

# Metadato del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán

## Período 2016-2020, versión 1

### 1. Introducción

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) busca fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos. Para lograr estos compromisos se deben implementar instrumentos de política forestal adecuados. En el **Artículo 34** de la LGDFS indica que el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal es un instrumento de la política nacional en materia forestal y el **Artículo 4 transitorio** de la LGDFS mandata a la CONAFOR a diseñar e implementará el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF).

Uno de los componentes del SNMF es el **Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF)** el cual está diseñado para generar información geoespacial de la cobertura del suelo y de cambio en la cobertura del suelo.

En este contexto, el Sistema SAMOF tiene como objetivo generar información espacialmente explícita con mayor resolución espacial y temporal de la dinámica de la cobertura forestal del país en apoyo a las actividades sustantivas a cargo de la institución.

### 2. Enfoque del sistema SAMOF

La estrategia en el desarrollo de los productos de SAMOF consistió en el desarrollo de un Mapa de Cobertura del Suelo (MCS) de muy alta calidad con una resolución temática de 36 clases y una Unidad Mínima Mapeable de 1 ha, una escala de representación 1:75,000, elaborado con imágenes del sensor OLI de Landsat 8 tomadas durante el año 2016 y con una precisión o exactitud temática mayor a 80% a nivel de las 37 clases y de 90% a nivel de las clases para reporte ante el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Se genera un mapa base o de referencia al año base 2016 (MCS 2016) en el cual se han validado los segmentos generados en el procesamiento de las imágenes Landsat 8 adquiridas para ese año.

Este MCS 2016 es la referencia sobre la que se adicionaron o sustrajeron las capas de cambios de cambios obtenidas en los Mapas de Cambio de Cobertura de Suelo (MCCS) para actualizar los MCS previos y posteriores al año 2016 (ver Figura 2). Los mapas de cambio de cobertura del suelo (MCCS) se generan

comparando imágenes satelitales indicando los objetos que tienen un comportamiento radiométrico diferente en el período analizado los cuales se marcan como cambios potenciales. Estos polígonos se validan y se asigna una dirección de cambio. De esta manera se logra reconstruir un mapa de cobertura del suelo para períodos previos al 2016 o se actualizan los MCS para años subsecuentes al 2016. Por ejemplo, al mapa base del año 2016 se suman los polígonos de cambio de cobertura detectados en el período 2014-2016 generando una reconstrucción del mapa de cobertura del suelo al año 2014.

Los períodos de cambio de cobertura fueron definidos con base a la disponibilidad de imágenes Landsat 5, 7 y 8 en términos de completitud y coherencia; así como con base a los requerimientos mínimos para la elaboración de los niveles de referencia sub-nacionales y nacional. Los periodos elegidos para la elaboración de los MCCA fueron 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016 y 2016-2020.

**3. Descripción y características técnicas del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020, versión 1**

A continuación, se detallan los aspectos técnicos relacionados al Mapa de Cambio de Cobertura del suelo para el período 2016-2020 del Estado de Yucatán publicada en Julio 2024. Se presenta información general del mapa en el cuadro 1, información de la tabla de atributos en el cuadro 2 e información técnica del alcance del producto en el cuadro 3.

**Cuadro 1.** Información general del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020

Requerimientos	Detalle
Título	<i>Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020, versión 1</i>
Autor del metadato	<i>Gerencia Técnica del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (GTSMRV) y la Gerencia del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (GSNMF) – Responsable de Datos de Actividad</i>
Nombre de la organización	<i>COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR)</i>
Resumen/Descripción:	<i>Conjunto de datos espaciales de localización de los cambios en la cobertura del suelo para el período 2016-2020 del Estado de Yucatán, versión 1</i>
Propósito	<i>Planeación y gestión de recursos del gobierno del Estado de Yucatán. Inventarios de recursos forestales a nivel estatal. Uso interno del Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible</i>

Palabras clave	<i>Inventario forestal, monitoreo forestal, cobertura de suelo, GEI, IIEEGYCEI, IRE, SAMOF, MADMEX, Mapas de Yucatán, Datos de Actividad de Yucatán</i>
Idioma	<i>Español</i>
Declaración de calidad de datos	<i>Reporte de exactitud temática: 96.00% con un Muestreo Aleatorio Estratificado de 733 muestras a nivel de 6 clases Compleitud 100% Posicionamiento y Geometría <math>\pm 30m</math>.</i>
Restricciones de acceso	<i>Público</i>
Otras restricciones	<i>NO</i>
Versión	<i>1</i>
Fecha de publicación	<i>16 JUN2023/15 de julio 2024</i>
Frecuencia de actualización	<i>Cada 2 años</i>
Información adicional	<i>Otras organizaciones de apoyo que intervinieron en la realización del mapa de Cobertura 2016: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Embajada de Reino Unido a través del Proyecto de Alianza para Transiciones Climáticas Aceleradas (UK PACT), el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS) y Gobierno del Estado de Yucatán.</i>
<i>Forma de citar</i>	<i>Comisión Nacional Forestal, Julio 2024, Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020 , versión 1 México.</i>

**Cuadro 2.** Estructura de la tabla de atributos del *Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020 , versión 1*

Campos creados en la integración del Mapa de Cambio de Cobertura del suelo para el período 2016-2020 , versión 1.

ID	Nombre de la Columna	Característica	Descripción
1	FID	Object ID	Identificador del objeto
2	SHAPE	Geometría	Tipo de forma representada polígonos
3	ID	Numérico, entero doble	Identificador único de cada registro
4	AREAm2	Numérico, doble	Valor de la superficie de cada polígono [m2]
5	SAMOF TL_T2	Texto, 12 caracteres	Concatenación de la clase de cobertura del suelo a nivel de clase SAMOF del tiempo

			T1=2016 y del tiempo T2=2020 separado por “ – “
6	IPCCTI_T2	Texto, 12 caracteres	Concatenación de la clase de cobertura del suelo a nivel de clase IPCC del tiempo T1=2016 y del tiempo T2=2020 separado por “ – “
7*	ID_CAMBIO	Numérico, entero corto	Categoría numérica de la clase de cambio de la cobertura entre 2016-2020
8	CVE_CAMBIO	Texto, 15 caracteres	Clave textual abreviada de la clase de cambio de cobertura del suelo entre 2016-2020
9	DESC_CAMBIO	Texto, 80 caracteres	Descripción de la clase de cambio de la cobertura del suelo a nivel de IPCC

\*Use éste campo para desplegar la leyenda “CC2016-2020\_MX\_YUC.lyr”

**Cuadro 3.** Características técnicas del *Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para los períodos 2016-2020 , versión 1*

Características Técnicas	
Tipo de datos	Vectorial
Formato	Shapefile
Nombre del archivo	CC2016_2020v1_MX_YUC.shp
Número de registros	102241
Volumen de información y fecha de archivo	17.6 Mb comprimida en formato zip el 13 de agosto de 2024
Proyección cartográfica*	Descarga: Cónica Conforme de Lambert (EPSG:6372)
Parámetros	meridiano central: -102°
	paralelo estándar 1: 17.5°
	paralelo estándar 2: 29.5°
	latitud de origen: 12°
	falso norte: 0 m
	falso este: 2'500,000 m
Sistema Geodésico de Referencia	D_WGS_1984

Unidad Mínima Mapeable	1 ha
Escala	1: 75,000
Resolución temática	26 clases
Unidades del mapa	1.0 m
Extensión	<p>Extensión en Cónica Conforme de Lambert (EPSG:6372) [metros]</p> <p>Superior: 1227157.633700 m</p> <p>Izquierdo: 3500663.349700 m</p> <p>Derecho: 3994856.690400 m</p> <p>Inferior: 897964.873800 m</p> <p>Extensión en grados decimales en coordenadas geográficas</p> <p>Oeste: -92.411832°</p> <p>Este: -87.382932°</p> <p>Norte: 22.760975°</p> <p>Sur: 19.408462°</p>
Superficie reportada	3´942,646.6 ha de acuerdo con el Marco Geoestadístico Nacional 2016 (MGN2016) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Insumos	<p>1. Compuestos sintéticos geomedianas para los años 2000, 2003, 2011, 2014, 2016, y 2020) derivadas del promedio de la Serie de tiempo de imágenes Landsat 5, 7 y 8 adquiridas en los respectivos</p> <p>2. Áreas de entrenamiento derivadas del Mapa de referencia 2015 derivado de Rapid Eye (CONABIO, SEMARNAT, 2015),</p> <p>3. Continuo de elevación de V1.0 (INEGI)</p> <p>4. Índice de cubrimiento Landsat descendente</p> <p>5. Marco Geoestadístico (INEGI, 2016)</p> <p>6. Serie VI de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, (INEGI, 2014)</p>

	<p>7. Frontera agrícola (Serie II, SIAP)</p> <p>8. Inventario de Manglares de (CONABIO,2016)</p> <p>9. Plantaciones Forestales Comerciales, (CONAFOR, 2018)</p> <p>10. Continuo de Carta topográfica digital 1: 50,000 (INEGI)</p> <p>11. Continuo de carreteras (SCT)</p> <p>12. Mapas de Densidad de Cobertura de árboles de la GFW desarrollados por el equipo de prof. Hansen de la Universidad de Maryland, USGS/NASA/Google/UMD</p>
Procesamiento	<p>Generación de compuesto para los años 2000, 2003, 2011, 2014, 2016, y 2020 (Geomedia) Basado en las imágenes Landsat 8 adquiridas durante cada año.</p> <p>Generación del Mapa base 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Segmentación de la Geomedia basada en el segmentador de Berkeley</li> <li>• Clasificación supervisada basada en árboles de decisión con See5</li> <li>• Integración, segmentación y clasificación</li> <li>• Re-proyección a Cónica Conforme de Lambert</li> <li>• Mosaico de los "tile_id" de Landsat</li> <li>• Proceso de eliminación de superficies menores a 1 ha</li> <li>• Post procesamiento del mapa de referencia o mapa base 2016</li> </ul> <p>Generación de Mapas de cambio de cobertura del suelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de cambios de cobertura del suelo entre los períodos 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016, 2016-2020. Usando el algoritmo IMAD-IMAF y comparando las Geomedianas de cada período, estimación de Los 7 Componentes principales para expresar el universo radiométrico en un espacio cartesiano usando el algoritmo "Multivariate Alteration Detection transformation" (IMAD) y generación de un modelo de regresión usando el algoritmo "Maximum Autocorrelation Factor transformation" (IMAF)</li> <li>• Interpretación y validación visual de polígonos de cambio de cobertura e interpretación de dirección de cambio</li> <li>• Cálculo de la exactitud temática basado en la metodología del Dr. Pontus Olofsson et al. 2014. "Good Practices for Estimating Area and Assessing Accuracy of Land Change." A un nivel de Tierras Forestales y Tierras No Forestales (FL y NFL)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de obtener la ET de los cambios de cobertura del suelo se comienza un proceso de preparación de la información para su publicación.</li> </ul> <p>Integración de Mapas de Cambio de cobertura del suelo al Mapa de referencia o mapa al año base 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El Post procesamiento manual de los mapas de cambio de cobertura del suelo 20014-2016 que permitió generar un mapa de cobertura del suelo 2014 integrando los polígonos de cambio interpretados al mapa de cobertura del suelo al año base 2016.</li> <li>Al Mapa de cobertura del suelo 2014 generado se le integraron los polígonos de cambio de cobertura del suelo 2011-2014 que permitió generar un mapa de cobertura del suelo 2011.</li> <li>A éste mapa de cobertura del suelo del año 2011 se le sumaron los polígonos de cambio de cobertura del suelo detectados entre 2003 – 2011 generando un mapa de cobertura del suelo 2003.</li> <li>Los polígonos de cambio de cobertura del suelo detectados para el período 2000-2003 se unieron al mapa de cobertura 2003 para generar un mapa de cobertura del suelo 2000</li> <li>A este proceso se integraron los cambios de cobertura del suelo detectados entre el período 2016-2020 generando un mapa de cobertura del suelo 2020 y un archivo integrado 2000-2020.</li> </ul> <p>Al archivo integrado 2000-2020 se revisó su consistencia temporal o diacronía. Se generó el mapa de cambio de cobertura del suelo 2016-2020 , versión 1.</p>
Validación del producto	<p>Ing. Carmen Lourdes Meneses Tovar</p> <p>Responsable de datos de actividad de la GTSMRV</p>

**Cuadro 4.** Leyenda del *Mapa de Cobertura del Suelo*

ID_SAMOF	DESC_SAMOF	ID_IPCC	CVE_IPCC	DESC_IPCC
0	0. No Aplica	0	NA	0. No Aplica
1	1. Bosque de Coníferas de Altura (BA, BB y BS)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
2	2. Bosque de Coníferas (BP, BPQ, BJ y MJ)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
3	3. Bosque de Encino-Galería (BQ, BQP y BG)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
4	4. Chaparral (ML)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)

5	5. Mezquital y Matorral Submontano (MK, MKE y MSM)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
6	6. Bosque Cultivado e Inducido (BC y BI)	11	FL	11. Tierras Forestales, Antrópicas (Forest Land, FL)
7	7. Bosque Mesófilo y Selva Baja Perennifolia (BM y SBP)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
8	8. Selva Baja y Mediana Subperennifolia (SBQ, SBQP, SMQ, SG y VPN)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
9	9. Manglar y Petén (VM y PT)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
10	10. Selva Mediana y Alta Perennifolia (SAP y SMP)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
11	11. Selva Alta Subperennifolia (SAQ)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
12	12. Selva Baja Caducifolia Subcaducifolia (SBC, SBK, SBS, MST y VPI)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
13	13. Selva Mediana Caducifolia y Subcaducifolia (SMC y SMS)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
14	14. Mezquital Xerófilo y Vegetación Galería (MKX y VG)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
15	15. Matorral Crasicaule (MC)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
16	16. Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
17	17. Matorral Sarco-Crasicaule (MSCC)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
18	18. Matorral Sarcocaule (MSC)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
19	19. Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina (MSN)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
20	20. Matorral Rosetófilo Costero (MRC)	1	FL	1. Tierras Forestales (Forest Land, FL)
21	21. Matorral Desértico Micrófilo y Rosetófilo (MDM y MDR)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
22	22. Popal (VA)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
23	23. Tular (VT)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
24	24. Vegetación de Dunas Costeras (VU)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
25	25. Vegetación de Desiertos Arenosos (VD)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
26	26. Vegetación Halófila Hidrófila (VHH)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
27	27. Vegetación Halófila Xerófila y Gipsófila (VY y VH)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
28	28. Pastizales Naturales (PN, PY, PH, VW, VS y VSI)	3	GL	3. Praderas Naturales (Grass Land, GL)
29	29. Tierras Agrícolas Cultivos Anuales (T, R y H)	2	CL	2. Tierras Agrícolas (Crop Land, CL)
30	30. Urbano y Construido (ZU y AH)	5	SL	5. Asentamiento Humano (Settlement Land, SL)
31	31. Suelo Desnudo (ADV y DV)	6	OL	6. Otras Tierras (Other Land, OL)
32	32. Cuerpo de Agua Natural (H2O)	4	WL	4. Cuerpos de Agua (Wet Land, WL)
33	33. Cuerpo de Agua Antrópicos (H2O)	44	WL	44. Cuerpos de Agua, Antrópicos (Wet Land, WL)
190	190. Sistemas Agroforestales	11	FL	11. Tierras Forestales, Antrópicas (Forest Land, FL)
280	280. Pastizales Cultivados e Inducidos (PC y PI)	33	GL	33. Praderas Inducidas (Grass Land, GL)
290	290. Tierras Agrícolas Cultivos Perennes (T, R y H)	22	CL	22. Tierras Agrícolas, Cultivos Perennes (Crop Land Perennial, CL)

**Cuadro 5.** Leyenda del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo\*



ID_CAMBIO	CVE_CAMBIO	DESC_CAMBIO
1	1. FL - FL	1. Permanencia Tierras Forestales
2	2. FL - GL	2. Tierras Forestales hacia Praderas
3	3. FL - CL	3. Tierras Forestales hacia Tierras Agrícolas
4	4. FL - WL	4. Tierras Forestales hacia Cuerpos de Agua
5	5. FL - SL	5. Tierras Forestales hacia Asentamientos Humanos
6	6. FL - OL	6. Tierras Forestales hacia Otras Tierras
7	7. GL - FL	7. Praderas hacia Tierras Forestales
8	8. GL - GL	8. Permanencia de Praderas
9	9. GL - CL	9. Praderas hacia Tierras Agrícolas
10	10. GL - WL	10. Praderas hacia Cuerpos de Agua
11	11. GL - SL	11. Praderas hacia Asentamientos Humanos
12	12. GL - OL	12. Praderas hacia Otras Tierras
13	13. CL - FL	13. Tierras Agrícolas hacia Tierras Forestales
14	14. CL - GL	14. Tierras Agrícolas hacia Praderas
15	15. CL - CL	15. Permanencia de Tierras Agrícolas
16	16. CL - WL	16. Tierras Agrícolas hacia Cuerpos de Agua
17	17. CL - SL	17. Tierras Agrícolas hacia Asentamientos Humanos
18	18. CL - OL	18. Tierras Agrícolas hacia Otras Tierras
19	19. WL - FL	19. Cuerpos de Agua hacia Tierras Forestales
20	20. WL - GL	20. Cuerpos de Agua hacia Praderas
21	21. WL - CL	21. Cuerpos de Agua hacia Tierras Agrícolas
22	22. WL - WL	22. Permanencia de Cuerpos de Agua
23	23. WL - SL	23. Cuerpos de Agua hacia Asentamientos Humanos
24	24. WL - OL	24. Cuerpos de Agua hacia Otras Tierras
25	25. SL - FL	25. Asentamientos Humanos hacia Tierras Forestales
26	26. SL - GL	26. Asentamientos Humanos hacia Praderas
27	27. SL - CL	27. Asentamientos Humanos hacia Tierras Agrícolas
28	28. SL - WL	28. Asentamientos Humanos hacia Cuerpos de Agua
29	29. SL - SL	29. Permanencia de Asentamientos Humanos
30	30. SL - OL	30. Asentamientos Humanos hacia Otras Tierras
31	31. OL - FL	31. Otras Tierras hacia Tierras Forestales
32	32. OL - GL	32. Otras Tierras hacia Praderas
33	33. OL - CL	33. Otras Tierras hacia Tierras Agrícolas
34	34. OL - WL	34. Otras Tierras hacia Cuerpos de Agua
35	35. OL - SL	35. Otras Tierras hacia Asentamientos Humanos
36	36. OL - OL	36. Permanencia de Otras Tierras

#### 4. Exención de Responsabilidad

Los alcances de los algoritmos aplicados a las imágenes Landsat y las imágenes satelitales utilizadas en el post-procesamiento del mapa tienen limitaciones para separar adecuadamente la clase 6 (Bosque cultivado y Bosque inducido) del resto de la vegetación. Por lo tanto, la clase 6 representada en este mapa sólo incluye aquellos polígonos que mediante fotointerpretación se pudieron identificar, es decir no incluye todas las áreas de intervención de la CONAFOR o del Gobierno del Estado.

Para fines de facilitar las estimaciones de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GEI), las guías de buenas prácticas del IPCC de 2016 sugieren separar clases manejadas o antrópicas de las naturales, en este sentido, en la versión 1.4 del Mapa de Cobertura del Suelo se están sugiriendo nuevas clases en comparación con las versiones anteriores según se muestra en la tabla 3. Los casos son los siguientes:

1. Clase de Plantaciones forestales comerciales corresponden a la clase 6 de SAMOF y se asigna a la clase de IPCC 1 de Tierras Forestales en un nivel jerárquico superior sin embargo se puede desagregar por su valor 11 asignado a Tierras forestales cultivadas que lo separa de su condición natural. Las plantaciones de Hule se incluyen en ésta categoría. Se usa información de apoyo para su separación e interpretación visual de imágenes de alta resolución, Solo se muestran las que se lograron identificar en el post-procesamiento y puede no representar la totalidad de la clase
2. Clase 190 corresponde a la clase SAMOF de Sistemas Agroforestales. Esta clase ha generado mucha ambigüedad entre la frontera agrícola y la frontera forestal. Son sistemas de producción agrícola bajo la cubierta de comunidades forestales bien sea naturales o inducidas como por ejemplo el café, cacao, heliconias y eucalipto para adornos florales, leña y milpas para subsistencia, producción de setas entre otros; los cuales requieren la sombra de los árboles. En el caso de una clasificación de cobertura del suelo basada en imágenes de satélite estas zonas son clasificadas como forestales sin embargo en una clasificación del uso de suelo y vegetación aparecen como agrícolas y requieren validación de campo o el uso de cartografía de apoyo correspondiente a registros particulares de productores agrícolas de Cacao en el Estado. Para fines de cálculo de emisiones estas categorías se consideran en un nivel jerárquico superior como Tierras forestales (1) y en un nivel desagregado están como clase 12 las cuales fueron obtenidas con información de apoyo. Se usa información de apoyo para su separación e interpretación visual de imágenes de alta resolución, Solo se muestran las que se lograron identificar en el post-procesamiento y puede no representar la totalidad de la clase
3. Clase 280 corresponde a la clase SAMOF de Pastizales Cultivados o inducidos su origen antrópico obedece en su mayoría a la deforestación de zonas forestales para fines de ganadería extensiva, agricultura

abandonada, o bien para venta de predios o terrenos, o préstamos para construcción de terracerías o carreteras. Son diferentes a la condición de pastizales naturales en las cuales existen 9 categorías en la leyenda. A diferencia de los pastizales naturales, estas superficies pueden evolucionar a estados sucesionales de su Estado inicial dependiendo de la superficie afectada y de su resiliencia, es decir, estas clases pueden volver a la condición de clases de Tierras Forestales, mientras que la condición de pastizales naturales siempre permanecerá igual es fácil reconocerlos en interpretación visual por su permanencia en el tiempo para lo cual se usan imágenes históricas para su separación así como información de apoyo como la CUSVEG de INEGI serie VI. Para fines de cálculo de emisiones estas categorías se consideran en un nivel jerárquico superior como Pastizales (3) y en un nivel desagregado están como clase 33 Pastizales antrópicos las cuales fueron obtenidas con información de apoyo. Se usa información de apoyo para su separación e interpretación visual de imágenes de alta resolución, sólo se muestran las que se lograron identificar en el post-procesamiento y con el apoyo de la CUSyVEG de INEGI en su serie VI puede no representar la totalidad de la clase.

4. Clase 290 corresponde a la clase SAMOF de Tierras agrícolas de cultivos perennes bien sean en condición de humedal, de temporal o de riego. Para fines de cálculo de emisiones estas categorías se consideran en un nivel jerárquico superior como Tierra agrícola (2) sin embargo existe una diferencia importante que las separa un poco de la categoría general por su factor de emisión. Corresponde a cultivos de especies perennes como aguacate, mamey, mango, tamarindos, guamúchil, cítricos entre otros y se separan de los cultivos anuales o bianuales que son cosechados con frecuencia por su característica de ser almacenes de carbono. Se usa información de apoyo para su separación e interpretación visual de imágenes de alta resolución, sólo se muestran las que se lograron identificar en el post-procesamiento y con el apoyo de la CUSyVEG de INEGI en su serie VI puede no representar la totalidad de la clase.
5. La clase 33 que corresponde a cuerpos de agua de origen antrópico que son manejados para fines de producción acuícola, salinas, tratamiento de aguas servidas, energía o de almacenamiento de agua. Que los separa de los cuerpos de agua de condición natural. Para fines de cálculo de emisiones estas categorías se consideran en un nivel jerárquico superior como Humedal (4) y se puede separar de su clase como la categoría 44. Se usa información de apoyo para su separación e interpretación visual de imágenes de alta resolución, información de fechas de creación e inauguración de presas, así como la serie histórica de imágenes de satélite, e información de la CUSyVEG de INEGI en su serie VI puede no representar la totalidad de la clase.

**Cuadro 5.** Clases INEGI de Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI (CUSV-SVI) (tabla de referencia)

Clases INEGI	Descripción	Clases INEGI	Descripción
ACUI	Acuicola	PI	Pastizal inducido
ADV	Desprovisto de vegetación	PN	Pastizal natural
AH	Asentamientos humanos	PT	Vegetación de peten
BA	Bosque de oyamel	PY	Pastizal gipsófilo
BB	Bosque de cedro	R	Agricultura de riego
BC	Bosque cultivado	SAP	Selva alta perennifolia
BG	Bosque de galería	SAQ	Selva alta subperennifolia
BI	Bosque inducido	SBC	Selva baja caducifolia
BJ	Bosque de táscate	SBK	Selva baja espinosa caducifolia
BM	Bosque mesófilo de montaña	SBP	Selva baja perennifolia
BP	Bosque de pino	SBQ	Selva baja espinosa subperennifolia
BPQ	Bosque de pino-encino	SBQP	Selva baja subperennifolia
BQ	Bosque de encino	SBS	Selva baja subcaducifolia
BQP	Bosque de encino-pino	SG	Selva de galería
BS	Bosque de ayarín	SMC	Selva mediana caducifolia
DV	Sin vegetación aparente	SMP	Selva mediana perennifolia
H2O	Cuerpo de agua	SMQ	Selva mediana subperennifolia
H	Agricultura de humedad	SMS	Selva mediana subcaducifolia
MC	Matorral crasicaule	T	Agricultura de temporal
MDM	Matorral desértico micrófilo	VA	Popal
MDR	Matorral desértico rosetófilo	VD	Vegetación de desiertos arenosos
MET	Matorral espinoso tamaulipeco	VG	Vegetación de galería
MK	Bosque de mezquite	VH	Vegetación halófila xerófila
MKE	Mezquital tropical	VHH	Vegetación halófila hidrófila
MKX	Mezquital desértico	VM	Manglar
ML	Chaparral	VPI	Palmar inducido
MRC	Matorral rosetófilo costero	VPN	Palmar natural
MSC	Matorral sarcocaule	VS	Sabana
MSCC	Matorral sarco-crasicaule	VSI	Sabanoide
MSM	Matorral submontano	VT	Tular
MSN	Matorral sarco-crasicaule de neblina	VU	Vegetación de dunas costeras
MST	Matorral subtropical	VW	Pradera de alta montaña
PC	Pastizal cultivado	VY	Vegetación gipsófila
PH	Pastizal halófilo	ZU	Zona urbana

## 5. Evaluación de la Exactitud Temática

La evaluación de la exactitud temática del mapa de cambio de cobertura se implementó siguiendo la metodología propuesta por el Dr. Pontus Olofsson (2012). El método está basado en un diseño de respuesta con base en una muestra aleatoria estratificada (MAE), que se interpreta de forma independiente y se compara con el mapa o modelo a evaluar. El conteo de muestras que coinciden con el mapa evaluado y las que no coinciden permiten el llenado de una matriz de confusión o error (entre el mapa y las muestras) con la que se reporta la exactitud global, así como los errores de omisión y de comisión, del

usuario y del productor; y se integran estimadores estadísticos insesgados de las superficies (y sus incertidumbres) de las clases mapeadas.

Para evaluar la exactitud temática del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo de Yucatán para el período 2016-2020 se calculó el tamaño de muestra necesario para obtener puntos de referencia que permitieron obtener las estimaciones de los indicadores de precisión del mapa para 6 clases destinado a medir tasas de deforestación: 1. FL-FL, 2. FL-NFL, 3. NFL-NFL y 4. NFL-FL, 5. FL – FL ESTABLE Y 6. NFL – NFL ESTABLE. El tamaño de la muestra se estimó empleando un Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE) siguiendo la metodología desarrollada por Cochran (1977), con un nivel de confianza del 95% y un error permisible de la exactitud temática general del 2%. También se consideró que si la superficie del estrato fue mayor de 300,00 ha, el error de comisión a priori fue de 0.85 y si fue menor de la superficie indicada, se asignó a 0.6 con el fin de maximizar la variabilidad en los estratos pequeños. Por otro lado, la muestra se distribuyó entre los estratos siguiendo la asignación de Neyman y se aumentó hasta 50 muestras cuando el tamaño asignado con Neyman fue menor a 50. Con éstas premisas se obtuvo un tamaño de muestra de 733 polígonos evaluados.

Una vez interpretada la muestra o diseño de respuesta se cruza la información con el Mapa y se concilia la matriz de error y se procedió a estimar los indicadores de precisión del mapa siguiendo Olofsson (2000). En particular, con la información de la matriz de error, se estimaron los errores de omisión (user´s) y de comisión (producer´s) por cada clase representada para el mapa de cobertura (ver Cuadro 6). Donde los valores más cercanos a 1.0 representan mayor exactitud en el mapa.

## *RESULTADOS*

La Exactitud temática (ET) general del Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo 2016-2020 tiene una exactitud reportada de 96.00%.

Las superficies mapeadas se encuentran entre los umbrales de la estimación de áreas ajustadas considerando un nivel de confiabilidad de un 95% y un error de 0.2% en la mayoría de las clases representadas.

En general, los coeficientes mostrados en la matriz de error de omisión y comisión están muy cercanos a 1. En términos generales las precisiones de las permanencias están altas y en la clase “3. FL – NFL” lo que se marca en el mapa como un cambio es correcto sin embargo hay error de omisión, la clase de recuperación está muy débil, tanto el error de omisión como el de comisión son bajos por las dificultades que se tienen en su definición e interpretación.

Los resultados de la evaluación de la exactitud temática del mapa de cambio de cobertura del suelo del Estado de Yucatán al período 2016-2020 se muestran en el Cuadro 6. (Ver anexo ET)

**Cuadro 6.** Errores de omisión y comisión del *Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020.*

MATRIZ DE CONFUSION 2016 - 2020							
ESTRATO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	ni.
1. FL - FL	211	34	1	10			256
2. NFL - NFL	11	198					209
3. FL - NFL	2		49				51
4. NFL - FL	1	5		40			46
5. Estable FL					127		127
6. Estable NFL						44	44
n.j	225	237	50	50	127	44	733

Matriz de error de las proporciones de área estimada 2016 - 2020										
ESTRATO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	pi.	User's	Producer's	Oveall
1. FL - FL	0.1403	0.0226	0.0007	0.0067	0.0000	0.0000	0.1703	0.8242	0.9337	0.96003
2. NFL - NFL	0.0094	0.1699	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1794	0.9474	0.8822	
3. FL - NFL	0.0005	0.0000	0.0125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0131	0.9608	0.9496	
4. NFL - FL	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0007	0.8696	0.0868	
5. Estable FL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5486	0.0000	0.5486	1.0000	1.0000	
6. Estable NFL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0880	0.0880	1.0000	1.0000	
p.j	0.150297	0.192604	0.013203	0.007283	0.548615	0.087997	1.0000			
Estimadores	592567	759371	52056	28715	2162996	346942				

Las estimaciones de las áreas insesgadas se muestran en el Cuadro 7. Las filas que tienen un color naranja indican que las superficies mapeadas están fuera de los umbrales de estimación para un 95% de confianza y un error de 0.2% asumiendo una función de distribución de probabilidad (FDP). Las superficies resaltadas en color verde claro muestran que las superficies representadas en el mapa están dentro de los umbrales establecido en los límites superior e inferior con un nivel de confianza del 95% y un error de 0.2% asumiendo una FDP normal.

Según los umbrales de incertidumbre del 95% la superficie deforestada mapeada es de 51,451 ha para el período y la superficie insesgada corresponde a 52,056 ha, la superficie mapeada se encuentra dentro de los intervalos de confianza indicados con un umbral del 11%.

**Cuadro 7.** Estimación de áreas ajustadas y sus incertidumbres del *Mapa de Cambio de Cobertura del Suelo del Estado de Yucatán para el período 2016-2020.*

Clase	Área mapeada	Área Ajustada (A_ajust)	Desv Est del A_ajus	FDP	Ui del A_ajust	Limite superior	Limite inferior
1. FL - FL	671,265.41	592,566.6	19,439.1	Normal(0,1)	6%	630,667	554,466
2. NFL - NFL	707,123.56	759,370.7	17,983.3	Normal(0,1)	5%	794,618	724,123
3. FL - NFL	51,451.91	52,056.3	2,978.3	Normal(0,1)	11%	57,894	46,219
4. NFL - FL	2,867.50	28,714.8	8,145.5	Normal(0,1)	56%	44,680	12,750
5. Estable FL	2,162,996.41	2,162,996.4	-	Normal(0,1)		2,162,996	2,162,996
6. Estable NFL	346,941.87	346,941.9	-	Normal(0,1)		346,942	346,942
	3,942,646.7	3,942,646.7					

## 6. Referencias

Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques. New York, NY: Wiley.

Pontus Olofsson et al. "Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change". ELSEVIER - Remote Sensing of Environments 1148 (2014) 42 – 57

Pontus Olofsson et al. "Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation". ELSEVIER - Remote Sensing Environment 1129 (2013) 122-131

Stephen V. Stehman (2014) "Estimating area and map accuracy for stratified random sampling when the strata are different from the map classes. International Journal of Remote Sensing, 35:13, 4923-4939

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." Science 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from:  
<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.

#Teoría del Sistema MAD-Mex

<https://github.com/CONABIO/madmex-tutorials/blob/master/es/teoria.md>