (n_i) con respecto al número de parcelas muestreadas (n) en un estrato específico, ponderado por el área total (A_T) del estrato específico. Es decir, el área deforestada (AD_i) de un estrato específico se obtuvo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\widehat{AD}_i = \frac{n_i}{n} \times A_T$$

Para el caso de este ejercicio, el número total de parcelas de cambio (n_i) para una Ecorregión-Equidistancia (i) específica se tomaron de la base de datos donde contabilizó el número total de parcelas de cambio en cada uno de los periodos de análisis y para todas las transiciones IPCC (descrita en la sección anterior). Por otro lado, el número total de parcelas muestreadas (n) para una Ecorregión-Equidistancia (i) específica se tomó del conteo de parcelas de la malla sistemática para dicha Ecorregión-Equidistancia. Por otro lado, el área total de la Ecorregión-Equidistancia se obtuvo a través del cruce de la capa de ecorregión nivel I de CONABIO y la capa de equidistancias del INFyS.

Por lo tanto, en cada estrato de Ecorregión-Equidistancia se generó una con ello se obtuvo el área de cambio para cada uno de los periodos anuales y transiciones del IPCC.

Las áreas deforestadas en cada Ecorregión para cada periodo se obtuvieron sumando las áreas de cambio las conversiones de “Tierra Forestal a Otros Usos”, la cual incluyó las transiciones siguientes: “Tierra Forestal a Pradera”, “Tierra Forestal a Agricultura”, “Tierra Forestal a Asentamiento Humano”, “Tierra Forestal a Cuerpo de Agua” y “Tierra Forestal a Otras Tierras”.

5.10.3. ESTIMACIÓN Y PROPAGACIÓN DE INCERTIDUMBRES

El capítulo 3 de “Incertidumbres” del Volumen I de las Directrices del IPCC (2006) indica que es una buena práctica el cuantificar las fuentes de incertidumbre en los diferentes componentes de estimación, entre ellos los referentes a los datos de actividad (DA). Para el caso de este reporte, los DA se refieren a las áreas deforestadas, cuyas incertidumbres fueron estimadas en dos etapas. La primera consistió en la estimación de las incertidumbres a nivel de las áreas de cambio a nivel de Ecorregión-Equidistancia para cada transición del IPCC; la segunda consistió en la propagación de las incertidumbres a través del método I de las directrices del IPCC.

Las incertidumbres de las áreas de cambio (para cada Ecorregión-Equidistancia-Transición IPCC) obtenidas mediante el método de proporciones se estimaron de acuerdo con lo siguiente:

$$U(\widehat{AD}_i) = \frac{Z_{\alpha/2} * S(\widehat{AD}_i)}{\widehat{AD}_i} * 100$$

Dónde $Z_{\alpha/2}$ es el percentil 95% del modelo de distribución empírico que ajusta los datos, y

$$s(\widehat{AD}_i) = A_T * \frac{p_i(1-p_i)}{n-1}$$

$s(A_i)$ es la desviación estándar del área deforestada estimada en la subsección anterior con los insumos ya definidos debido a que el área total deforestada es la suma de las áreas de cambio por Ecorregión-Equidistancia para las transiciones: “Tierra Forestal a Pradera”, “Tierra Forestal a Agricultura”, “Tierra Forestal a Asentamiento Humano”, “Tierra Forestal a Cuerpo de Agua” y “Tierra Forestal a Otras Tierras”, sus incertidumbres se propagaron a través del método I del IPCC por adición de acuerdo a lo mostrado a continuación:

Donde:

$$U(\widehat{AD}_T) = \sqrt{\frac{(U(\widehat{AD}_1) * \widehat{AD}_1)^2 + (U(\widehat{AD}_2) * \widehat{AD}_2)^2 + \dots + (U(\widehat{AD}_n) * \widehat{AD}_n)^2}{\widehat{AD}_1 + \widehat{AD}_2 + \dots + \widehat{AD}_n}}$$

$U(\widehat{AD}_T)$ es la incertidumbre del área total deforestada y expresada como porcentaje.

$U(\widehat{AD}_i) * \widehat{AD}_i$ es el porcentaje de incertidumbre asociado con el área deforestada estimada de Ecorregión-Equidistancia y el área deforestada respectivamente.

Finalmente, es necesario mencionar que, todo el proceso de integración de las matrices de conteo de cambios, estimación de áreas de cambios y sus incertidumbres, se programó en un algoritmo desarrollado en el software estadístico R Project.



6.

RESULTADOS



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

6.1 RESULTADOS POR ECORREGIÓN

Los resultados de las tasas de deforestación fueron producidos de manera anual, por cada una de las siete ecorregiones y para cada equidistancia de la malla de referencia (5x5 km, 10x10 km y 20x20 km). Para conocer la tasa de deforestación de una ecorregión dada, las tasas de deforestación de cada equidistancia fueron sumadas y las incertidumbres fueron propagadas de acuerdo con el método I de las directrices del IPCC (2006) descritas en el apartado anterior. Posteriormente, los datos de deforestación a nivel de ecorregión fueron sumados para generar las tasas de deforestación anuales a nivel nacional. La propagación de las incertidumbres se realizó de la misma manera que en el nivel anterior de agregación.

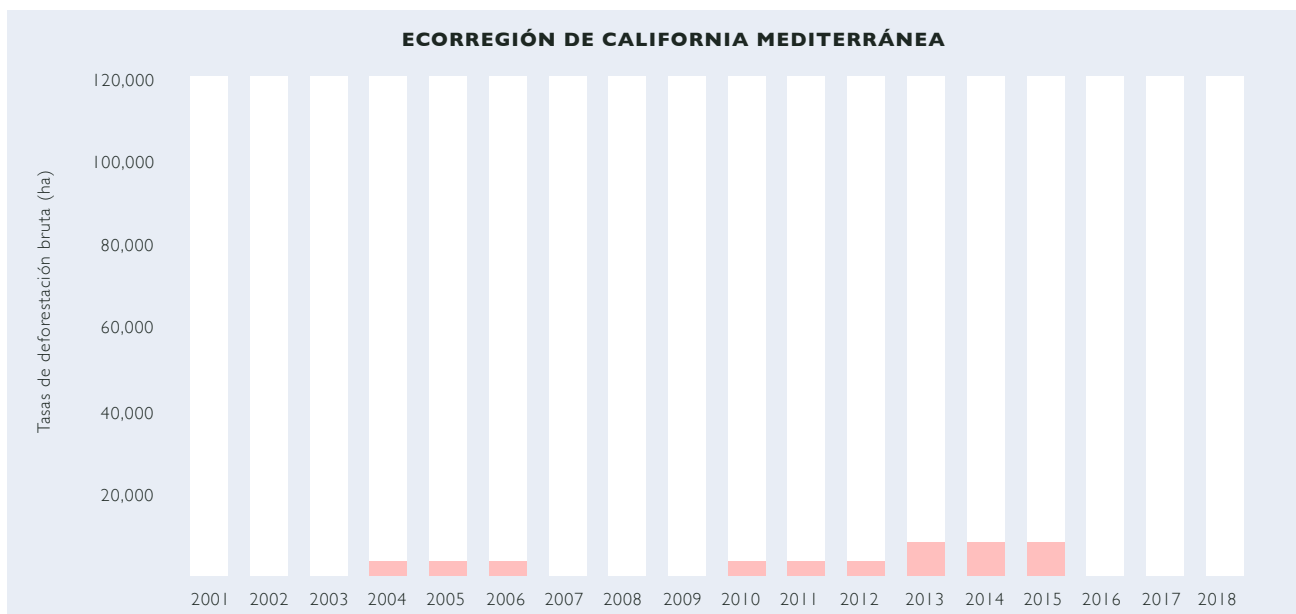
Aunque los resultados fueron producidos a un nivel de desagregación superior, el objetivo central de este estudio fue generar las tasas de deforestación a nivel nacional. La finalidad de la estratificación fue identificar las diferencias en la magnitud de la deforestación a nivel regional, como un primer paso para generar información útil para apoyar la gestión de políticas públicas. Además, la estratificación facilitó el proceso de control de calidad, al acotar el número de muestras (por ecorregión y por equidistancias) y simplificar la identificación de posibles datos atípicos.

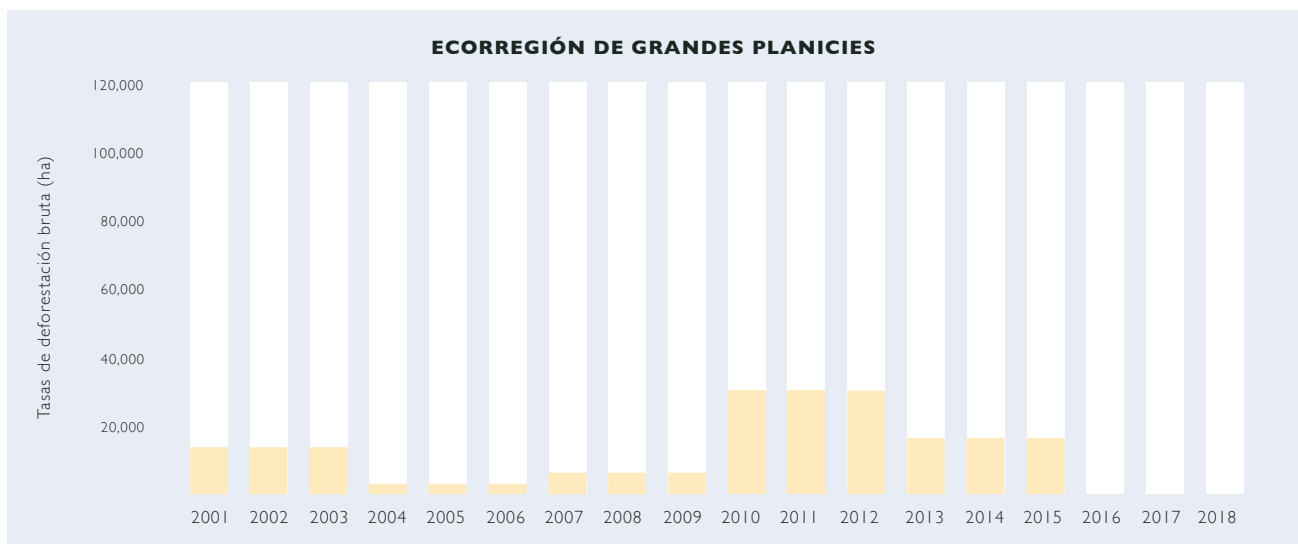
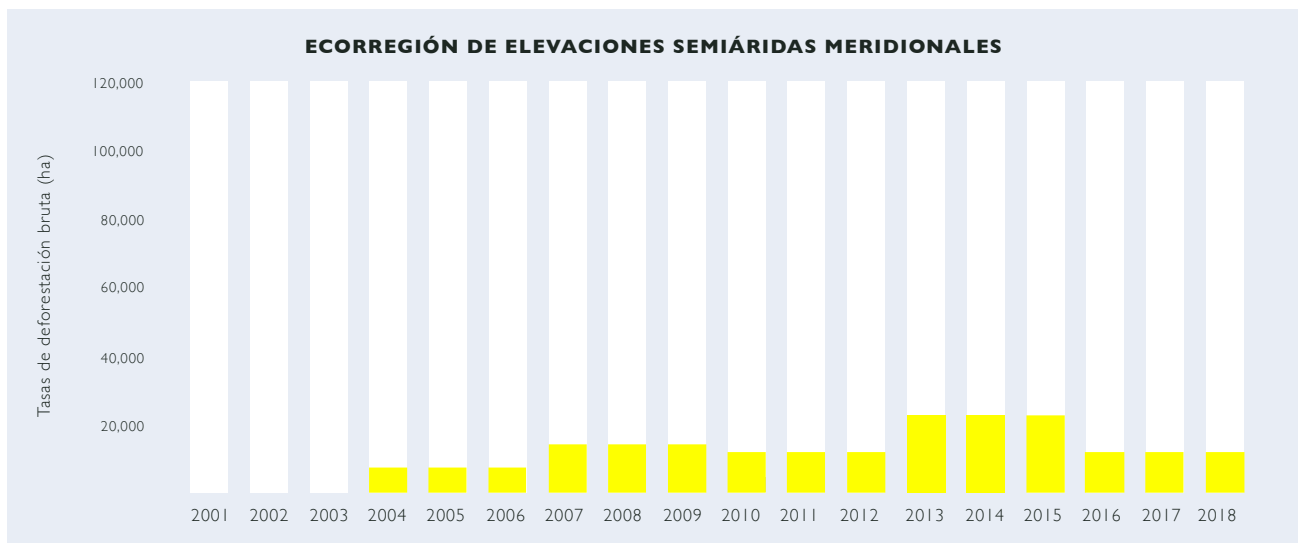
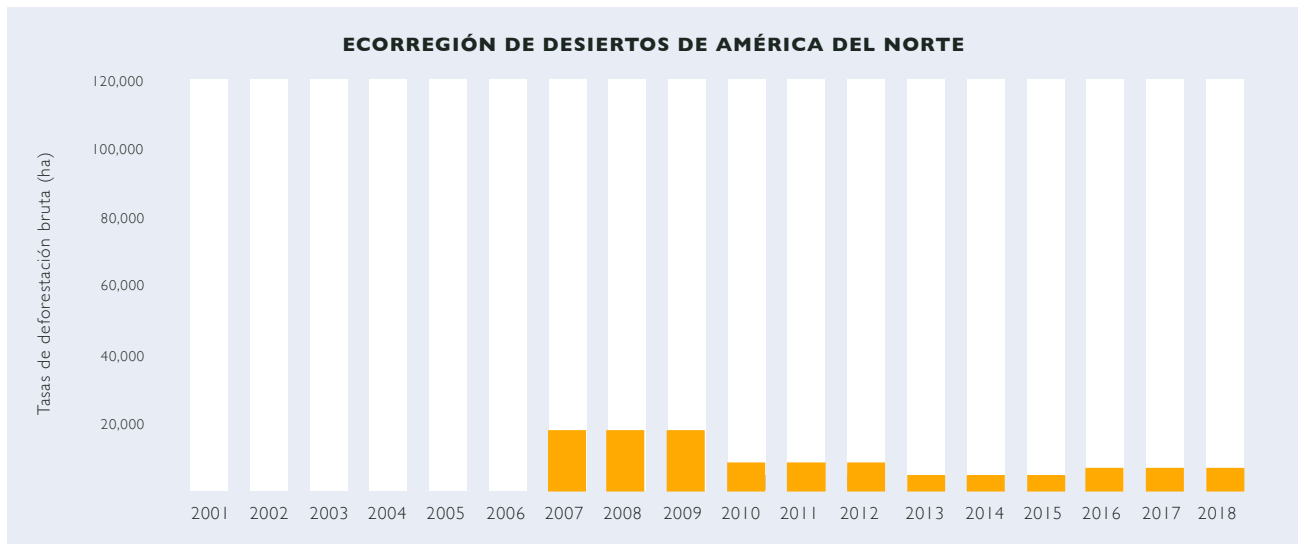
Los resultados por ecorregión se muestran a continuación (Figura 7 y 8). Las tablas de datos asociadas a las gráficas del presente documento se encuentran en el apartado 9 Anexos.

Con fines de presentación de los resultados a nivel de ecorregión, el periodo de análisis se subdividió en 6 periodos trienales y en cada uno de ellos se calculó la tasa promedio de deforestación bruta. Por esta razón, los valores de deforestación de cada trienio son exactamente los mismos.

Las magnitudes y tendencias de la deforestación varían por cada ecorregión como se muestra en la siguiente serie de gráficas. En términos de la magnitud, la ecorregión Selvas Cálido-Húmedas es la que más contribuye a la tasa de deforestación nacional, con algunos valores anuales que superan las 110,000 ha. Las ecorregiones de Selvas Cálido-Secas y Sierras Templadas también contribuyen de manera importante a la tasa de deforestación nacional.

Figura 7. Serie de gráficos: superficie anual de deforestación bruta en las 7 ecorregiones terrestres Nivel I de México.





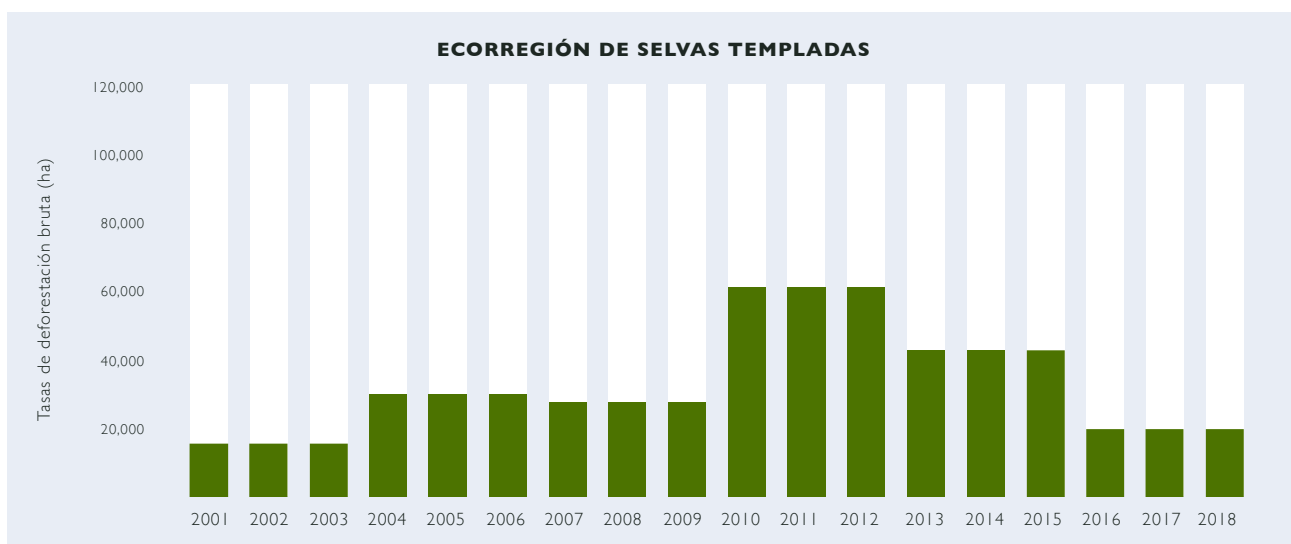
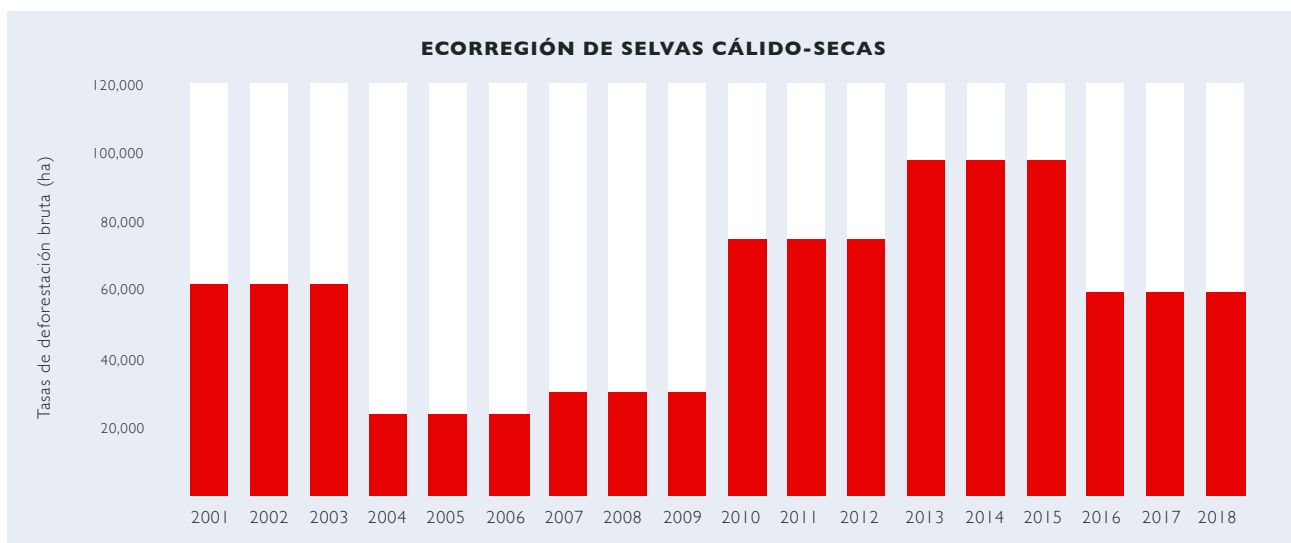
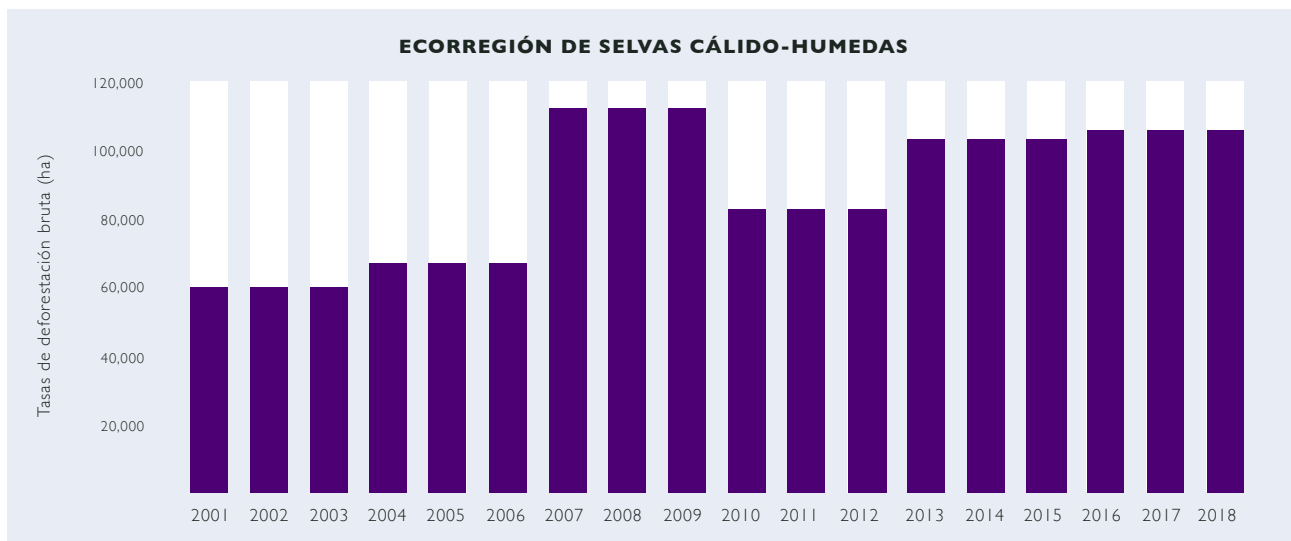
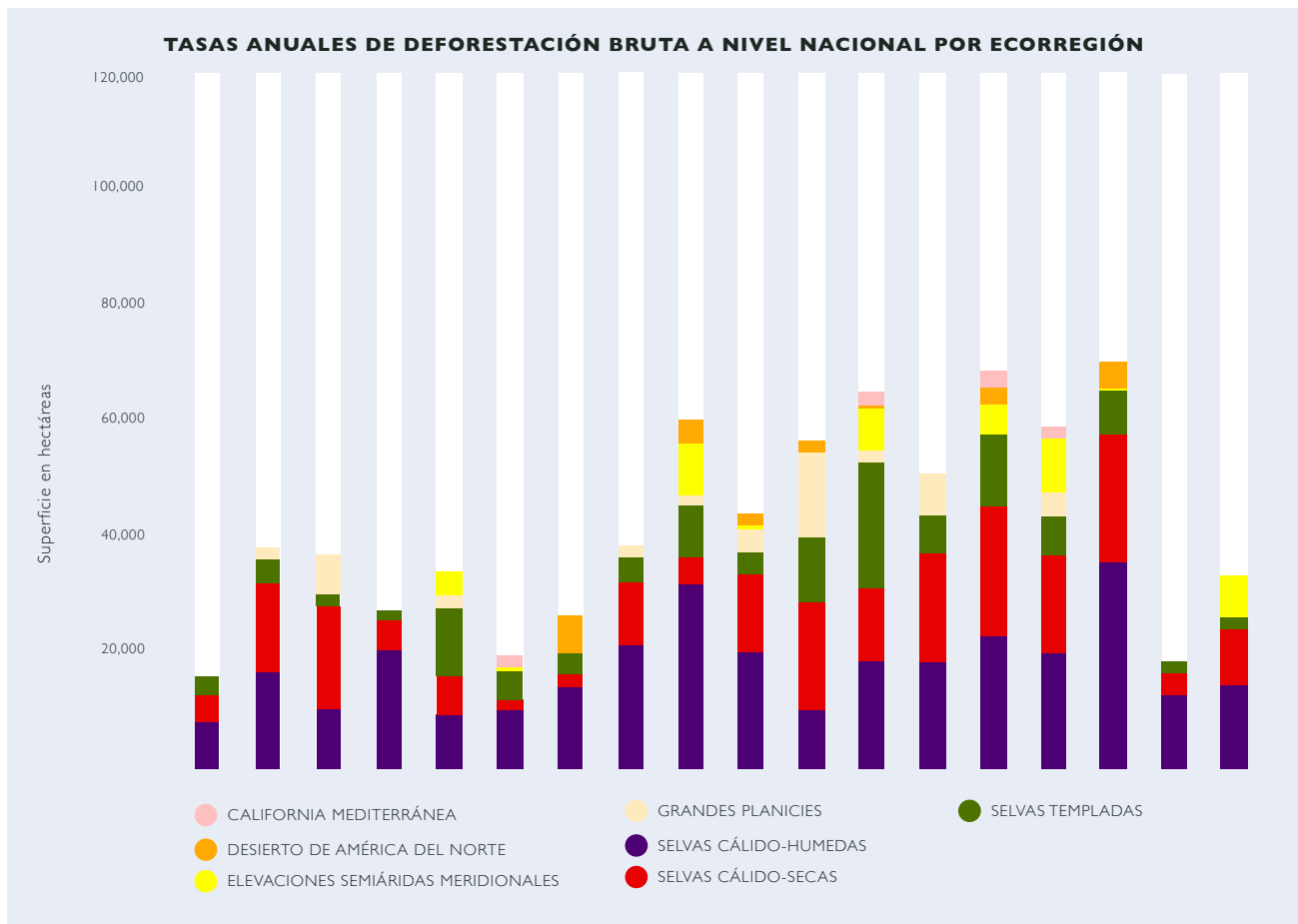


Figura 8. Tasas anuales de deforestación bruta en el periodo 2001-2018, a nivel nacional y agregadas por ecorregión.

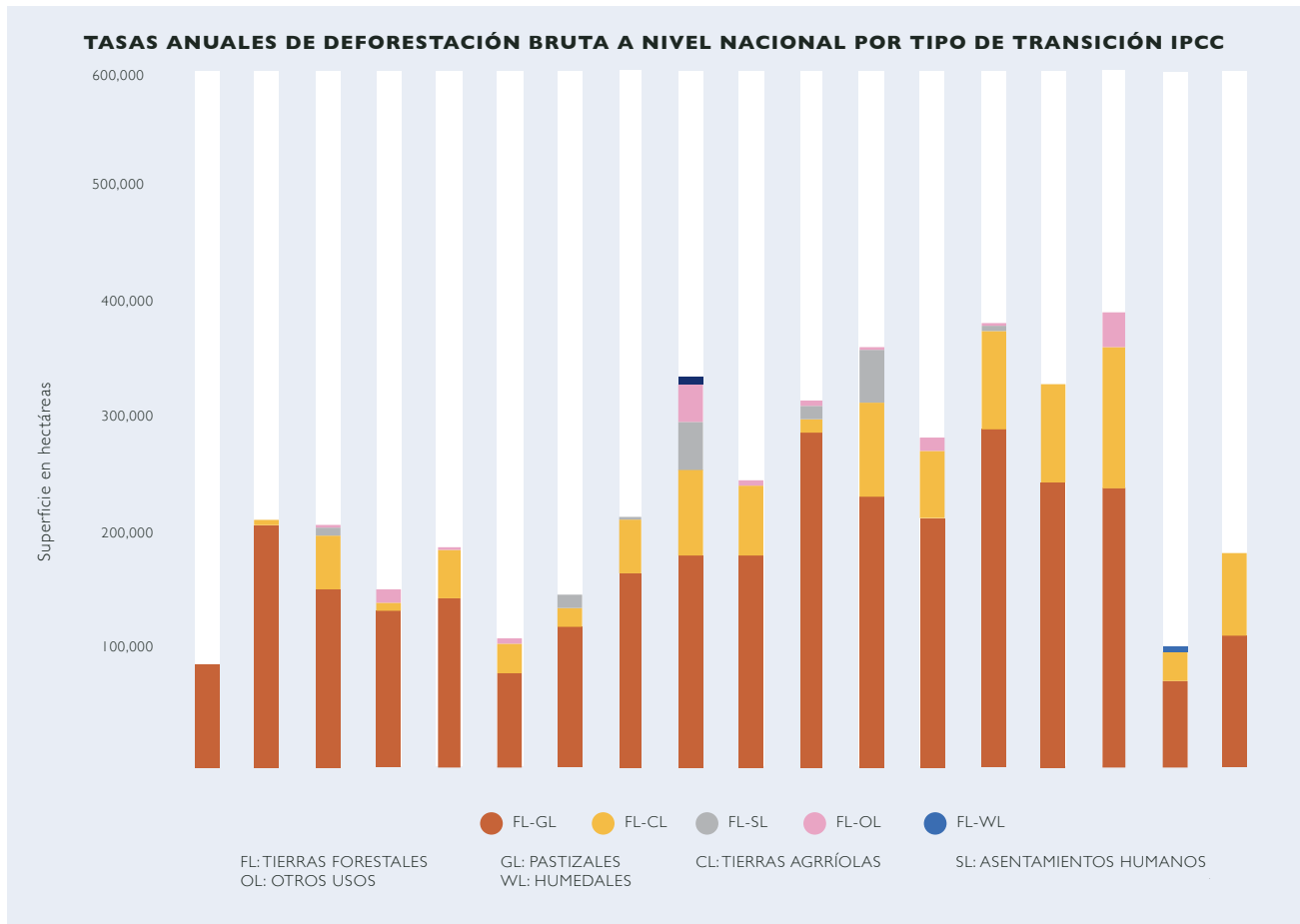
6.2. RESULTADOS POR TIPO DE TRANSICIÓN

La Figura 9 presenta los resultados de la deforestación bruta a nivel nacional, desglosada por transición sensu IPCC. Los datos tabulares asociados a la gráfica se encuentran en el apartado 9 Anexos.

La transición de Tierras Forestales (FL) a Pastizales (GL) es la de mayor proporción en cada año del periodo de análisis. La mayor tasa de cambio en dicha transición se presentó en el año 2014 y tuvo una magnitud de 260,941 ha.

De igual forma, se identificó que las Tierras Forestales (FL) que cambian a Tierras Agrícolas (CL) se encuentran en segundo lugar en términos de su proporción de deforestación bruta, y su mayor magnitud se encontró en 2016 con 108,188 ha.

Cabe señalar que, durante todo el periodo de análisis, la tendencia general de estas proporciones se mantiene, aunque la magnitud tiene variaciones importantes.

Figura 9. Tasas anuales de deforestación bruta a nivel nacional desglosadas por transición.

6.3. RESULTADOS A NIVEL NACIONAL

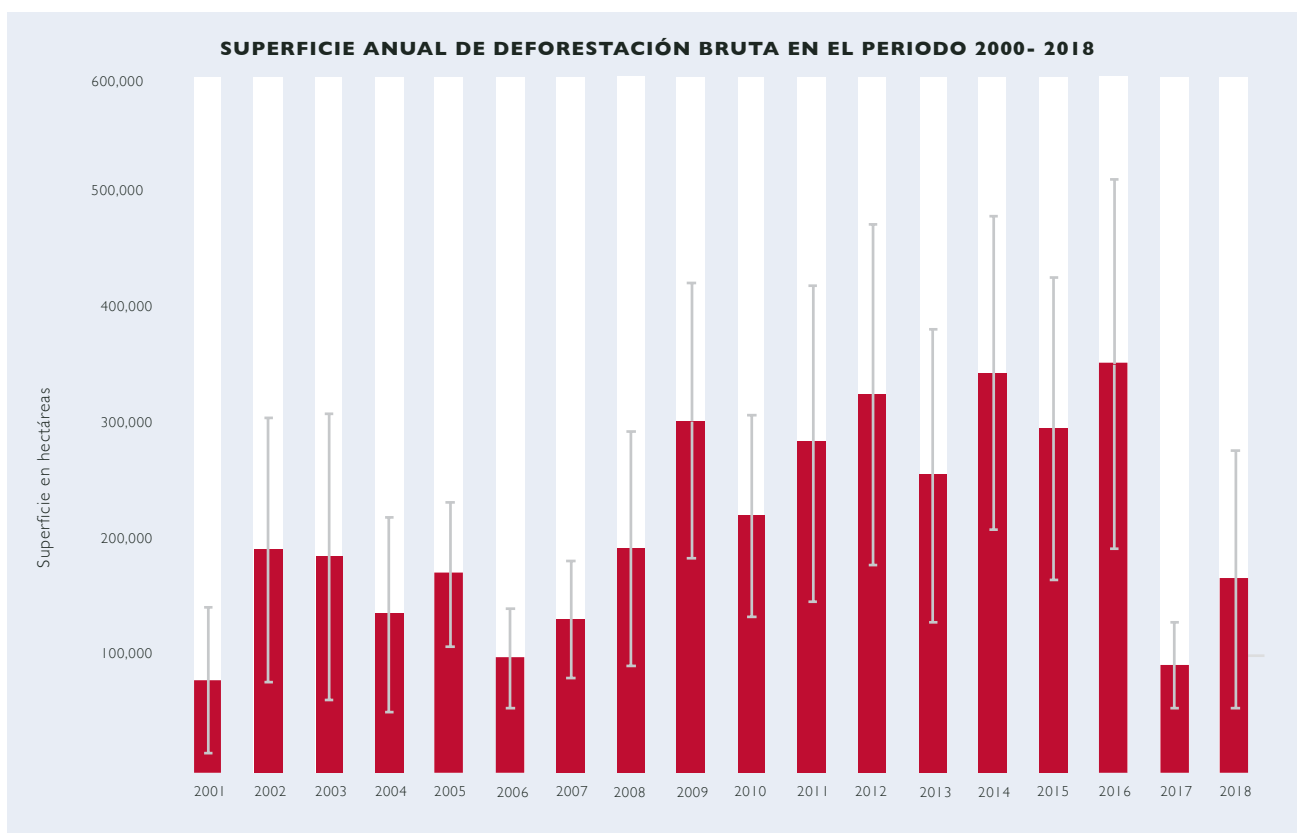
A continuación, en el Cuadro 9 y Figura 10 se muestran los resultados de la tasa de deforestación bruta anual a nivel nacional para el periodo 2001-2018.

El valor mínimo de deforestación ocurrió en el año 2001 (79,672 ha) y el máximo en 2016 (350,298 ha). El comportamiento de la deforestación bruta muestra una tendencia general creciente desde 2001 hasta 2016, con el máximo en el último año del periodo. Después de 2016, se observa una tendencia decreciente.

Cuadro 9. Tasas anuales de deforestación bruta a nivel nacional para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie (ha)	79,672	191,071	185,741	135,953	170,421	98,853	131,822	192,631	301,792
Incertidumbre (%)	78	59	66	61	36	43	38	52	39
Límite superior	141,816	303,803	308,330	218,884	231,773	141,360	181,914	292,799	419,491
Límite inferior	17,528	78,339	63,152	53,022	109,069	56,346	81,730	92,463	184,093

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie (ha)	220,489	282,431	324,262	254,855	342,899	295,119	350,298	92,609	166,337
Incertidumbre (%)	39	48	45	49	39	44	45	40	66
Límite superior	306,480	417,998	470,180	379,734	476,630	424,971	507,932	129,653	276,119
Límite inferior	134,498	146,864	178,344	129,976	209,168	165,267	192,664	55,565	56,555

Figura 10. Tasas anuales de deforestación bruta a nivel nacional para el periodo 2001-2018.

En la Figura 11 se muestra un mapa con la distribución espacial de las parcelas en las que se identificó deforestación bruta durante el periodo de análisis. Asimismo, fue posible identificar otro tipo de condiciones tales como degradación, recuperación o permanencias.

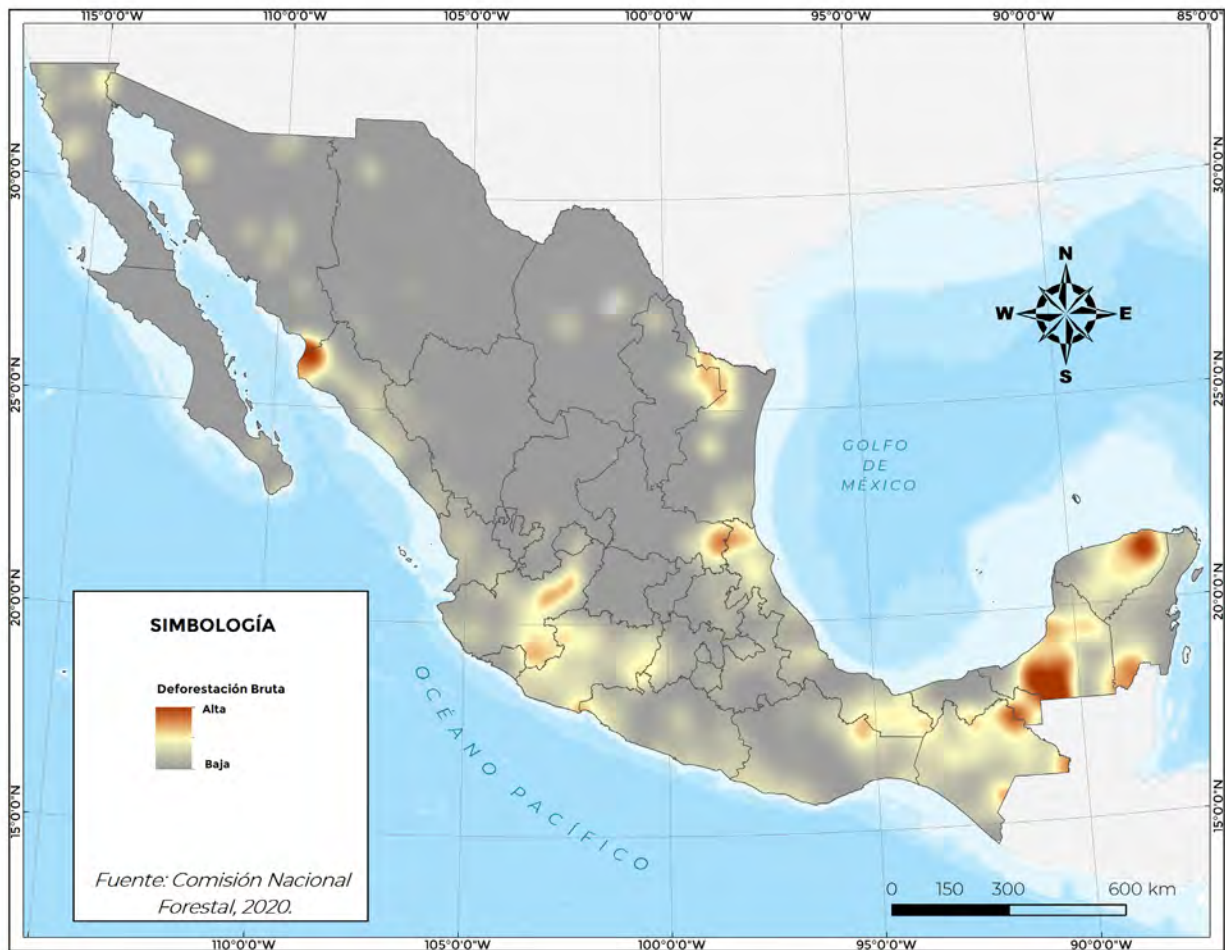
Adicionalmente, mediante la interpolación de los puntos de deforestación encontrados, se elaboró un mapa que permite identificar zonas críticas o *hotspots* de deforestación y, de manera exploratoria, conocer en qué estados aparece con mayor presencia el fenómeno (Figura 12). Cabe señalar que el tamaño de muestra de las 26,220 parcelas no es suficiente para obtener tasas de deforestación a nivel de cada una de las entidades.

Sin embargo, el análisis exploratorio del mapa de zonas críticas de deforestación bruta es consistente con diversos reportes técnicos y científicos respecto de los estados con las mayores tasas de deforestación. El análisis de deforestación indica que la Península de Yucatán y los estados de Chiapas, Michoacán y Jalisco tienen las zonas críticas o *hotspots* más importantes. Además, otras regiones, como la zona limítrofe sur entre Oaxaca y Veracruz, resaltan también Guerrero y el norte de Veracruz y San Luis Potosí, presentan una dinámica importante de deforestación bruta en el periodo de análisis.

Figura 11. Mapa de distribución espacial de las unidades de muestreo en las que se identificó deforestación bruta en el periodo 2001-2018.



Figura 12. Mapa de zonas críticas de deforestación (hotspots), periodo 2001-2018.



7.

RECOMENDACIONES



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

7.1. INTENSIFICACIÓN DEL MUESTREO

La estimación de la tasa de deforestación bruta nacional se realizó con base en el muestreo de 26,220 unidades de análisis. Esto corresponde a una primera fase de estimación pues, como se mencionó con anterioridad, con la intensidad de muestreo de la primera fase no es posible estimar tasas de deforestación a nivel estatal. Por lo tanto, actualmente se está trabajando en una segunda fase, consistente en intensificar el muestreo, incorporando hasta 44,000 parcelas adicionales a las ya analizadas. De esta manera, se espera que la intensificación final resulte en 70,000 parcelas para todo el país.

Uno de los principales objetivos de la segunda fase es que la intensificación se realice de manera uniforme en los estados que presentan hotspots de deforestación, cubriendo todo el territorio estatal.

Con la intensificación de la malla de 5x5 km, se tendría una equidistancia de 2.5x2.5 km; la malla de 10x10 km quedaría en 5x5 km y, finalmente, la malla de 20x20 km tendría equidistancias de 10x10 km.

7.2. RELACIÓN CON EL ENFOQUE WALL-TO-WALL Y POST-ESTRATIFICACIÓN

La estimación de las tasas de deforestación obtenida bajo el enfoque de la malla de muestreo (Fase I y Fase II -malla de muestreo intensificada-) será mejorada a través de una post-estratificación de la malla, la cual se realizará tomando como insumos los mapas de coberturas y cambios de coberturas derivados del enfoque *wall-to-wall* del Sistema SAMOF. A través de la post-estratificación, se espera reducir hasta en un 20% las incertidumbres de las tasas de deforestación estimadas mediante la combinación de ambos enfoques.

7.3. ÁREAS DE MEJORA

Una de las principales áreas de mejora es la detección de los cambios de uso de suelo a nivel de parcela comparando sólo imágenes de muy alta y alta resolución entre dos tiempos con la finalidad de detectar cambios de uso dentro de la parcela de muestreo, con lo cual será posible detectar de manera más precisa áreas deforestadas a una escala menor a 1 ha y además permitirá monitorear de manera más adecuada una parte de la degradación asociada a la pérdida gradual de cobertura forestal. De hecho, actualmente, con apoyo del USFS, se está implementando este análisis con lo que espera que el próximo año se reporten a nivel nacional tasas de degradación forestal.



8.

REFERENCIAS



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

Bey, A., Sánchez-Paus Díaz, A., Maniatis, D., Marchi, G., Mollicone, D., Ricci, S., Bastin, J.-F., Moore, R., Federici, S. & Rezende, M. (2016). Collect earth: Land use and land cover assessment through augmented visual interpretation. *Remote Sensing*, 8, 807.

CONABIO. (2008). Ecorregiones terrestres de México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-Instituto Nacional de Ecología (INE).

CONAFOR. (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2004-2009. Disponible en: <https://snigf.cnf.gob.mx/resultados-2004-2009/>

CONAFOR. (2017). Informe final de resultados del proceso de consulta de la Estrategia Nacional REDD+. Disponible en: <http://www.enaredd.gob.mx/wp-content/uploads/2017/03/Informe-Final-resultados-Consulta-ENAREDD.pdf>.

CONAFOR. (2018). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014. Disponible en: <https://snigf.cnf.gob.mx/resultados-2009-2014/>

CONAFOR. (2017). Estrategia Nacional para REDD+ 2017-2030. Zapopan, Jalisco: Comisión Nacional Forestal.

FAO. (2010). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2015). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2018). El estado de los bosques del mundo- Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INECC. (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INECC. (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INEGI. (2014). Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000 (versión 3). Aguascalientes, Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. (2016). Marco Geoestadístico Nacional 2016. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (H.S. Eggleston, Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Ed. Vol. 4). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Masera, O., Ordoñez, M., & Dirzo, R. (1997). Carbon Emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-Term Scenarios. *Climatic Change*, 265-295.

Miranda, F. y Hernández- Xolocotzi, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. 148 p.

Romijn, E., Lantican, C. B., Herold, M., Lindquist, E., Ochieng, R., Wijaya, A., Murdiyarso, D. & Verchot, L. (2015). Assessing change in national forest monitoring capacities of 99 tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 109-123.

Rosete-Vergés, F., Pérez-Damián, J., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 21-35.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. 1ª ed. Limusa. 492 p.

SEMARNAT, CONAFOR, INEGI, INE, INIFAP. 2004. Documento estratégico rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

Tzamtzis, I., Federici, S., & Hanle, L. (2019). A Methodological Approach for a Consistent and Accurate Land Representation Using the FAO Open Foris Collect Earth Tool for GHG Inventories. *Carbon Management*, 10(4), 437-450.

UNFCCC, 2015. Report on the technical assessment of the proposed forest reference emission level of Mexico submitted in 2014. United Nations Framework Convention on Climate Change. 25 November 2015.

Velázquez, A., Mas, J., Díaz Gallegos, J., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 21-37.

9.

ANEXOS



DOCUMENTO TÉCNICO



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

Cuadro 10. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión California Mediterránea para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)				3,624	3,624	3,624			
Incertidumbre (%)				196	196	196			
Límite superior				10,726	10,726	10,726			
Límite inferior				-3,479	-3,479	-3,479			

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	3,624	3,624	3,624	8,084	8,084	8,084			
Incertidumbre (%)	196	196	196	125	125	125			
Límite superior	10,726	10,726	10,726	18,163	18,163	18,163			
Límite inferior	-3,479	-3,479	-3,479	-1,995	-1,995	-1,995			

Cuadro 11. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Desiertos de América del Norte para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)							17,136	17,136	17,136
Incertidumbre (%)							79	79	79
Límite superior							30,756	30,756	30,756
Límite inferior							3,516	3,516	3,516

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	7,965	7,965	7,965	4,538	4,538	4,538	6,854	6,854	6,854
Incertidumbre (%)	122	122	122	156	156	156	131	131	131
Límite superior	17,711	17,711	17,711	11,599	11,599	11,599	15,811	15,811	15,811
Límite inferior	-1,781	-1,781	-1,781	-2,523	-2,523	-2,523	-2,102	-2,102	-2,102

Cuadro 13. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Elevaciones Semiáridas Meridionales para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie (ha)				7,817	7,817	7,817	15,006	15,006	15,006
Incertidumbre (%)				111	111	111	158	158	158
Límite superior				16,521	16,521	16,521	38,676	38,676	38,676
Límite inferior				-886	-886	-886	-8,663	-8,663	-8,663

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	12,543	12,543	12,543	23,787	23,787	23,787	12,543	12,543	12,543
Incertidumbre (%)	182	182	182	106	106	106	182	182	182
Límite superior	35,317	35,317	35,317	49,041	49,041	49,041	35,317	35,317	35,317
Límite inferior	-10,231	-10,231	-10,231	-1,467	-1,467	-1,467	-10,231	-10,231	-10,231

Cuadro 14. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Grandes Planicies para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)	15,283	15,283	15,283	3,405	3,405	3,405	6,811	6,811	6,811
Incertidumbre (%)	158	158	158	196	196	196	139	139	139
Límite superior	39,501	39,501	39,501	10,080	10,080	10,080	16,250	16,250	16,250
Límite inferior	-8,935	-8,935	-8,935	-3,269	-3,269	-3,269	-2,629	-2,629	-2,629

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	33,971	33,971	33,971	18,688	18,688	18,688			
Incertidumbre (%)	86	86	86	133	133	133			
Límite superior	63,042	63,042	63,042	43,586	43,586	43,586			
Límite inferior	4,900	4,900	4,900	-6,210	-6,210	-6,210			

Cuadro 15. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Selvas Cálido-Húmedas para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)	59,744	59,744	59,744	66,530	66,530	66,530	111,761	111,761	111,761
Incertidumbre (%)	59	59	59	41	41	41	30	30	30
Límite superior	94,916	94,916	94,916	93,549	93,549	93,549	145,621	145,621	145,621
Límite inferior	24,571	24,571	24,571	39,510	39,510	39,510	77,901	77,901	77,901

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	74,854	74,854	74,854	97,225	97,225	97,225	58,779	58,779	58,779
Incertidumbre (%)	55	55	55	53	53	53	64	64	64
Límite superior	115,778	115,778	115,778	149,225	149,225	149,225	96,237	96,237	96,237
Límite inferior	33,930	33,930	33,930	45,225	45,225	45,225	21,321	21,321	21,321

Cuadro 16. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Selvas Cálido -Secas para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)	61,560	61,560	61,560	23,634	23,634	23,634	30,345	30,345	30,345
Incertidumbre (%)	65	65	65	68	68	68	91	91	91
Límite superior	101,340	101,340	101,340	39,707	39,707	39,707	58,088	58,088	58,088
Límite inferior	21,780	21,780	21,780	7,562	7,562	7,562	2,602	2,602	2,602

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	74,854	74,854	74,854	97,225	97,225	97,225	58,779	58,779	58,779
Incertidumbre (%)	55	55	55	53	53	53	64	64	64
Límite superior	115,778	115,778	115,778	149,225	149,225	149,225	96,237	96,237	96,237
Límite inferior	33,930	33,930	33,930	45,225	45,225	45,225	21,321	21,321	21,321

Cuadro 17. Tasas anuales de deforestación en la ecorregión Sierra Templadas para el periodo 2001-2018.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie trianual (ha)	15,575	15,575	15,575	30,065	30,065	30,065	27,689	27,689	27,689
Incertidumbre (%)	45	45	45	41	41	41	34	34	34
Límite superior	22,660	22,660	22,660	42,307	42,307	42,307	36,968	36,968	36,968
Límite inferior	8,490	8,490	8,490	17,823	17,823	17,823	18,411	18,411	18,411

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Superficie trianual (ha)	60,978	60,978	60,978	42,830	42,830	42,830	19,902	19,902	19,902
Incertidumbre (%)	46	46	46	31	31	31	40	40	40
Límite superior	88,967	88,967	88,967	56,020	56,020	56,020	27,801	27,801	27,801
Límite inferior	32,989	32,989	32,989	29,639	29,639	29,639	12,003	12,003	12,003

Cuadro 17. Tasas anuales de deforestación en el periodo 2001-2018 por tipo de transición. FL:Tierras Forestales; GL: Pastizales ; CL:Tierras agrícolas ; SL:Asentamientos humanos; OL: Otros usos y WL: Humedales.

Transición	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
FL-GL	79,672	185,781	136,739	120,660	131,022	71,918	108,073	149,195	163,463
FL-CL	-	5,289	41,019	5,387	36,803	24,241	13,468	40,743	66,556
FL-SL	-	-	5,387	-	-	-	10,282	2,694	37,335
FL-OL	-	-	2,596	9,906	2,596	2,694	-	-	29,052
FL-WL	-	-	-	-	-	-	-	-	5,387
Superficie Total	-	-	2,596	9,906	2,596	2,694	-	-	29,052

Transición	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
FL-GL	164,327	258,779	208,583	192,270	260,941	219,478	215,926	66,640	102,038
FL-CL	53,565	10,677	73,313	51,459	76,200	75,641	108,188	23,276	64,299
FL-SL	-	10,282	39,770	-	2,890	-	-	-	-
FL-OL	2,596	2,694	2,596	11,127	2,867	-	26,185	-	-
FL-WL	-	-	-	-	-	-	-	2,694	-
Superficie	220,489	282,431	324,262	254,855	342,898	295,119	350,298	92,609	166,337



Este material ha sido posible gracias al apoyo del pueblo estadounidense a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) bajo los términos de su Acuerdo de Cooperación Número: PAPA No. 72052320T0001 implementado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS).

El contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y el mismo no necesariamente refleja la opinión de la Agencia para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de los Estados Unidos.

ESTIMACIÓN DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN BRUTA EN MÉXICO MEDIANTE EL MÉTODO DE MUESTREO

PERIODO 2001-2018