



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

## **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.

Tel. +52 (33) 37777000

[www.gob.mx/conafor](http://www.gob.mx/conafor)

### **EDICIÓN**

#### **Gerencia de Sistema de Monitoreo Forestal (GSNMF)**

José Armando Alanis de la Rosa

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

Oswaldo Ismael Carrillo Negrete

*Coordinación General de Planeación e Información*

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 Esquerre Manjarrez  
Juan Pablo Avila De Alba  
Marco Antonio Iniguez Hernandez

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.

## **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 para generar los principales insumos empleados en este trabajo.

## CONTENIDO

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....              | 1  |
| 2. OBJETIVO .....                 | 5  |
| 3. ANTECEDENTES .....             | 5  |
| 4. ALCANCES DE LA ESTIMACIÓN..... | 10 |
| 5. METODOLOGÍA.....               | 15 |
| 6. RESULTADOS.....                | 65 |
| 7. RECOMENDACIONES.....           | 76 |
| 8. REFERENCIAS .....              | 77 |
| 9. ANEXOS.....                    | 80 |

## 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 de Bosques y Selvas  |
| 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            | Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático   |
| NREF            | Nivel de Referencia de Emisiones Forestales   |
| NRF             | Niveles de Referencia Forestales  |
| REDD+           | Reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal  |
| 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   |

## 1. 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 está permitiendo tener un mejor 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 de 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 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), como principal insumo 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 Comisión Nacional Forestal (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 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (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 Lima<sup>1</sup>.

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 (6ª 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.

---

<sup>1</sup> 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>

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, y 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 contempló tres componentes esenciales: (i) 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 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 el 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:

- (i) **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 (de forestación, reforestación, recuperación, permanencias, etc.); y
- (ii) **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, los resultados obtenidos .

## 2. OBJETIVO

Estimar 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

### 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 como parte de sus insumos las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI. 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 no cuentan con incertidumbres asociadas a los resultados.

### 3.2. Estimaciones de la deforestación de reportes 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 el 1990 y 2000 ; de 136,000 ha/año entre el 2000 y 2010 ; una pérdida de 92,000 ha/año entre el periodo de 2010 y 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 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 IPCC<sup>2</sup>, 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 de INEGI 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, sigue representando serias limitaciones.

---

<sup>2</sup> 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.

### 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 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 para REDD+, la CMNUCC reporta que, hasta el año 2019, 40 países han sometido su nivel de referencia para su revisión por parte del secretariado, de los cuales, 14 países son del continente americano. 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 NREF o Niveles de Referencia Forestales (NRF) ante 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.

### **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 emitidos 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, 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 1 ha, 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.

## 4. ALCANCES DE LA ESTIMACIÓN

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 del INEGI 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.

Considerando lo anterior, se estableció una correspondencia entre el sistema de clasificación del INEGI y las categorías de uso del suelo del IPCC (2003, 2006). Para la asignación de los tipos de vegetación y usos de suelo a las categorías del IPCC (2006), se recurrió a las Guías para la Interpretación de la

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 de la LGDFS**

El artículo 7, fracción LXXI, define como “terreno forestal” a aquel que está cubierto por vegetación forestal 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 1 ha. 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 1, 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 1.** Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI por clase del IPCC con base en sus características fisonómico -estructurales.

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

| <b>Categoría IPCC</b> | <b>Clave INEGI</b> | <b>Descripción de tipos de uso del suelo y vegetación (NEGI)</b> |
|-----------------------|--------------------|--|
| 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   |
| 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              | VHH                | Vegetación Halófila Hidrófila                                    |
| Praderas              | VH                 | Vegetación Halófila Xerófila                                     |
| Praderas              | PC                 | Pastizal Cultivado   |
| Praderas              | PY                 | Pastizal Gipsófilo   |
| Praderas              | PH                 | Pastizal Halófilo  |
| Praderas              | PI                 | Pastizal Inducido  |

| <b>Categoría IPCC</b> | <b>Clave INEGI</b> | <b>Descripción de tipos de uso del suelo y vegetación (INEGI)</b> |
|-----------------------|--------------------|---|
| Praderas              | PN                 | Pastizal Natural  |
| Praderas              | VW                 | Pradera de Alta Montaña   |
| Praderas              | VS                 | Sabana  |
| Praderas              | VSI                | Sabanoide   |
| Praderas              | VA                 | Popal   |
| Praderas              | VT                 | Tular   |
| 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 1 se indican los estratos o grupos de vegetación que constituyen el concepto 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 por ciento. 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, situaciones en las que se espera que el bosque se regenere de manera natural.

## 5. METODOLOGÍA

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

### 5.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la totalidad de la superficie del territorio nacional. 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, 2016<sup>3</sup>), y puede dividirse en 7 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 7 ecorregiones terrestres nivel I.

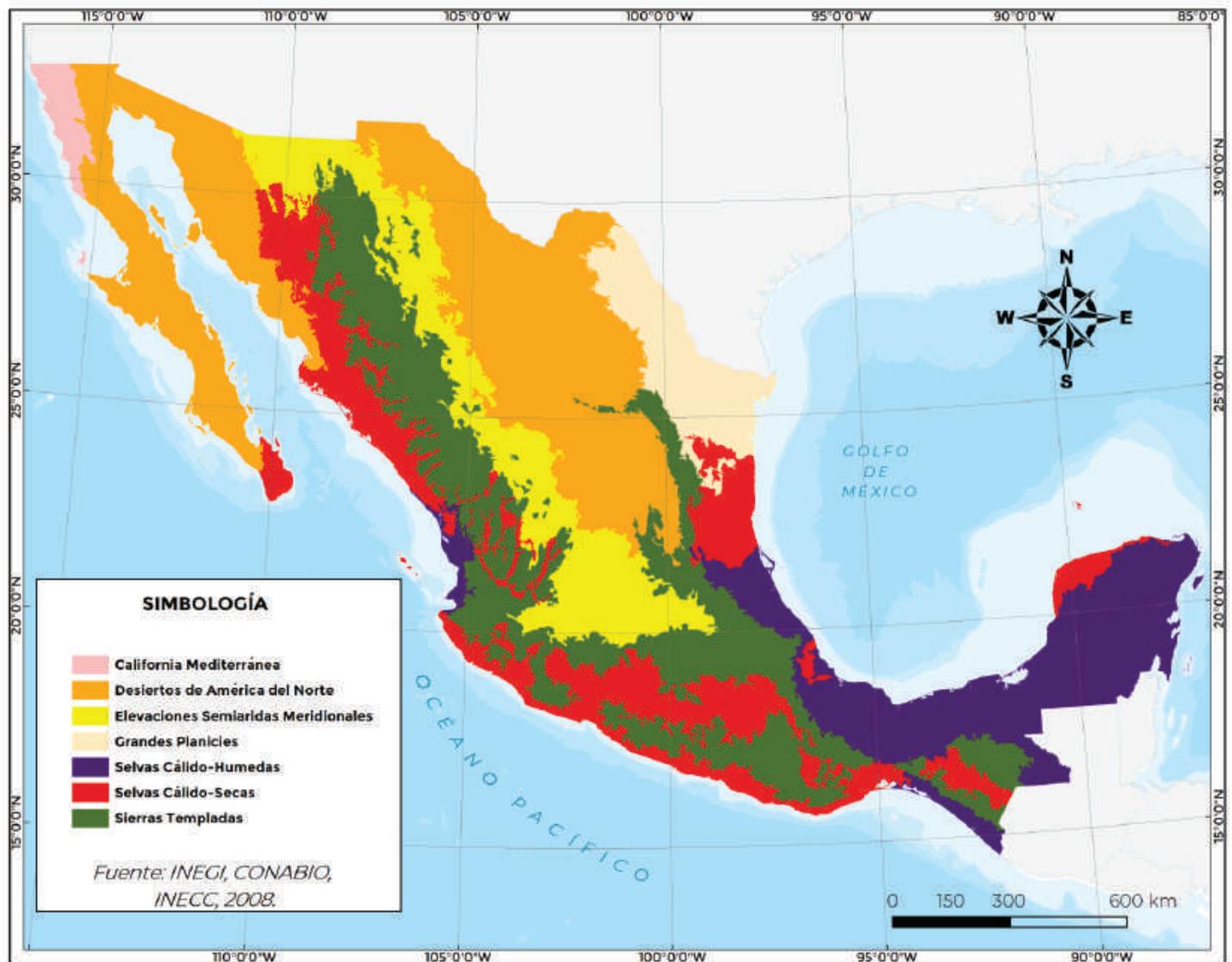
---

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

La superficie y número total de parcelas muestreadas en cada ecorregión se muestra en el Cuadro 2. Una estratificación de esta naturaleza permite comenzar, como parte de un enfoque escalonado, a gestionar 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.

| <b>Ecorregión-equidistancia</b>               | <b>Superficie total (ha)</b> | <b>Número total de parcelas muestreadas</b> |
|---|------------------------------|---|
| California mediterránea - 10 x 10             | 1,543,616                    | 142   |
| California mediterránea - 20 x 20             | 811,575                      | 24  |
| California mediterránea - 5 x 5               | 160,671                      | 64  |
| Desiertos de América del Norte - 10 x 10      | 11,001,237                   | 1,070                                       |
| Desiertos de América del Norte - 20 x 20      | 43,808,402                   | 1,118                                       |
| Desiertos de América del Norte - 5 x 5        | 836,288                      | 251   |
| Elevaciones semiáridas Meridionales - 10 x 10 | 1,336,497                    | 130   |
| Elevaciones semiáridas Meridionales - 20 x 20 | 18,793,655                   | 541   |
| Elevaciones semiáridas Meridionales - 5 x 5   | 2,731,139                    | 945   |
| Grandes Planicies - 10 x 10                   | 5,312,481                    | 520   |
| Grandes Planicies - 20 x 20                   | 5,202,305                    | 146   |
| Grandes Planicies - 5 x 5                     | 160,022                      | 58  |
| Selvas Cálido-húmedas- 10 x 10                | 2,274,559                    | 318   |
| Selvas Cálido-húmedas- 20 x 20                | 10,997,511                   | 420   |
| Selvas Cálido-húmedas- 5 x 5                  | 14,179,090                   | 5,264                                       |
| Selvas Cálido-Secas - 10 x 10                 | 15,314,267                   | 1,546                                       |
| Selvas Cálido-Secas - 20 x 20                 | 12,235,142                   | 330   |
| Selvas Cálido-Secas - 5 x 5                   | 4,217,740                    | 1,471                                       |
| Sierras Templadas - 10 x 10                   | 3,204,549                    | 380   |
| Sierras Templadas - 20 x 20                   | 11,194,475                   | 397   |
| Sierras Templadas - 5 x 5                     | 28,762,375                   | 11,080                                      |



**Figura 1.** Ecorregiones terrestres de México, Nivel 1.

## 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).

El segundo componente de este enfoque se refiere al proceso de clasificación de cobertura y uso del suelo de las unidades de muestreo. Esta clasificación puede realizarse mediante dos vías, que no son necesariamente excluyentes: (i) con datos directos de campo, derivados usualmente de inventarios forestales, o (ii) mediante la interpretación visual aumentada de datos satelitales.

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:

- (i) Diseño de muestreo
- (ii) Diseño de la unidad de muestreo (parcela)
- (iii) Establecimiento de criterios y jerarquía de clasificación de cobertura y uso de la tierra
- (iv) Proceso de interpretación multitemporal de categorías de cambio de cobertura y uso de suelo con imágenes satelitales en el periodo de análisis
- (v) Procesamiento de información, construcción de base de datos y control calidad
- (vi) Análisis estadístico para estimación de áreas de cambio
- (vii) 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"> <li>- Coordenadas del sitio 1 de los conglomerados del INFyS</li> <li>- Composición florística y variables dasométricas de las parcelas de INFyS: familia, género, nombre científico, nombre común, diámetro normal y altura total</li> </ul> |
| Repositorios de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bing Maps, Yandex Maps, Google Earth Engine, Code Editor y Google Earth Engine Explorer</li> </ul>  |
| Otros insumos   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gráfica anual del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)</li> <li>- Series temporales de Tipos de Uso del Suelo y de Vegetación desarrollada por el Instituto Nacional Estadística y Geografía (INEGI)</li> </ul>        |

## 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 los anterior, a continuación, se describen las características de l diseño de muestreo del INFyS. El INFyS está compuesto por CGL o unidades de muestreo primarias (UMP) con una superficie de 1,000 m<sup>2</sup> de forma circular; cada UMP cuenta, a su vez, con 4 sitios o unidades de muestreo secundarias (UMS) con una superficie de 400 m<sup>2</sup> 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)

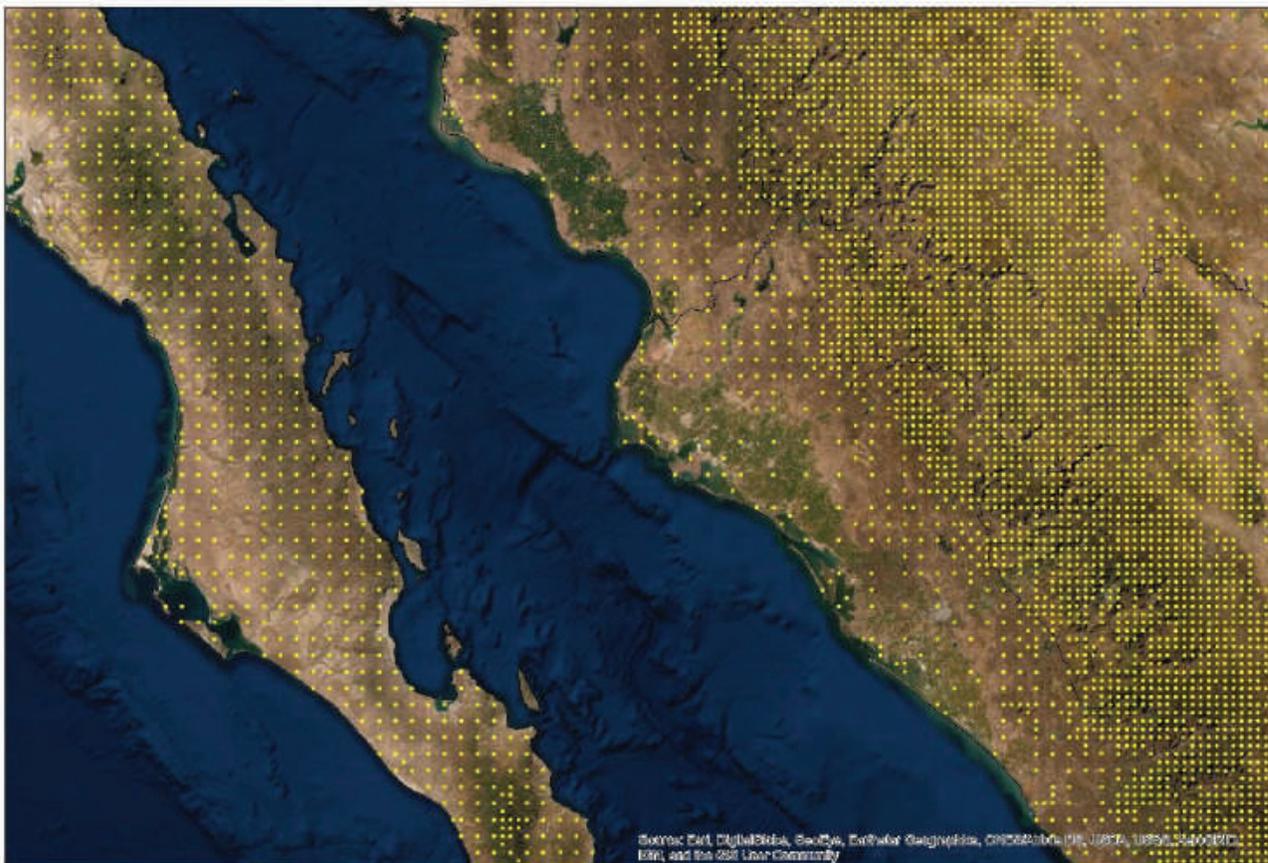
Los CGL se distribuyen en el territorio nacional en 3 estratos, con equidistancias de 5x5, 10x10 y 20x20 km (ver figura 2), de acuerdo con el ecosistema que se trate (Velasco *et al.*, 2003; SEMARNAT *et al.*, 2004; CONAFOR 2012; CONAFOR 2018). Por lo tanto, el INFyS se integra con 26,220 CGL a nivel nacional.

El insumo cartográfico utilizado para estratificar los ecosistemas del territorio nacional fueron las cartas de usos de suelo y vegetación serie I y serie II del INEGI, así como la carta de vegetación del Inventario Forestal Nacional del año 2000, elaborada por la UNAM -SEMARNAT (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’ para el periodo 2009 -2014, en donde se llevó a cabo la segunda medición en campo o 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 (CONAFOR2012;2018).



**Figura 2.** Patrón de distribución de los conglomerados del INFyS en 3 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 el caso de Panamá, Nicaragua, Estados Unidos e Italia cuentan con Inventario Forestal Nacional. 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 1 km x 1 km para el caso de un país como Italia, hasta 6km x 6 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"> <li>Malla de referencia de 3x3 km</li> <li>8,237 puntos</li> </ul>   | Utilización de malla de referencia anidada al Inventario Nacional Forestal y de Carbono para calcular la deforestación y el inventario de emisiones de GEI | Nacional: 7,690,261<br>TF: 4,899,255 (63.7% del territorio)     |
| Nicaragua                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Malla de referencia a 4.5x4.8 km</li> <li>Aprox. 5,247 puntos</li> </ul>   | Utilización de malla de referencia anidada al Inventario Nacional Forestal para calcular la deforestación y el inventario de emisiones de GEI              | Nacional: 13,032,790<br>TF: 3,400,000 (26.1% del territorio)    |
| Mozambique                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Malla de muestreo de 4x4 km considerando la malla de muestreo del Inventario Forestal</li> <li>Se revisaron 48,894 puntos</li> </ul> | Malla de referencia para calcular el nivel de referencia, deforestación y el inventario de emisiones de GEI  | Nacional: 82,358,875<br>TF: 33,767,139 (41% del territorio)     |
| Estados Unidos de América | <ul style="list-style-type: none"> <li>Malla de muestreo de 6x6 km</li> <li>125,000 puntos</li> </ul>   | Inventario Nacional Forestal   | Nacional: 1,033,650,000<br>TF: 310,095,000 (30% del territorio) |
| Italia                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Malla de muestreo de 1x1 km</li> <li>301,000</li> </ul>  | Inventario Nacional Forestal   | Nacional: 31,132,858<br>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 m<sup>2</sup>) 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.

- I. 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.



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

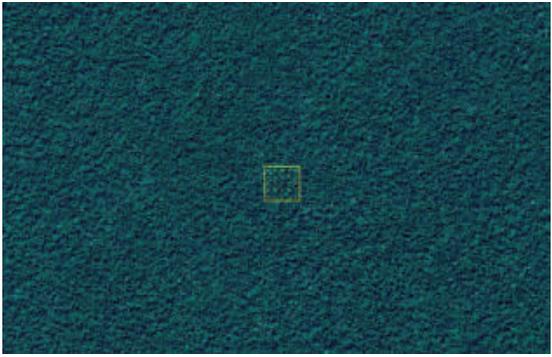
- II. Identificación de las clases INEGI dentro de la parcela; para lo cual se procedió de la siguiente manera:
  - a) Caracterización de la clase INEGI al año 2018 con base en los siguientes criterios:
    - i. Condiciones climáticas y ecológicas de la región donde se localizó la parcela.
    - ii. 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 el uso del suelo para las actividades pecuarias, agrícolas, asentamientos humanos y cuerpos de agua.
    - 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)
  - 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 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición *in situ*, y con una extensión mínima de 1 ha, 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).

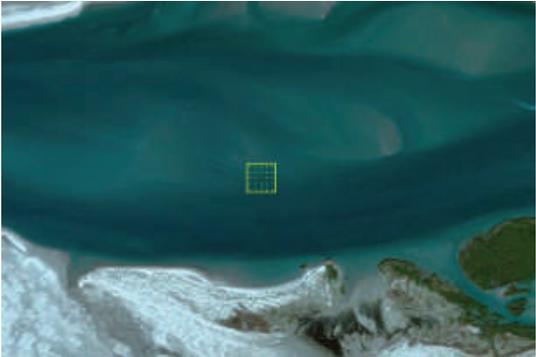
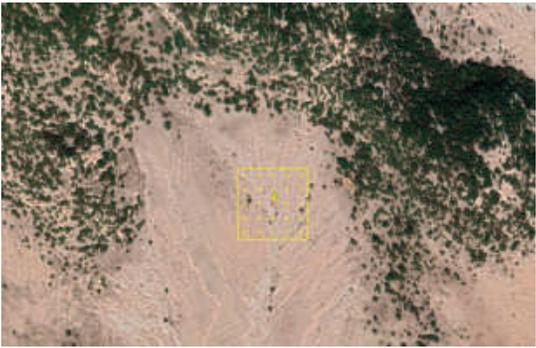


**Figura 5.** Determinación de una sola clase con base en la dominancia entre clases presentes (Tierra Forestal > 50 %) vs clase 2 (Praderas).

**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 .

| Clase IPCC      | Criterio de caracterización   | Ejemplo de imagen satelital  |
|-----------------|---|--|
| Tierra Forestal | 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 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha. |  |

| Clase IPCC      | Criterio de caracterización   | Ejemplo de imagen satelital  |
|-----------------|---|--|
| Tierra Agrícola | <p>El uso de una parcela muestreada se determinó como “Agricultura”:</p> <p>Anual, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 se identificaron patrones geométricos regulares asociados al trazado de parcelas y a la gestión de tierras, como surcos y melgas, presencia de infraestructura de riego, etc; o,</p> <p>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.</p> |    |
| 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>  |  |

| Clase IPCC          | Criterio de caracterización   | Ejemplo de imagen satelital  |
|---------------------|---|--|
| Asentamiento Humano | 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/urbanay carretera.  |    |
| 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, 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.

| Clase 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   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|-----------------|---|--|
| Tierra Forestal | <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"> <li>i. 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”,</li> <li>ii. 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),</li> </ol> |  <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> |

| Clase 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   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas   |
|------------|---|---|
|            | <p>iii. 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> <p>iv. 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 b. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 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> |

| Clase IPCC      | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018  | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas   |
|-----------------|--|---|
| 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 “Tierras 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 “Tierras Agrícolas” en el periodo 2000-2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>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”,</li> <li>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),</li> <li>determinar que el uso de la parcela permaneció como “Tierra Agrícola” en el periodo 2000-2018</li> </ol> |  <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> |

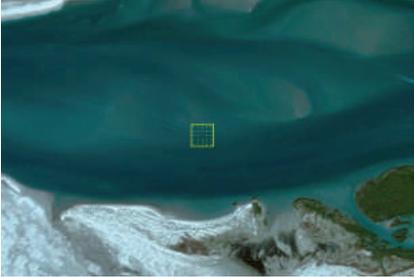
| Clase IPCC | Procesos empleados para la interpretación de la clase INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas   |
|------------|---|---|
|            | <p>cuando a través de la comparación visual 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>iv. 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> |  <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> |
| Pradera    | 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   |   |

| Clase IPCC | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|------------|---|--|
|            | <p>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"> <li>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”,</li> <li>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),</li> <li>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</li> </ol> |  <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>  <p>Figura h. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p> |

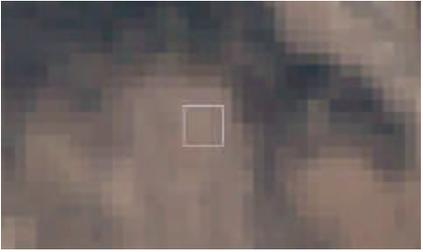
| Clase IPCC          | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018  | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|---------------------|--|--|
|                     | <p>consecutivos (ejemplo: 2018 vs 2015, 2015 vs 2014, y 2014 vs años previos, hasta llegar al año 2000),</p> <p>iv. 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</p> |  <p>Figura j. Visualización de un uso de Asentamiento Humano en una parcela de muestreo empleando una Imagen de muy alta y alta resolución al año 2018.</p> |

| Clase 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   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas   |
|------------|---|---|
|            | <p>continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. 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",</li> <li>ii. 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),</li> <li>iii. determinar que el uso de la parcela permaneció como "Asentamiento Humano" 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),</li> <li>iv. caracterizar el uso de "Asentamiento Humano" observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (figura l) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (figura k) y una imagen</li> </ul> |  <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> |

| Clase IPCC | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas   |
|------------|---|---|
|            | <p>continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. 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”,</li> <li>ii. 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),</li> <li>iii. determinar que el uso de la parcela permaneció como “Asentamiento Humano” 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),</li> <li>iv. caracterizar el uso de “Asentamiento Humano” observado en la imagen de mediana resolución Landsat 5 y 7 al año 2000 (figura l) con base en la interpretación de la imagen de mediana resolución Landsat 7 y 8 (figura k) y una imagen</li> </ul> |  <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> |

| Clase IPCC | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018  | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|------------|--|--|
|            | <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"> <li>i. 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”,</li> <li>ii. 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),</li> <li>iii. 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),</li> </ol> |  <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> |

| Clase IPCC    | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|---------------|---|--|
|               | <p>iv. 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>  |  <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>        |
| 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-</p> |  <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> |

| Clase IPCC | Procesos empleados para la interpretación de la clasificación INEGI al año 2000 con base en los análisis de permanencia de uso del suelo entre el año 2000 y 2018   | Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas  |
|------------|---|--|
|            | <p>2018 a nivel de parcela se describe a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i. 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",</li> <li>ii. 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),</li> <li>iii. 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),</li> </ol> |  <p>Figura q. Visualización de un uso de Otras Tierras en una parcela de muestreo empleando una imagen de mediana resolución Landsat 7 al año 2018.</p> |

II. Cuando **sí** ocurrió un cambio de clase a nivel de parcela en el periodo de análisis, se identificó 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
- (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, 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.

III. Una vez identificada la clase INEGI en el año 2000 (ya sea con el criterio I o II) 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 .

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
| <p>“Tierras Forestales” a “Otros Usos”<br/>(Deforestación)</p> | <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 <u>un</u> 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <div data-bbox="732 653 1138 919" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="334 926 1536 982">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.</p> <p data-bbox="347 1010 1536 1094">ii. caracterizar "Otros Usos" de la tierra analizando la imagen de mediana resolución Landsat 8 al 2018 (figura b) con base en la interpretación de la imagen de muy alta y alta resolución al año 2018 (figura a),</p> <div data-bbox="732 1087 1138 1346" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="358 1352 1516 1375">Figura b. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana</p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <p style="text-align: center;">resolución Landsat 8 al año 2018.</p> <p>iii. determinar que el uso de la parcela cambio 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 <u>un</u> cambio de uso en más del 50% de los pixeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparó la tonalidad y textura de los pixeles de las imágenes de años consecutivos ( e.g. 2018 vs 2015, 2015 vs 2014, y 2014 vs años previos, hasta llegar al año 2000).</p> <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) entre el año 2000 y 2008 se identificó una permeancia de “Tierras Forestales” ya que <u>no</u> se observó un cambio en la tonalidad y textura de los pixeles de las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los pixeles que representan la superficie de la pa rcela,</li> <li>b) la fecha específica de cambio fue el año 2009 ya que <u>si</u> se observó un cambio en la tonalidad y textura de los pixeles de las imágenes de mediana resolución del año 2008 vs 2009 en más del 50% de los pixeles que representan la superficie de la parce la y</li> <li>c) que entre el año 2009 y 2018 se identificó una permeancia de “Tierras Agrícola” ya que <u>no</u> se observó un cambio en la tonalidad y textura de los pixeles de las imágenes de mediana resolución en más del 50% de los pixeles que representan la superficie de la parcela.</li> </ul> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <div data-bbox="719 711 1154 1018" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="354 1024 1523 1081">           Figura c. Visualización de un uso de Tierra Agrícola en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana Landsat resolución al año 2009.         </p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b>  | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>   |
|---|---|
|   | <div data-bbox="716 646 1159 968" style="text-align: center;">  </div> <p data-bbox="435 978 1516 1031" style="text-align: center;">Figura d. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat al año 2000.</p>  |
| <p data-bbox="123 1104 302 1402">           “Tierras Forestales” a<br/>           “Tierras No Forestales” a<br/>           “Tierras Forestales”<br/>           (Pérdida de cobertura y Recuperación)         </p> | <p data-bbox="324 1136 1549 1314">           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.         </p> <p data-bbox="324 1339 1549 1402">           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,         </p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <p>se describe a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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".</li> </ul> <div data-bbox="657 814 1214 1197" data-label="Image"> <p>The image shows a high-resolution aerial view of a forested landscape. The terrain is covered in dense green vegetation, with some lighter-colored patches that could be clouds or different types of forest. A small, bright yellow square is superimposed on the image, indicating a specific sampling plot within the forested area.</p> </div> <p>Figura e. Visualización del Uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una Imagen de alta y muy alta resolución al año 2018.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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).</li> </ul> |

| 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 en parcelas de cambio de uso entre el año 2000 y 2018  |
|---|--|
|   | <div data-bbox="604 667 1263 894" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="354 898 1513 953">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.</p> <p data-bbox="337 982 1526 1146">iii. determinar que el uso de la parcela cambio 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 presento en el periodo de análisis <u>un</u> cambio de uso en más del 50% de los pixeles que representan la superficie de la parcela. En particular se comparo la tonalidad y textura de los pixeles 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 data-bbox="396 1176 1546 1323">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 determino que:</p> <p data-bbox="360 1327 1542 1377">a) entre el año 2000 y 2004 se identifico una permanencia de “Tierras Forestales” ya que <u>no</u> se observo un cambio en la tonalidad y textura de los pixeles de las imágenes de mediana resolución en más</p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <p>del 50% de los píxeles que representan la superficie de la parcela,</p> <p>b) la fecha específica de cambio fue el año 2005 ya que <u>sí</u> 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 y</p> <p>c) que 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.</p> <div data-bbox="695 940 1179 1276" data-label="Image"> </div> <p>Figura g. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen Landsat de mediana resolución al año 2005.</p> |

| 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 en parcelas de muestreo que cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018   |
|--|---|
|  |  <p data-bbox="355 982 1520 1035">Figura h. Visualización de un uso de Tierra Forestal en una parcela de muestreo empleando una imagen mediana resolución Landsat al año 2000.</p>  |
| <p data-bbox="131 1136 310 1310">“Tierras No Forestales” a “Tierras Forestales” (Recuperación Total y Parcial)</p> | <p data-bbox="326 1136 1546 1251">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.</p> <p data-bbox="326 1283 1546 1367">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 Recuperación en el periodo 2000-2018, se describe a continuación:</p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>  |
|--|--|
|  | <p>i. 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 presento un uso de “Tierra Forestal”</p> <div data-bbox="669 808 1198 1180" data-label="Image"> <p>The image shows a dense forest canopy from an aerial perspective. A small, square area in the center is highlighted with a yellow border, indicating the location of the sampling plot. The forest appears as a dark green, textured surface.</p> </div> <p>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.</p> <p>ii. 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</p> |

| 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 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018  |
|---|---|
|   | <p>i).</p> <div data-bbox="558 695 1312 961" data-label="Image"> </div> <p>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.</p> <p>iii. 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).</p> <p>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:</p> |

| <b>Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018</b> | <b>Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018</b>   |
|--|---|
|  | <p>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),</p> <p>b) la fecha específica de cambio de la recuperación fue en el año 2018 ya que <u>sí</u> 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),</p> <p>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.</p> <div data-bbox="673 972 1200 1346" data-label="Image"> </div> <p>Figura k. Visualización de un uso de Pradera en una parcela de muestreo empleando una imagen Landsat</p> |

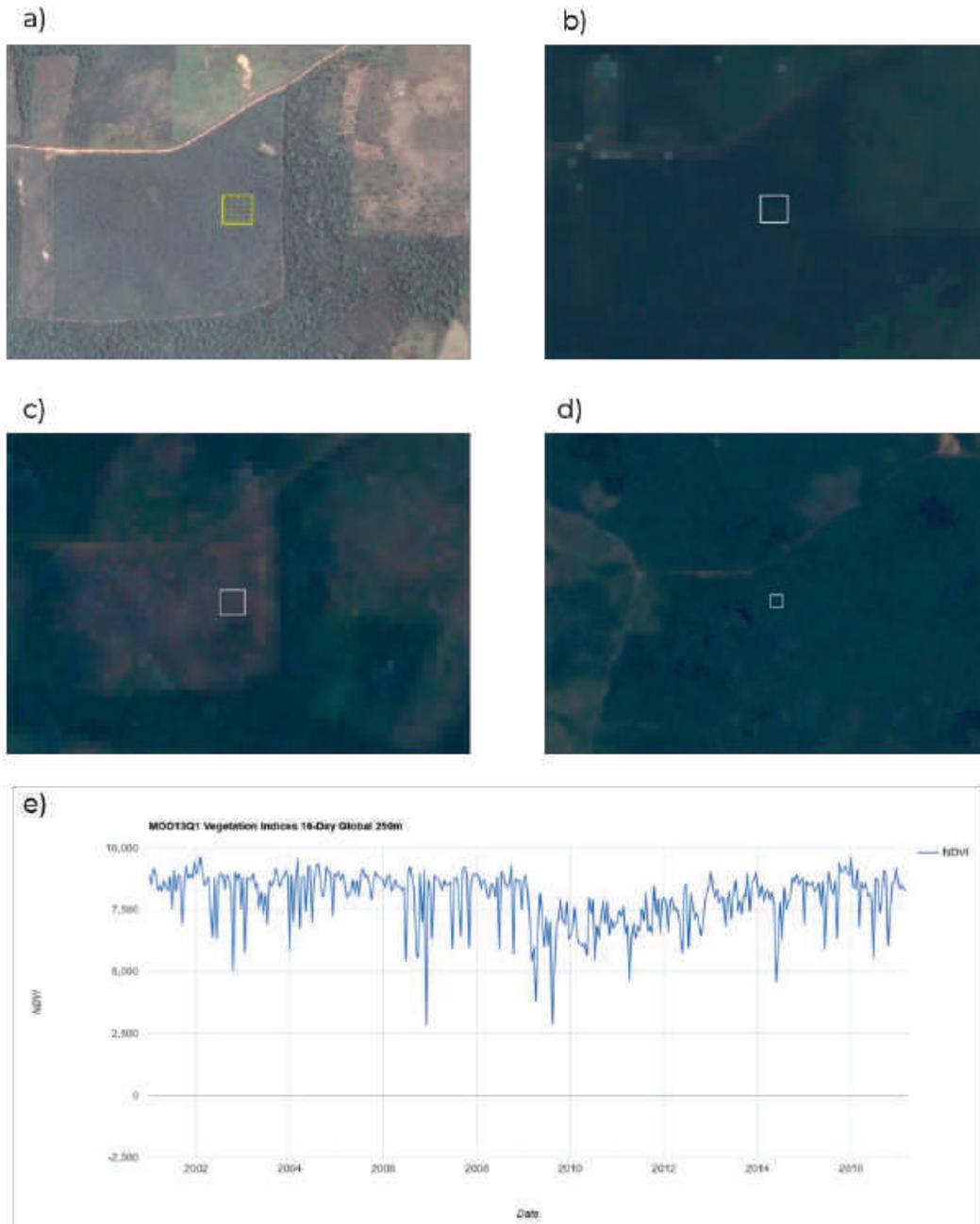
| Tipo de cambio de uso de suelo entre el año 2000 y 2018 | Procesos específicos empleados para la determinación del uso de suelo al año 2000 en parcelas de cambiaron de uso entre el año 2000 y 2018   |
|---|--|
|   | <p>de mediana resolución al año 2000.</p> <p><i>Recuperación Parcial</i><br/> Las parcelas que alcanzaron una “Recuperación parcial (TNF&gt;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.</p> <p>El análisis de fotointerpretación de este subconjunto de parcelas clasificadas como ‘recuperación parcial’ (TNF&gt;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.</p> |

### **5.7.3. Criterios de interpretación para identificar la fecha de cambio**

Para identificar el año de cambio en aquellas parcelas en las que ocurrió 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.
- II. Una vez identificado el año específico de cambio, se capturó y registro 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 I y II.



**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 FAO<sup>4</sup>.

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 especialistas<sup>5</sup> 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.

---

<sup>4</sup> Collect Earth es una herramienta que permite la recopilación de datos a través de Google Earth. Junto con Google Earth, Bing Maps y Google Earth Engine, los usuarios pueden analizar imágenes satelitales de alta y muy alta resolución para una amplia variedad de propósitos,

<sup>5</sup> 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.

## 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.

**Cuadro 7.** Variables de la base de datos de Fotointerpretación utilizadas en las estimaciones de las Emisiones de Deforestación y Degradación Forestal Absoluta

| Variable           | Descripción de la variable   |
|--------------------|--|
| id                 | número del CGL   |
| coord_X            | coordenada X del sitio 1 de cada CGL   |
| coord_Y            | coordenada Y del sitio 1 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 |
| fecha_00           | 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  |

| <b>Variable</b>           | <b>Descripción de la variable</b>                                     |
|---------------------------|---|
| 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        |
| 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 0.05% 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 reinterpretada s 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 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 *outliers* cuando:

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

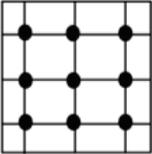
Con base en los criterios descritos en el párrafo anterior, se desarrolló una matriz en la que para cada parcela se registró la evolución de su clase IPCC de manera anual desde el año 2000 hasta el año 2018. De manera que, si la parcela registró un cambio de clase en un año en particular, entonces se 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 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.

| Estimación de superficies por medio de proporciones  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Procedimiento de muestreo  | Estimación de proporciones  | Superficies estimadas de categorías de uso de la tierra | Error estándar  |
|   | $p_i = n_i / n$   | $A_i = p_i * A$   | $s(A_i)$  |
|  | $p_1 = 3/9 \approx 0,333$<br>$p_2 = 2/9 \approx 0,222$<br>$p_3 = 4/9 \approx 0,444$ | $A_1 = 300$ ha<br>$A_2 = 200$ ha<br>$A_3 = 400$ ha      | $s(A_1) = 150,0$ ha<br>$s(A_2) = 132,2$ ha<br>$s(A_3) = 158,1$ ha |
|  | Suma = 1,0  | Total = 900 ha  |   |
| Donde:<br>A = superficie total (=900 ha en el ejemplo)<br>A <sub>i</sub> = superficie estimada de la categoría de uso de la tierra i<br>n <sub>i</sub> = cantidad de puntos ubicados en la categoría de uso de la tierra i<br>n = cantidad total de puntos |   |   |   |

Por lo tanto, para estimar el área de cambio es necesario obtener la proporción ( $p_i = \frac{n_i}{n}$ ) 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 1 de CONABIO y la capa de equidistancias del INFyS.

Por lo tanto, en cada estrato de “Ecorregión -Equidistancia” se generó una matriz de proporciones ( $p_i = \frac{n_i}{n}$ ) obtenida de la razón de las parcelas de cambio respecto al total de parcelas muestreadas. Posteriormente, esta matriz de proporciones se ponderó por el área total de cada “Ecorregión -Equidistancia” y

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 1 de las Directrices del IPCC (2006) indica que es una buena práctica es 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 1 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

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

$s(A_i)$  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 1 del IPCC por adición de acuerdo a lo mostrado a continuación:

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

Donde:

$U(AD_T)$  es la incertidumbre del área total deforestada y expresada como porcentaje.

$U(\widehat{AD}_i)_i, \widehat{AD}_i$  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

### 6.1 Resultados porecorregión

Los resultados de las tasas de deforestación fueron producidos de manera anual, por cada una de las 7 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 1 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.

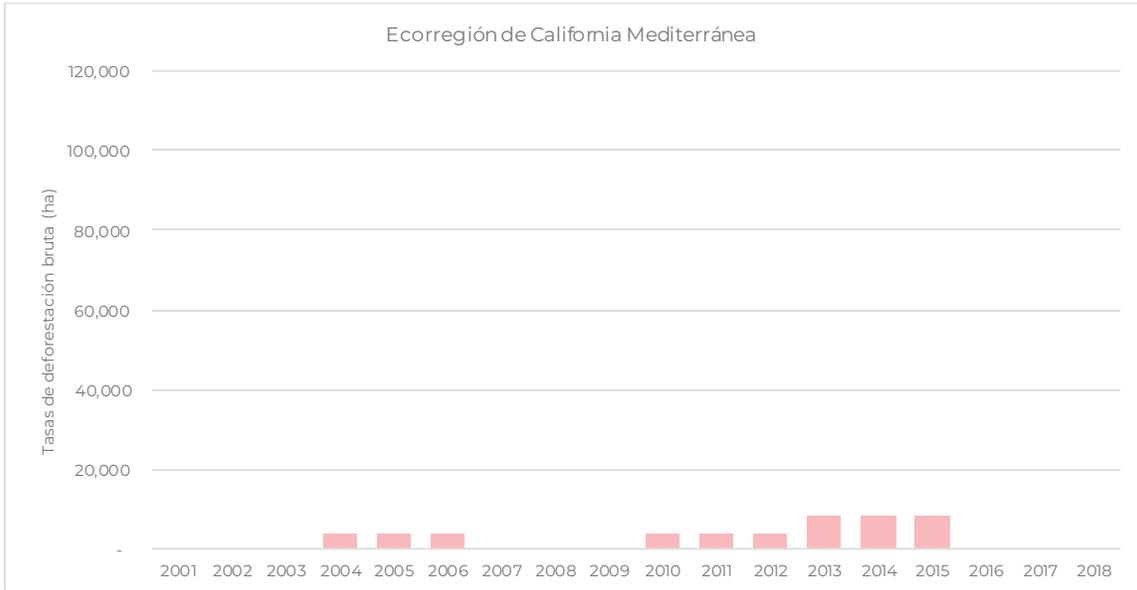
Aunque los resultados fueron producidos a un nivel de desagregación superior, el objetivo central de este estudio fue generar las tasas de deforestación a nivel nacional. La finalidad de la estratificación fue identificar las diferencias en la

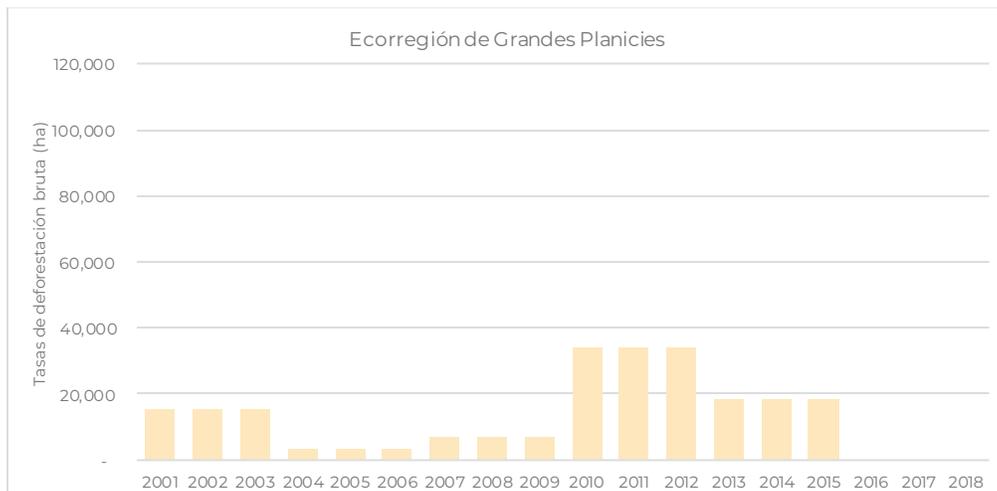
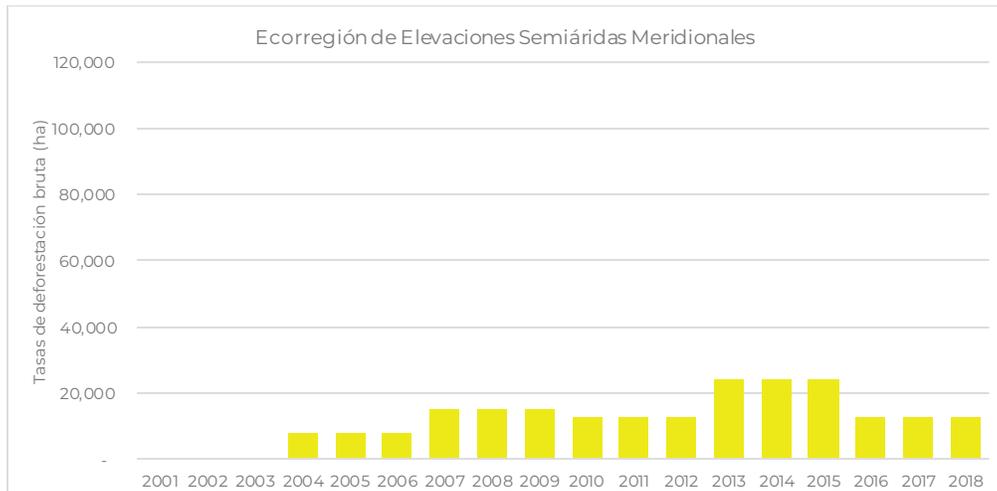
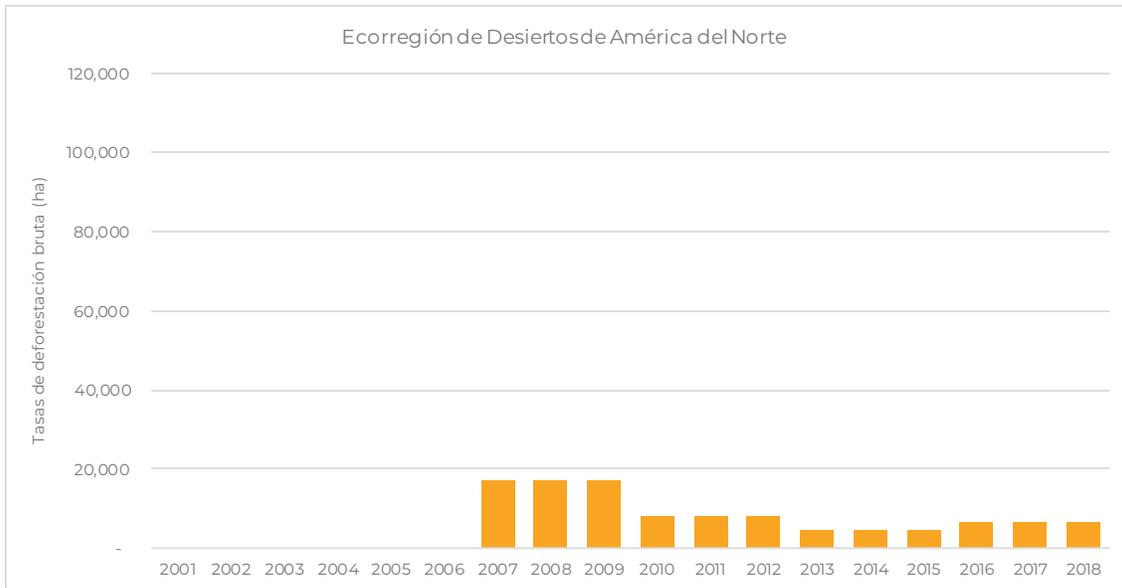
magnitud de la deforestación a nivel regional, como un primer paso para generar información útil para apoyar la gestión de políticas públicas. Además, la estratificación facilitó el proceso de control de calidad, al acotar el número de muestras (por ecorregión y por equidistancias) y simplificar la identificación de posibles datos atípicos.

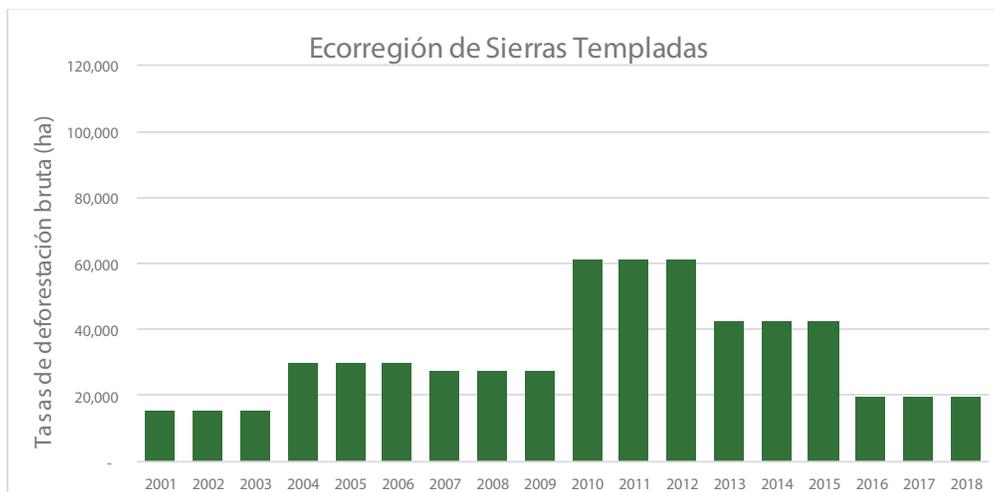
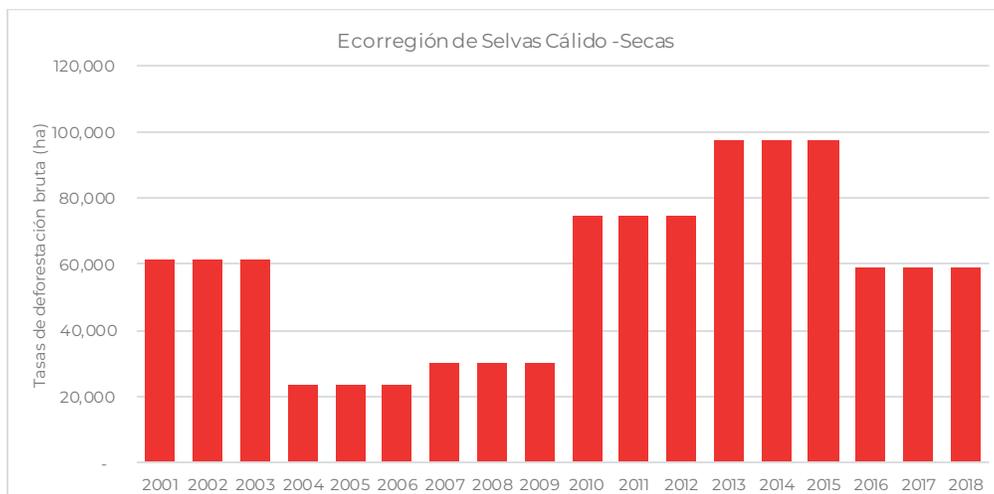
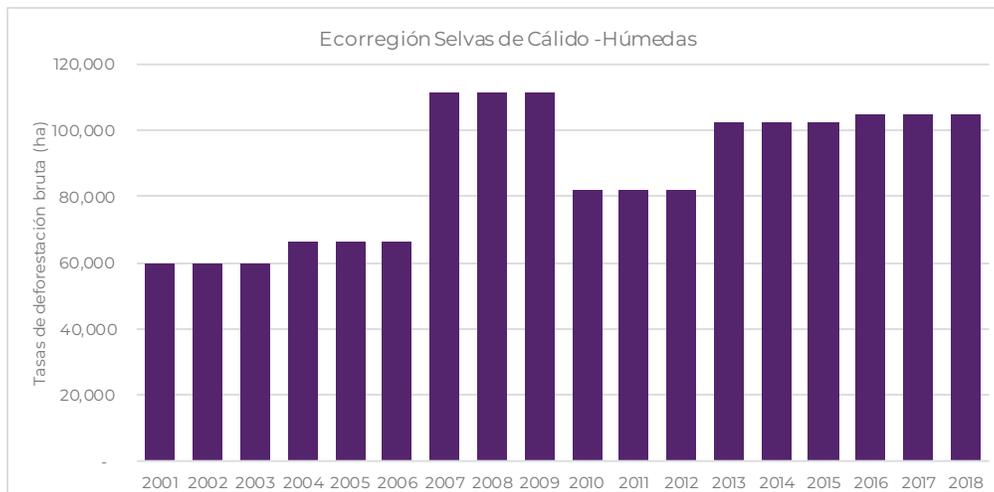
Los resultados por ecorregión se muestran a continuación (figura 7 y 8). Las tablas de datos asociadas a las gráficas del presente documento se encuentran en el apartado 9 “Anexos”.

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.

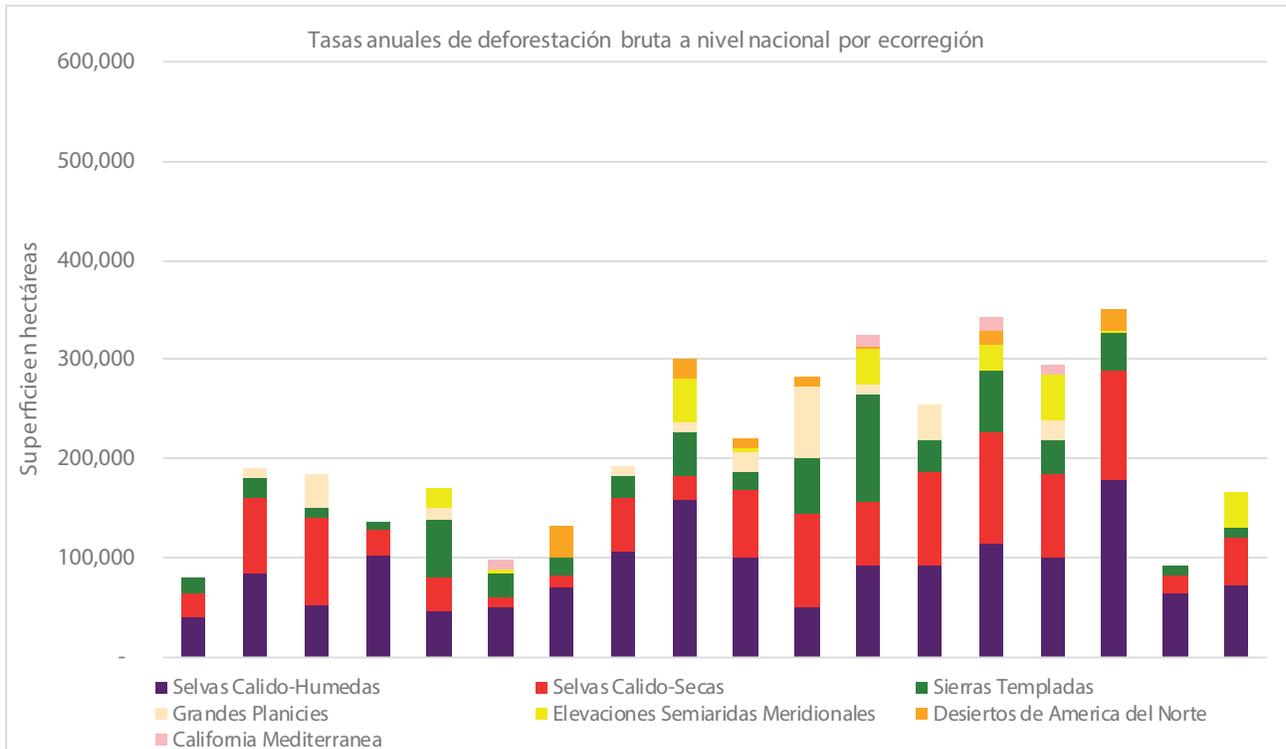
Las magnitudes y tendencias de la deforestación varían por cada ecorregión como se muestra en la siguiente serie de gráficas. En términos de la magnitud, la ecorregión Selvas Cálido -Húmedas es la que más contribuye a la tasa de deforestación nacional, con algunos valores anuales que superan las 110,000 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 2011-2018, a nivel nacional y agregadas por ecorregión.

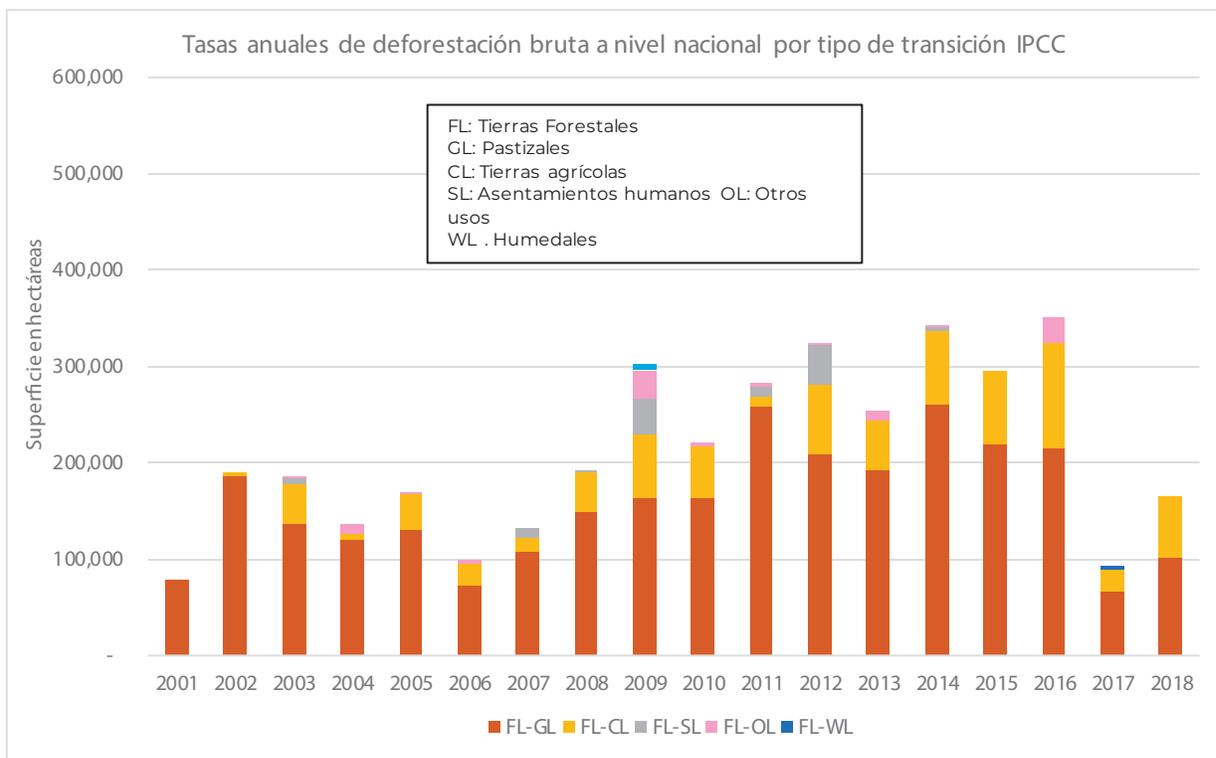
## 6.2. Resultados portipo de transición

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.

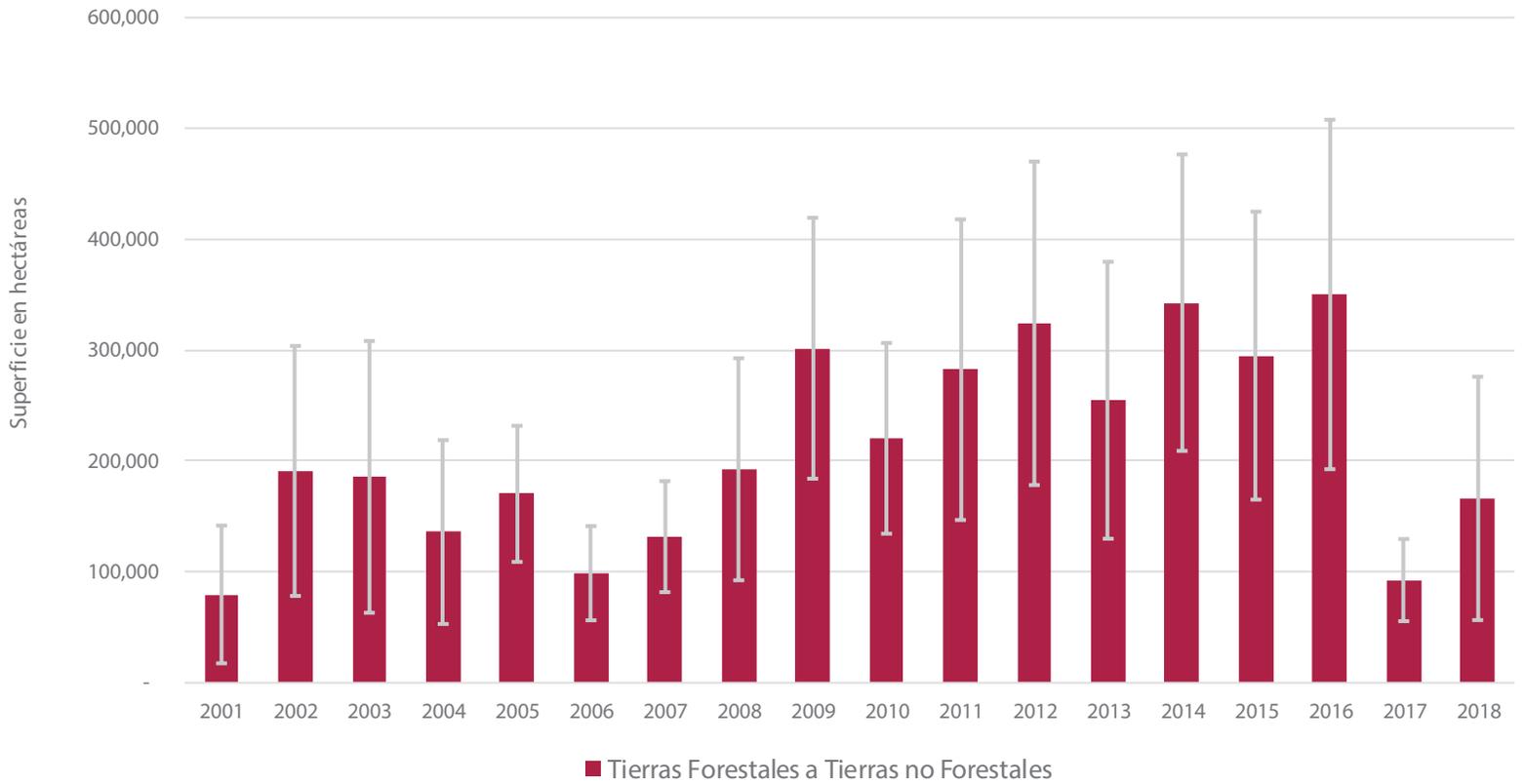
El valor mínimo de deforestación ocurrió en el año 2001 ( 79,672 ha) y el máximo en 2016 (350,298 ha). El comportamiento de la deforestación bruta muestra una tendencia general creciente desde 2001 hasta 2016, con el máximo en el último año del periodo. Después de 2016, se observa una tendencia decreciente.

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

|                        | 2001    | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Superficie (ha)</b> | 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    |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Superficie (ha)</b> | 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  |

Superficie anual de deforestación bruta en el periodo 2000- 2018



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

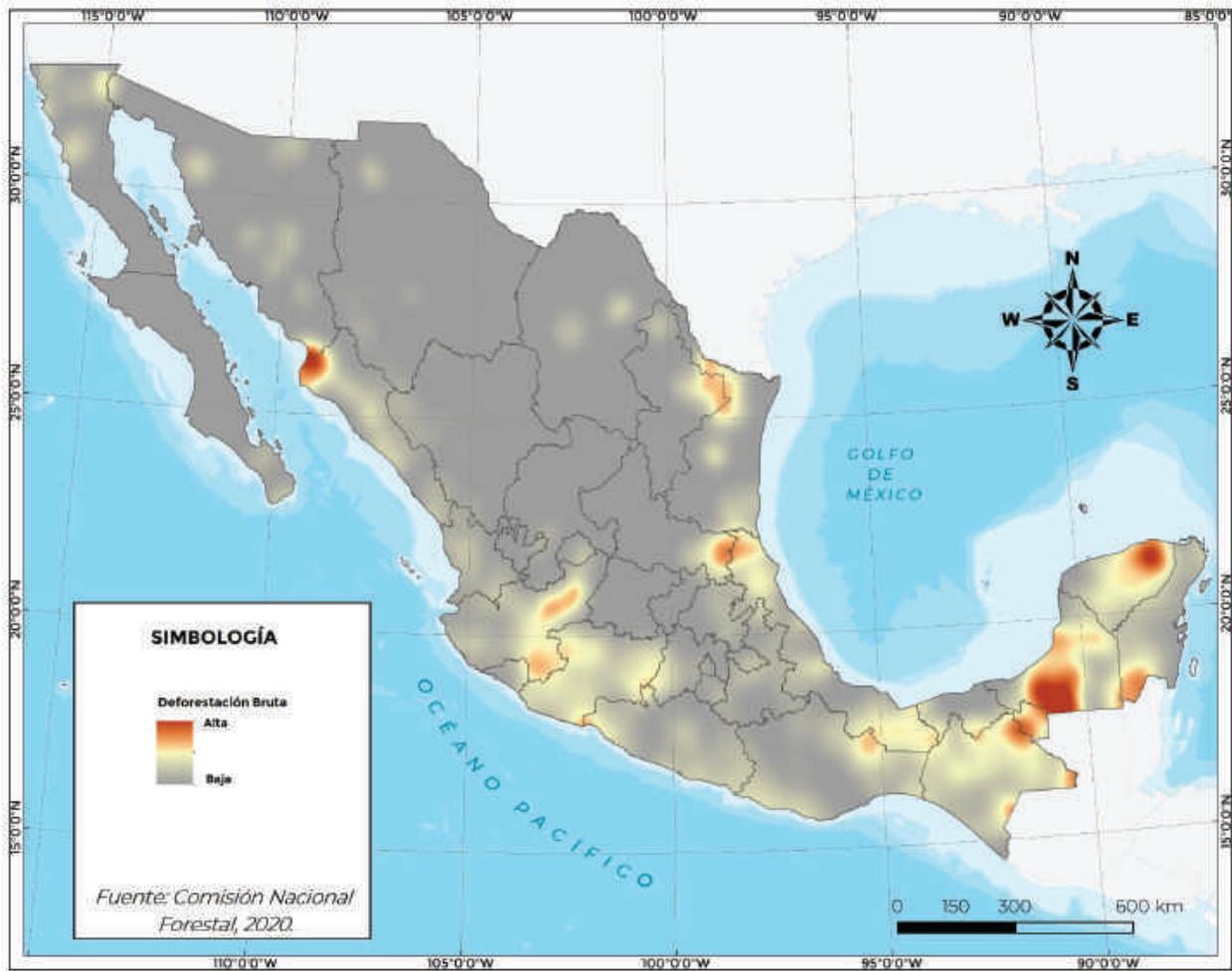
En la figura 11 se muestra un mapa con la distribución espacial de las parcelas en las que se identificó deforestación bruta durante el periodo de análisis. Asimismo, fue posible identificar otro tipo de condiciones tales como degradación, recuperación o permanencias.

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 intensidad 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. Las parcelas de deforestación indican 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, Guerrero y el norte de Veracruz y San Luis Potosí, presentan una dinámica importante de deforestación bruta en el período 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**

### **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.

La intensificación de la malla de 5x5 km pasó a una equidistancia de 2.5x2.5 km, la malla de 10x10 km se intensificó a 5x5 km y la malla de 20x20 km se intensificó a 10x10 km.

### **7.2. Relación con el enfoque wall-to-wall 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 dentro 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 se espera que el próximo año se reporten a nivel nacional tasas de degradación forestal.

## 8. REFERENCIAS

- 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., Murdiyarto, 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*. Distr.: General. Framework Convention on Climate Change. 25 November 2015.

Velázquez, A., Mas, J., Diaz 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

**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 tri-anual (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 tri-anual (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 tri-anual (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 tri-anual (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 tri-anual (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 tri-anual (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.

|                           | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Superficie tri-anual (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     |
|                           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                           | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> |
| Superficie tri-anual (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     | -           | -           | -           |

**Cuadro15.** 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 tri-anual (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 tri-anual (ha) | 81,793  | 81,793  | 81,793  | 102,473 | 102,473 | 102,473 | 105,004 | 105,004 | 105,004 |
| Incertidumbre (%)         | 35      | 35      | 35      | 33      | 33      | 33      | 40      | 40      | 40      |
| Límite superior           | 110,211 | 110,211 | 110,211 | 136,552 | 136,552 | 136,552 | 147,010 | 147,010 | 147,010 |
| Límite inferior           | 53,375  | 53,375  | 53,375  | 68,394  | 68,394  | 68,394  | 62,997  | 62,997  | 62,997  |

**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 tri-anual (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 tri-anual (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.

|                           | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Superficie tri-anual (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      |
|                           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                           | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> |
| Superficie tri-anual (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 18** 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 | 79,672 | 191,071 | 185,741 | 135,953 | 170,421 | 98,853 | 131,822 | 192,631 | 301,792 |

| 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 |