



**MEDIO AMBIENTE**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**CONAFOR**

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

# NOTA TÉCNICA

Enfoques metodológicos del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de la CONAFOR para la estimación de la tasa de deforestación en México: Alcances, diferencias y similitudes



## **Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)**

Febrero de 2021

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)

### ELABORACIÓN

- Gerencia de Sistema de Monitoreo Forestal (GSNMF)
- Unidad Técnica Especializada en Monitoreo, Reporte y Verificación (UTEMRV)

*Coordinación General de Planeación e Información*



# ÍNDICE

## **I. Contexto..... 1**

## **II. Alcances y características principales..... 3**

## **III. Diferencias y similitudes... 4**

3.1 Estimación de las tasas de deforestación

3.2 Identificación de las causas de deforestación

## **IV. Áreas de mejora y siguientes pasos..... 10**

# I. CONTEXTO



La deforestación se entiende como el cambio permanente de ecosistemas forestales a otros usos de la tierra originado por actividades humanas (agricultura, ganadería, asentamientos) o por causas naturales (incendios forestales, huracanes).

Existen distintos insumos y métodos para mapear y detectar cambios en la cobertura forestal. Comúnmente, estos se apoyan en la utilización de algoritmos de clasificación semi-automatizados que, a partir del uso de imágenes de satélite, detectan cambios de cobertura en un periodo determinado. Sin embargo, los diversos métodos pueden arrojar resultados distintos, por lo cual, es necesario considerar la estimación de parámetros que permitan analizar la exactitud de la información que brinda un mapa. Para realizar una estimación más exacta de la deforestación en México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha desarrollado el Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF), que es uno de los tres componentes que conforman el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), junto con el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) y el Sistema de Monitoreo Reporte y Verificación (SMRV).

Particularmente, el SAMOF está diseñado para generar información geoespacial de la cobertura del suelo y del cambio en la cobertura del suelo para la estimación de las tasas de deforestación y degradación de conformidad con lo estipulado en el artículo 34 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

El sistema SAMOF cuenta con dos enfoques metodológicos para estimar las tasas de deforestación a nivel nacional y estatal.

Por un lado, se encuentra el enfoque de espacialmente explícito, también conocido como “pared a pared”, con el cual han sido elaborados mapas de coberturas y mapas de cambios de coberturas del suelo para los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán. Por otra parte, se cuenta con el enfoque de muestreo, mediante el cual se han estimado las tasas de deforestación a nivel nacional y estatal para los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo, Oaxaca y Yucatán. Cabe señalar que, conforme a las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero, relativas a la agricultura,



silvicultura y otros usos de la tierra de 2006<sup>1</sup>, ambos enfoques son válidos para determinar los cambios en la cobertura terrestre. La CONAFOR está desarrollando e implementando ambos enfoques del SAMOF de manera simultánea, en virtud de las ventajas operativas y técnicas que cada uno ofrece.

Por ejemplo, mediante el enfoque de muestreo es posible obtener tasas de deforestación tabulares espacialmente referidas con altos niveles de precisión, a nivel nacional, regional y, en algunos casos, a nivel estatal, en un menor tiempo y a un menor costo.

Por otro lado, mediante el enfoque “pared a pared”, es posible identificar, de manera espacialmente explícita, las áreas deforestadas y su dinámica temporal. Sin embargo, este último enfoque requiere una importante inversión de tiempo y de recursos humanos y financieros.

Debido a que la implementación de ambos enfoques del SAMOF ha sido reciente (a partir de 2019 a la fecha) y que sus productos se han venido desarrollando en forma paralela, la CONAFOR está avanzando en la integración y homologación de los productos generados.

Por tal razón, en este documento se exponen los alcances, diferencias y similitudes sobre la información generada hasta el momento para estimar las tasas de deforestación.

<sup>1</sup> Capítulo 3. Representación coherente de las tierras. Disponible en: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_03\\_Ch3\\_Representation.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf)

## II. ALCANCES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES



En el cuadro 1 se describen alcances y productos de cada enfoque, así como sus principales características.

**Cuadro 1.** Principales características de los enfoques metodológicos del sistema SAMOF.

Enfoque	Alcances	Productos	Características del método
<b>Pared a pared</b> (especialmente explícito)	Estimación de áreas forestales, áreas no forestales, cambios de cobertura y deforestación, a partir del uso de mapas y parcelas de muestreo.	Mapas de cobertura, mapas de cambios de cobertura del suelo y datos de deforestación	Se emplean imágenes de satélite de mediana resolución, técnicas de percepción remota y cartografía.
<b>Muestreo</b>	Estimación de tasas de deforestación a partir de la evaluación de parcelas de muestreo, ubicadas conforme al diseño de muestreo del INFyS.	Datos tabulares de deforestación a nivel nacional, regional y, en algunos casos, estatal; identificación espacial de áreas críticas de deforestación (hotspots).	Método estadístico para inferir por medio de proporciones, las áreas de cambio.



### III. DIFERENCIAS Y SIMILITUDES



## 3.1 Estimación de las tasas de deforestación

Para ejemplificar diferencias y similitudes, en el cuadro 2 se muestra el proceso general utilizado en cada enfoque del Sistema SAMOF para la estimación de las tasas de deforestación.

**Cuadro 2.** Proceso simplificado de estimación de deforestación bajo los enfoques del sistema SAMOF.

Enfoque pared a pared (espacialmente explícito)	Enfoque de muestreo
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Elaboración de Mapas de Cambio de Coberturas (MCC) del suelo para los periodos 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016 y 2016-2018.<ol style="list-style-type: none"><li>i. Gestión de imágenes satelitales</li><li>ii. Control de calidad de imágenes satelitales y áreas de entrenamiento</li><li>iii. Procesamiento de imágenes satelitales (generación automatizada del MCC)</li><li>iv. Post-procesamiento del (MCC)</li><li>v. Integración, edición y publicación de los MCC</li></ol></li><li>2. Estimación de áreas de cambio de coberturas insesgadas y sus incertidumbres<ol style="list-style-type: none"><li>i. Diseño de una muestra</li><li>ii. Foto-interpretación manual de muestras</li><li>iii. Elaboración de matrices de error</li><li>iv. Cálculo de áreas de cambios de coberturas insesgadas y sus incertidumbres</li></ol></li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Diseño de muestreo (sistemático)</li><li>2. Diseño de la parcela</li><li>3. Establecimiento de definiciones y criterios de interpretación</li><li>4. Diseño de un cuestionario</li><li>5. Interpretación de imágenes satelitales de muy alta, alta y mediana resolución sobre las parcelas de muestreo</li><li>6. Captura y almacenamiento en base de datos de la información colectada en el proceso de foto-interpretación.</li><li>7. Implementación de controles de calidad a la información contenida en las bases de datos</li><li>8. Análisis estadístico de la información de la malla de muestreo para la estimación de áreas de cambio de coberturas y usos del suelo; así como de sus incertidumbres.</li></ol>

Evidentemente, la principal diferencia entre ambos enfoques metodológicos son los insumos requeridos y la forma en que son utilizados; mientras que en el enfoque “pared a pared” las coberturas y cambios son identificados pixel a pixel con el apoyo de algoritmos de análisis semi-automatizados de imágenes de satélite, en el enfoque de muestreo, los cambios de cobertura son identificados a través de la interpretación visual (fotointerpretación) de cada punto de muestreo que realiza un especialista con experiencia en clasificación del uso del suelo y vegetación (figuras 1a y 1b).



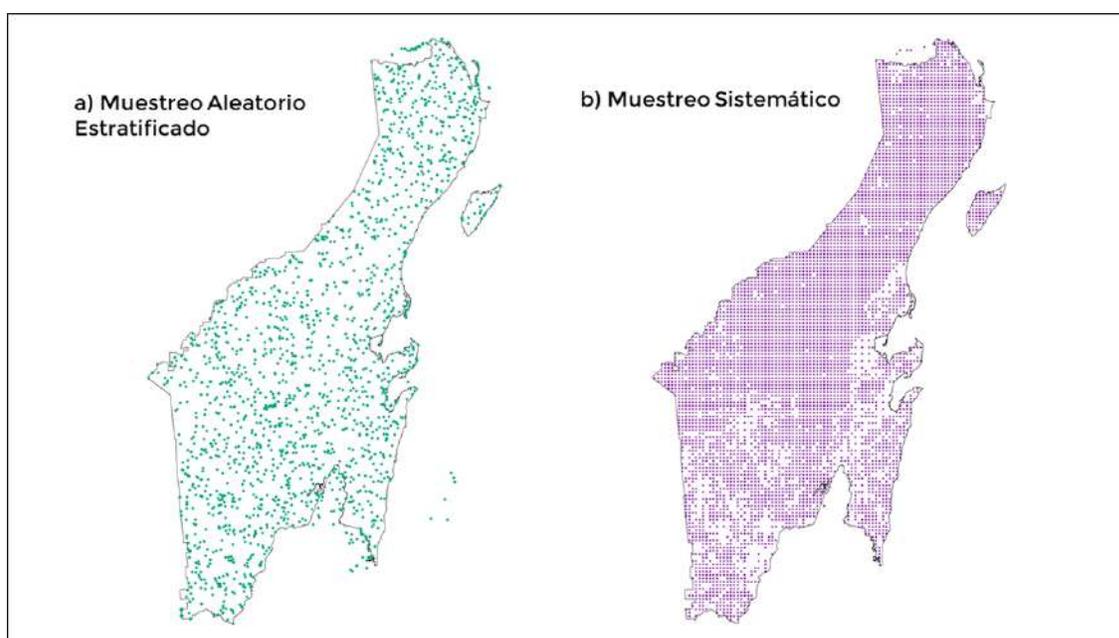
**Figura 1a.** Detalle de detección de coberturas del suelo píxel a píxel mediante el enfoque “pared a pared” del SAMOF.



**Figura 1b.** Parcelas de análisis del enfoque de muestreo en donde se identifican distintos tipos de coberturas del suelo..



Como puede observarse en el cuadro 2, en ambos enfoques metodológicos es necesario el uso de una muestra para estimar tanto las tasas de cambio de coberturas, así como sus incertidumbres, donde la principal diferencia entre ambos enfoques es el tipo de muestra empleada para estimar las tasas de deforestación. Por un lado, en el enfoque “pared a pared” se utilizan los MCC como criterio de estratificación de las parcelas de muestreo, bajo un diseño de muestreo aleatorio estratificado; en comparación, en el enfoque de “muestreo” se utiliza un diseño de muestreo sistemático (ver figura 2).

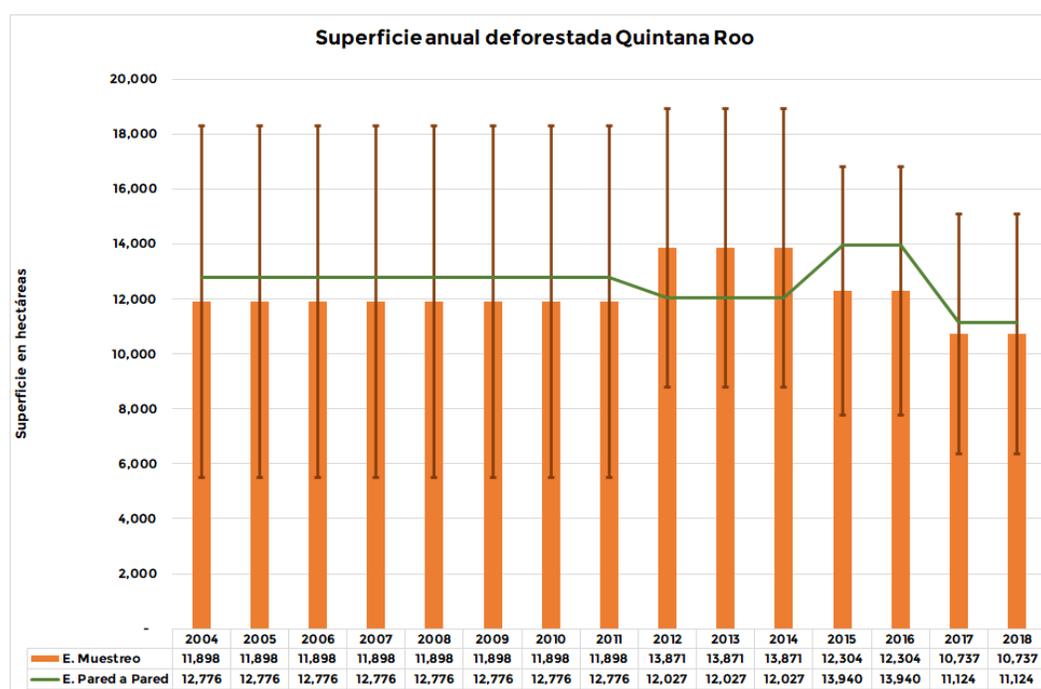


**Figura 2.** Diseños de muestreo en los enfoques pared a pared (a) y de muestreo (b).

En virtud de que en ambos enfoques la estimación final de las tasas de cambio de coberturas (o usos del suelo) se basan en datos de muestreo (uno empleando los MCC para estratificar y otro sin el uso de los MCC), teóricamente, se esperaría que ambas estimaciones sean similares y que los intervalos de confianza de los estimadores de las tasas de cambio de cada método se encuentren dentro de los intervalos de confianza de cada estimación.



Para el caso particular del estado de Quintana Roo, ha sido posible estimar las tasas de deforestación para el periodo 2003-2018 empleando ambos enfoques, los cuales se muestran en la figura 3.



**Figura 3.** Comparación de las estimaciones de la deforestación en el estado de Quintana Roo, empleando los dos enfoques metodológicos del sistema SAMOF.

En esta figura, se observa que las estimaciones son muy similares en magnitud y tendencia, y que las diferencias entre ambas estimaciones se encuentran dentro de sus respectivos intervalos de confianza, por lo que no se consideran estadísticamente diferentes. En este sentido, considerando el tipo de insumos utilizados y las diferencias metodológicas de ambos enfoques, sus resultados son correctos desde un punto de vista estadístico.



## ¿Enfoque Pared a pared o muestreo?

Hasta aquí surge la pregunta ¿cuál es la información que debería utilizar? Y la respuesta es: depende del uso que se le quiera dar a la información. Los resultados de la implementación del enfoque espacialmente explícito (pared a pared) son útiles cuando se requiere hacer un análisis más preciso de las causas e impulsores de la deforestación, especialmente a escalas de menor extensión territorial (municipios, predios, etc.), mientras que el enfoque de muestreo es útil para hacer estimaciones históricas en extensiones mayores (estatal, regional y nacional); asimismo, es conveniente analizar el tipo de insumos con los que se cuenta y los recursos humanos y financieros disponibles.

Los resultados del enfoque espacialmente explícito dependen, en gran medida, de la calidad de los insumos, en este caso, la resolución espacial (tamaño de píxel) y temporal (antigüedad y disponibilidad) de las imágenes de satélite; así como de la calidad del post-procesamiento del MCC.

Afortunadamente, como se ha mencionado anteriormente, los enfoques no son mutuamente excluyentes y pueden ser aplicados para mejorar la estimación de la deforestación.





## 3.2 Identificación de las causas de deforestación

Es preciso señalar que las escalas de análisis de ambos enfoques son diferentes; mientras que en el enfoque de muestreo se utilizan imágenes de muy alta y alta resolución para identificar los cambios de coberturas de cada parcela de muestreo, en el enfoque pared a pared se utilizan imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat) para la detección semi-automatizada de los cambios de coberturas. El uso de imágenes de mayor resolución en el enfoque de muestreo permite realizar un análisis de fotointerpretación más detallado a nivel de coberturas y uso del suelo, lo que permite identificar con mayor facilidad los usos del suelo complejos de interpretar como es el caso de las “praderas” y “agricultura de temporal”, por ejemplo. En comparación, el uso de imágenes de menor resolución (como es el caso de Landsat) en el enfoque pared a pared, dificulta la interpretación de las clases complejas (figura 4). Tomando en cuenta los alcances de los insumos y metodologías que se utilizan en cada enfoque del sistema SAMOF, es natural que existan diferencias en el resultado de las interpretaciones de las conversiones de las tierras forestales, en particular cuando estas conversiones suceden hacia clases complejas como “praderas” y “agricultura de temporal”.



**Figura 4.** Identificación de clases de uso del suelo y vegetación en los enfoques pared a pared (a) y de muestreo (b).

## IV. ÁREAS DE MEJORA Y SIGUIENTES PASOS



En virtud de que ambos enfoques del Sistema SAMOF están en una etapa inicial de implementación y, que ambos han sido desarrollados de manera paralela, aún es necesario avanzar hacia una homologación completa de los insumos, procesos y criterios de interpretación utilizados en los enfoques del Sistema SAMOF.

Estas áreas de mejora permitirán avanzar en la consolidación de un enfoque de estimación de las tasas de deforestación (y sus causas directas) en el que se usen de manera complementaria los MCC y los datos del muestreo sistemático, para implementar, en el futuro próximo, un enfoque mixto para la estimación de la deforestación que, técnicamente, sería aún más robusto.

Por último, se exponen en el Cuadro 3 algunas de las ventajas y limitaciones de cada enfoque.

**Cuadro 3.** Ventajas y limitaciones de los enfoques metodológicos del SAMOF.

Enfoque	Ventajas	Limitaciones
<b>Pared a Pared</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identifica la localización y superficie específica de las áreas deforestadas.</li> <li>✓ Es posible identificar hasta 34 clases de coberturas del suelo y tipos de vegetación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>× Tiempo elevado en la producción de los MCC.</li> <li>× Al emplear imágenes de mediana resolución, se vuelve complejo diferenciar clases como praderas o agricultura de temporal.</li> </ul>
<b>Muestreo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identifica en poco tiempo las parcelas deforestadas.</li> <li>✓ Contar en corto tiempo con datos de deforestación a nivel estatal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>× No permite identificar la superficie ni localización de los terrenos deforestados.</li> <li>× Solo se emplean categorías generales del uso de la tierra para realizar el análisis de las parcelas y principales transiciones (Tierra Forestal, Tierra Agrícola, Praderas, Asentamientos Humanos, Humedales y Otros Usos)</li> </ul>



## DESCARGA DATOS E INFORMACIÓN

- Resultados y productos del enfoque pared a pared:  
<https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/samof>
- Resultados y productos del enfoque de muestreo:  
[https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/defo\\_samof](https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/defo_samof)



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**CONAFOR**  
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL