



Consolidación de la Estrategia Nacional
REDD+ de Guatemala
EN EL MARCO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA #: ATN/FP-16400-GU*

CONSORCIO: SUD-AUSTRAL / GOPA / CALMECAC / FORESTFINEST



ESTRATEGIA REDD+ GUATEMALA

Bosque | Gente | Futuro

Entregable N°4

ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN: MAPA DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PARA EL PERIODO 2006 – 2010 Y PERIODO 2010 – 2016 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

CONSULTORÍA:
CONSOLIDACIÓN ESTRATEGIA NACIONAL REDD+ DE GUATEMALA

GUATEMALA
GU-T1272
ATN/FP-16400-GU

FASE II DE LA PREPARACIÓN DE LA ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN EVITADA Y DEGRADACIÓN DE BOSQUES EN GUATEMALA

ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PARA EL PERIODO 2006 – 2010 Y PERIODO 2010 – 2016 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA.

Este documento corresponde a un análisis técnico desarrollado en el marco de la Consultoría “Consolidación de la Estrategia Nacional REDD+ de Guatemala”, que realiza el Consorcio Sud-Austral Consulting – GOPA – CALMECAC y ForestFinest por encargo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones o políticas de las firmas que integran el consorcio.

Elaborado por

Consorcio Sud-Austral Consulting – GOPA – CALMECAC y ForestFinest en el Marco de la Consultoría “Consolidación de la Estrategia Nacional REDD+ de Guatemala”.

Autores

Efraín Duarte Castañeda

Patricio Emanuelli Avilés

Rolando Montenegro

Fabio Casco

Oscar Gonzáles

Claudia Saput

René Orozco

Ulises Armas

La reproducción y la difusión de material en este producto informativo puede ser utilizado únicamente para fines de estudio, investigación y enseñanza, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se otorgue el reconocimiento apropiado de los autores como fuente y titular de los derechos de autor y que la aprobación de las opiniones, productos o servicios de los usuarios no está implícita de ninguna manera.

Santiago de Chile, agosto 2019

1 TABLA DE CONTENIDO

2 RESUMEN EJECUTIVO	7
3 INTRODUCCIÓN	8
4 METODOLOGÍA	10
4.1 CONCEPTO DE BOSQUE	10
4.2 INFORMACIÓN BASE.....	10
4.3 DISEÑO DE LA MUESTRA	12
4.3.1 HERRAMIENTAS APLICADAS EN LA PLATAFORMA COLLECT EARTH PARA LA VALIDACIÓN DE CLASES.	14
4.3.2 FORMULARIO APLICADO EN LA PLATAFORMA COLLECT EARTH PARA LA VALIDACIÓN DE CLASES.....	18
4.3.3 MATRIZ DE CRITERIOS PARA EVALUAR EL ACIERTO O DESACIERTO	21
4.3.4 MUESTREO.....	22
5 RESULTADOS	32
5.1 RESULTADOS: PRECISIÓN DEL MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PERIODO 2006 - 2010 ...	32
5.2 RESULTADOS: PRECISIÓN DEL MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PERIODO 2010 - 2016 ...	35
6 PRINCIPALES HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES	38
6.1 PLAN DE ACCIÓN	42
7 REFERENCIAS	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Reporte oficial: mapa de dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 (INAB, 2012) y al mapa de dinámica de cobertura forestal 2010 – 2016.	10
FIGURA 2. Determinación del tamaño de la muestra	14
FIGURA 3. Visualización y análisis de índices de vegetación aplicando la plataforma de Collect Earth.....	16
FIGURA 4. Ejemplo de multitemporalidad de imágenes satelitales de alta resolución espacial que pueden ser visualizadas y analizadas con la plataforma de Collect Earth.....	17
FIGURA 5. Ejemplo de proceso de selección del polígono, análisis del cambio a nivel de polígono y registro del cambio en la encuesta de la plataforma de Collect Earth.....	18
FIGURA 6. Formulario en Collect Earth utilizado por el intérprete al momento de validar los mapas de cambio de uso de la tierra.....	20
FIGURA 7. Herramientas utilizadas para estimar la precisión de lo mapas de dinámica forestal.....	22
FIGURA 8. Precisión del PRE-MUESTREO – mapa dinámica forestal 2006 - 2010.....	26
FIGURA 9. Precisión del PRE-MUESTREO – mapa dinámica forestal 2010 - 2016.....	27
FIGURA 10. Precisión: mapa de dinámica de la cobertura forestal para el periodo 2006 – 2010.....	34
FIGURA 11. Precisión: mapa de dinámica de la cobertura forestal para el periodo 2010 – 2016.....	37
FIGURA 12. Ejemplo de falsas pérdidas en el mapa de dinámica forestal para el periodo 2010 – 2016.	39
FIGURA 13. Aplicación del concepto de bosque en los mapas de dinámica forestal.....	39
FIGURA 14. Recomendación para la aplicación del concepto de bosque en los mapas de dinámica forestal.	40
FIGURA 15. Recomendación para mejorar el método de mapeo en los mapas de dinámica forestal.....	41
FIGURA 16. Recomendación topología de los polígonos en los mapas de dinámica forestal.....	42
FIGURA 17. Plan de acción: Herramientas y equipo de trabajo propuesto para la mejora continua de los mapas de cobertura y dinámica de cobertura forestal.....	43
FIGURA 18. Plan de acción: Ruta de trabajo propuesta para la mejora continua de los mapas de cobertura y dinámica de cobertura forestal	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reporte oficial: mapa de dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 (INAB, 2012) y al mapa de dinámica de cobertura forestal 2006 – 2010.	11
Tabla 2. Reporte oficial: mapa de dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 (INAB, 2012) y al mapa de dinámica de cobertura forestal 2010 – 2016.	12
Tabla 3. Tamaño de polígono por tipo de dinámica de cobertura forestal	15
Tabla 4. Matriz de transiciones para estimar la precisión de lo mapas de dinámica forestal.	21
Tabla 5. Matriz de criterios para definir el acierto o desacierto en los mapas evaluados.....	21
Tabla 6. Tamaño de la muestra para estimar la precisión de los mapas de dinámica forestal para el periodo 2006 - 2010	31
Tabla 7. Tamaño de la muestra para estimar la precisión de los mapas de dinámica forestal para el periodo 2010 – 2016.	31
Tabla 8. Matriz de error del mapa de dinámica forestal para el periodo 2006 – 2010.	35
Tabla 9. Matriz de error del mapa de dinámica forestal para el periodo 2010 – 2016.	38

LISTA DE MAPAS

MAPA 1. Polígonos seleccionados al azar – proceso de premuestreo del mapa de dinámica forestal 2006 - 2010.	24
MAPA 1. Polígonos seleccionados al azar – proceso de premuestreo del mapa de dinámica forestal 2010 - 2016.	25
MAPA 3. polígonos seleccionados al azar – proceso de muestreo del mapa de dinámica forestal 2006 - 2010.	29
MAPA 4. polígonos seleccionados al azar – proceso de muestreo del mapa de dinámica forestal 2010 - 2016.	30

LISTA DE ACRÓNIMOS

AED: Análisis Exploratorio de Datos.

CONAP: Consejo Nacional de Áreas Protegidas

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

DA: Datos de Actividad

ERPD: Emission Reduction Program Document

FC: Fondo de Carbono

FCPF: Fondo Cooperativo para el Carbono de los bosques

FE: Factores de Emisión

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GIMBUT: Grupo Interinstitucional de Monitoreo de los bosques y Uso de la Tierra

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

INAB: Instituto Nacional de Bosques

MAGA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

MARN: Ministerio de Ambiente y Recursos Forestales

MRV: Monitoreo, Reporte y Verificación

REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación Evitada y Degradación

SNICC: Sistema Nacional Sobre Cambio Climático

TBN: Tierras Bajas del Norte

2 RESUMEN EJECUTIVO

La teledetección ha desarrollado enfoques cada vez más confiables, consistentes y robustos para cuantificar la dinámica de cambio en la cobertura de la tierra. Los enfoques estadísticamente sólidos y transparentes para evaluar la precisión y estimar el área de cambio son esenciales para garantizar la integridad de la información sobre el cambio de la tierra. En este reporte, se presentan los resultados de la evaluación de la precisión del mapa de dinámica de cambio de la cobertura forestal para los periodos 2006 – 2010 y 2010 – 2016; ambos mapas conforman la fuente de información seleccionada por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de los bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT¹) como los datos de actividad para actualizar el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) para ser presentados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en el año 2020.

Los datos de actividad como parte de las estimaciones de emisiones / remociones deben seguir el principio de buenas prácticas del IPCC de no sobreestimar o subestimar las emisiones / remociones y reducir las incertidumbres en la medida de lo posible. La incertidumbre (falta de conocimiento del valor verdadero) está relacionada con la precisión. Por lo tanto, podemos definir a la precisión como una medida relativa de la exactitud de una estimación y explica los errores sistemáticos también conocidos como sesgo.

El análisis de precisión del presente estudio fue realizado con base al principio de buenas prácticas propuesto por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y con base a las buenas prácticas reportadas por Olofsson et. al 2014. En este sentido, en el presente reporte se abordan los tres elementos principales: (i) el diseño de muestreo, (ii) la metodología para evaluar los mapas y (iii) el análisis de la precisión.

Finalmente, en el presente documento se reportan una serie de hallazgos y se realizan una serie de recomendaciones de tipo metodológicas para la mejora continua de los mapas de cobertura forestal y mapas de dinámica de cobertura forestal que forman parte de los datos de actividad en el marco de la actualización de los Niveles de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) de Guatemala.

¹ El GIMBUT tiene por objetivo establecer un marco de coordinación interinstitucional y técnico para la generación de información a nivel nacional sobre la cobertura forestal del país y temas afines mediante la articulación de las instituciones.

3 INTRODUCCIÓN

La cobertura de la tierra y el cambio de la cubierta de la tierra son variables críticas en los principales problemas ambientales de importancia para las ciencias humano-ambientales (Turner et al., 2007). La información precisa y consistente sobre la cobertura forestal y el cambio de la cobertura forestal es importante dados los requisitos de información para que los países accedan a pagos basados en resultados para REDD+². Las estimaciones de cambios en el área de bosque generalmente proporcionan datos sobre el alcance de la actividad humana que resulta en emisiones (por ejemplo, de la deforestación) o remociones (por ejemplo, la forestación) en conjunto, esta dinámica espacio-temporal del cambio en la cobertura de la tierra también se denominan datos de actividad (AD).

Las evaluaciones de precisión de un mapa se implementan para evaluar su calidad con base a una muestra de información con mayor calidad (es decir, la clasificación de referencia) que la utilizada para crear el mapa (Stehman y Foody, 2009). El resultado de una evaluación de precisión es una matriz de errores a partir de la cual se pueden estimar varias medidas de precisión. En la matriz de error de población, las filas representan la clasificación del mapa, las columnas representan la clasificación de referencia y las entradas de celda de la matriz de error (p_{ij}) representan la proporción del área en la que la clasificación del mapa es de clase i y la clasificación de referencia es clase j .

Otro uso importante de los datos de la muestra y la clasificación de referencia corresponde a la estimación de la proporción del área (con el intervalo de confianza asociado) de la clase de análisis (Olofsson, Foody, Stehman y Woodcock, 2013; Olofsson et al., 2014; Stehman, 2013).

Las principales recomendaciones de buenas prácticas para evaluar la precisión en los mapas de cambio de uso de la tierra son: (i) implementar un diseño de muestreo probabilístico que se elija para lograr los objetivos prioritarios de precisión; (ii) implementar un protocolo de diseño de respuesta que se base en fuentes de datos de referencia que proporcionen suficiente representación espacial y temporal para etiquetar con precisión cada unidad en la muestra (es decir, la "clasificación de referencia" será considerablemente más precisa que la clasificación del mapa que se evalúa); (iii) implementar un análisis que sea consistente con el diseño de muestreo y los protocolos de diseño de respuesta; (iv) resumir la evaluación de precisión informando la matriz de error estimada en términos de proporción de área y estimaciones del total.

El muestreo aleatorio estratificado, en el que se selecciona una muestra aleatoria simple dentro de cada estrato, se recomienda como una buena práctica para la evaluación de la precisión del mapa (Olofsson et al., 2014). El muestreo aleatorio estratificado generalmente se implementa con las clases de mapa definidas como los estratos (es decir, cada píxel se asigna al estrato de la clase a la

² UNFCCC, 2013. Decision 14/CP.19, available at <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf#page%3D39>

que se asigna). El tamaño de la muestra asignado a cada estrato es una decisión importante, y la asignación dependerá de los objetivos especificados para la evaluación de la precisión.

En la última década, en Guatemala se han realizado muchos esfuerzos para obtener información sobre la cobertura de la tierra a partir de la teledetección. A escala nacional por ejemplo, se han desarrollado estudios sobre el mapeo histórico de la cobertura de la tierra, además de una serie de análisis multitemporales sobre el cambio de uso de la tierra hasta el mapeo del uso actual de la tierra. A pesar de esos esfuerzos, hay muchos temas que el país debe resolver, especialmente si sus intenciones se encaminan a recibir pagos por resultados asociados a la reducción de las emisiones de GEI en el marco del mecanismo REDD+.

Los principales temas que se deben resolver en el marco de la consolidación de un NREF y un Sistema MRV para REDD+ consisten en estimar la precisión de los cambios de la cobertura forestal, ya que estos en la actualidad no tienen estimada la incertidumbre y solamente se conocen los reportes de las áreas con pérdida de bosque, ganancia de bosque y las áreas sin cambios para periodos como 2006 – 2010 y 2010 - 2016. Esta situación no se ve favorecida por la poca atención que muchas veces se presta a la evaluación de precisión, ya que muchos mapas no se evalúan rigurosamente o solo se evalúan de forma limitada, como consecuencia de tales problemas, existe una demanda de información sobre la precisión del mapa, especialmente ahora que Guatemala se encuentra a las puertas de implementar un Programa de Reducción de Emisiones de GEI con el Fondo del Carbono del Banco Mundial.

Basados en el contexto anterior, en el marco del Proyecto Consolidación de la Estrategia REDD+ de Guatemala, el consorcio integrado por Sud-Austral Consulting – GOPA – CALMECAC y ForestFinest han realizado el esfuerzo de estimar la precisión de los mapas de dinámica de cambio de la cobertura forestal para el periodo 2006 – 2010 y periodo 2010 – 2016 de la República de Guatemala como un insumo clave para la actualización del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales que el país pretende presentar a la CMNUCC en el año 2020.

4 METODOLOGÍA

4.1 CONCEPTO DE BOSQUE

Para el presente estudio, se consideró como bosque lo definido en los mapas de cobertura forestal y dinámica de cobertura forestal analizados, dicho concepto consiste en: Superficie cubierta por árboles con un mínimo de cobertura de copa del 30%-40%, formando una masa continua de un mínimo de 0.5 hectárea (5 píxeles) con un ancho mínimo de 60 metros (2 píxeles).

4.2 INFORMACIÓN BASE

El análisis de la precisión reportado en el presente documento corresponde al mapa de dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 (INAB, et al; 2012) y al mapa de dinámica de cobertura forestal 2010 – 2016 (INAB, et al; 2019) (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



FIGURA 1. REPORTE OFICIAL: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL 2006-2010 (INAB, 2012) Y AL MAPA DE DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL 2010 – 2016.

Antes de iniciar el proceso de evaluación de cada mapa, se procedió a realizar un análisis exploratorio de los datos de cada mapa, en este análisis, se identificaron la cantidad de polígonos (población) que contiene cada mapa, adicionalmente, se analizaron las superficies para cada polígono y el estrato al cual pertenecen; en este sentido, se definieron cinco tipos

de clases para cada uno de los estratos, con esta subdivisión, se buscó identificar con mayor detalle las precisiones por cada estrato y tipo de clases, de esta manera, se podrán sacar conclusiones más acertadas con respecto a dónde se encuentran las mayores y menores precisiones en los mapas, ya que estos errores pueden estar localizados en un intervalo de superficie de un estrato específico.

Para el mapa de dinámica de cobertura forestal del periodo 2006 – 2010, se encontró un número total de polígonos de 1,950,984, de los cuales en su mayoría se encuentran en las pérdidas y ganancias de bosque con clases de superficies menores a 0.5 hectáreas, en este sentido, se identificó una inconsistencia en el concepto de bosque en cuanto a la superficie mínima establecida para definir un bosque en el mapa versus el concepto de bosque definido en el protocolo para elaboración del mapa.

El mapa de dinámica de cobertura forestal del periodo 2010 – 2016, se encontró un número total de polígonos de 1,875,200, de los cuales en su mayoría también se encuentran en las pérdidas y ganancias de bosque con clases de superficies menores a 0.5 hectáreas, a continuación, se muestra el resultado detallado del análisis exploratorio de datos realizado para ambos mapas evaluados en el presente estudio.

Estratos y clase por estrato analizado (Periodo 2006 – 2010)							
DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos	DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	2,630,267.7	2,469	GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	14,610.4	75
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	369,110.0	13,539	GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	60,473.2	3,187
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	214,509.0	70,169	GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	199,376.7	82,712
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	33,943.3	46,906	GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	62,105.7	86,659
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	22,176.7	142,597	GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	74,406.4	517,074
BOSQUE	TOTAL	3,270,006.7	275,680	GANANCIA	TOTAL	410,972.4	689,707
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	6,139,608.6	2,165	PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	40,024.1	203
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	211,351.9	7,651	PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	121,530.9	5,259
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	130,936.4	44,916	PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	219,498.4	90,633
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	23,271.6	32,245	PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	71,819.4	100,268
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	21,033.2	151,046	PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	80,679.2	551,211
NO BOSQUE	TOTAL	6,526,201.7	238,023	PERDIDA	TOTAL	533,552.1	747,574

TABLA 1. REPORTE OFICIAL: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL 2006-2010 (INAB, 2012) Y AL MAPA DE DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL 2006 – 2010.

Estratos y clase por estrato analizado (Periodo 2010 – 2016)

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos	DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	2,402,858.2	2,274	GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	33,611.3	165
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	347,273.7	12,655	GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	139,911.3	7,095
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	191,093.5	61,614	GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	281,986.0	100,095
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	28,973.5	40,688	GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	52,003.0	72,991
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	26,548.0	156,012	GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	71,681.8	450,400
BOSQUE	TOTAL	2,996,746.9	273,243	GANANCIA	TOTAL	579,193.4	630,746
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	6,103,012.4	2,308	PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	62,284.6	319
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	210,169.9	7,514	PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	167,232.6	7,218
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	129,449.8	44,660	PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	299,552.1	120,120
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	24,080.9	33,702	PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	75,185.2	103,104
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	23,374.2	156,569	PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	76,617.1	495,697
NO BOSQUE	TOTAL	6,490,087.3	244,753	PERDIDA	TOTAL	680,871.5	726,458

TABLA 2. REPORTE OFICIAL: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL 2006-2010 (INAB, 2012) Y AL MAPA DE DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL 2010 – 2016.

4.3 DISEÑO DE LA MUESTRA

El diseño de muestreo es el protocolo para seleccionar el subconjunto de unidades espaciales (por ejemplo, píxeles o polígonos) que formarán la base de la evaluación de precisión. La elección de un diseño de muestreo requiere una consideración de los objetivos específicos de la evaluación de precisión y una lista priorizada de criterios de diseño deseables.

Los medios principales para estimar la precisión de los mapas de dinámica de la cobertura forestal correspondieron a la comparación entre los resultados de las clasificaciones realizadas en los mapas y las observaciones de referencia correspondientes a una muestra. Los factores que influyen en la estimación son el diseño del muestreo y el tamaño de la muestra de evaluación de la exactitud, y la exactitud de los mapas. En este sentido, para obtener resultados óptimos en esta actividad y buscando una consistencia metodológica, el análisis de precisión se realizó con base a la metodología planteada por Olofsson *et al.* (2013).

La recomendación más importante es que el diseño de muestreo debe ser un diseño de muestreo probabilístico y estratificado. Un elemento esencial del muestreo probabilístico es que la aleatorización se incorpora en el protocolo de selección de muestra. El muestreo de probabilidad se define en términos de probabilidades de inclusión, donde una probabilidad de inclusión relaciona la probabilidad de que una unidad dada sea incluida en la muestra (Stehman, 2000). Las dos condiciones que definen una muestra de probabilidad son que la probabilidad de inclusión debe ser conocida para cada unidad seleccionada en la muestra y la probabilidad de inclusión debe ser mayor que cero para todas las unidades en el mapa o área de interés (Stehman, 2001).

a) *Diseño Muestral:*

Los datos utilizados para estimar la precisión fueron seleccionados a través de un diseño de muestreo probabilístico estratificado para cada cambio en el uso de la tierra (Bosque estable, no bosque estable, ganancia de bosque y pérdida de bosque), bajo este criterio, se obtuvo un conjunto de muestras que permitió elaborar estimaciones suficientemente precisas de la superficie de las clases de uso de la tierra.

El concepto aplicado para la selección de las muestras es derivado de los principios de evaluación de la exactitud de un mapa: La frecuencia caracterizada de errores (omisión y comisión) para cada clase de mapa puede utilizarse para calcular las estimaciones de área, así como para estimar las incertidumbres (intervalos de confianza (10%)) de las áreas de cada clase.

La siguiente ecuación fue utilizada para calcular el tamaño total de la muestra aleatoria estratificada, que luego se distribuye entre las diferentes clases de cambio.

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\bar{O})]^2 + (1/N)\sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\bar{O})} \right)^2$$

Donde:

N es la población total de la muestra (superficie total)

S(O) es el error estándar de la precisión global

W_i es la proporción del estrato del mapa

S_i es la desviación estándar del estrato i

b) *Validación de clases:*

Para el objetivo de evaluación de la precisión, el diseño de respuesta abarcó todos los pasos del protocolo que conducen a la definición sobre el nivel de acierto existente entre la clasificación de referencia (obtenida a través de encuestas en Collect Earth) y la clasificación producida por el usuario (obtenida del mapa de dinámica de la cobertura forestal).

- Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó el método definido por Cochran (1977)^[1] y aplicado por Olofsson (2013).
- Con respecto al pre muestreo, se evaluaron 30 polígonos para cada clase y cada estrato.
- El tipo de muestreo fue de tipo aleatorio estratificado para estimar las áreas de cambio de uso de la tierra.
- La idea es combinar un mapa (utilizado como una estratificación del área de interés) con una interpretación de una muestra visual bien elegida para producir estimaciones de la superficie.



$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\bar{O})]^2 + (1/N)\sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\bar{O})} \right)^2$$

Donde:
N es l población total de la muestra (superficie total)
S(O) es el error estándar de la precisión global
Wi es la proporción del estrato del mapa
Si es la desviación estándar del estrato i

FIGURA 2. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

4.3.1 HERRAMIENTAS APLICADAS EN LA PLATAFORMA COLLECT EARTH PARA LA VALIDACIÓN DE CLASES.

Las características principales de la encuesta utilizada para evaluar la precisión de los mapas de cambio de uso de la tierra corresponden a:

A. La unidad espacial: en el caso específico del análisis de mapas de dinámica de cambio de la cobertura forestal se estableció como unidad espacial los polígonos de cambio, definiendo una superficie mínima de 0,5 hectáreas correspondiente a 7 pixeles de imagen Landsat, lo cual permite evitar incluir potenciales errores topológicos o de edición entre los elementos a validar. Sin embargo, a solicitud de INAB, se tomaron en cuenta también polígonos menores a 0.5 ha de superficie, por tal razón, se definieron cinco tipos de clases para realizar el análisis, estas clases corresponden a:

- Clase 1: >= 100 ha.
- Clase 2: < 100 ha y >= 10 ha.
- Clase 3: < 10 ha y >= 1 ha.
- Clase 4: < 1 ha y >= 0,5 ha.
- Clase 5: < 0,5 ha y > 0 ha.

Cada una de las clases antes mencionadas, fueron definidas para cada estrato evaluado (bosque, no bosque, ganancia de bosque y pérdida de bosque). El resultado final de la subdivisión de cada una de las categorías fue el siguiente:

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA

TABLA 3. TAMAÑO DE POLÍGONO POR TIPO DE DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL

B. La fuente o fuentes de información: La fuente utilizada para determinar la clasificación de referencia debe tener mayor calidad que la fuente utilizada en la clasificación del usuario. Para evaluación de la precisión de los cambios de uso de la tierra, se utilizó la herramienta desarrollada por FAO, Collect Earth³, que permitió el acceso a múltiples conjuntos de datos de alta resolución espacial y temporal.

Características generales de Collect Earth

- Es parte de la iniciativa Open Foris de la FAO, que es parte del programa Creación de Capacidades para los Sistemas Nacionales de Monitoreo Forestal para REDD+⁴ (*Capacity Building for REDD+ NFMS*, en inglés).
- Es una herramienta gratuita y de libre acceso que utiliza imágenes de alta resolución de Google Earth y Bing, además de imágenes de LANDSAT 7 y 8 (mediante la plataforma de Google Earth Engine) para el muestreo de áreas.

³ Más información en: <http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>

⁴ Este proyecto busca una implementación de REDD + transparente y que apunte directamente a apoyar al proceso de preparación de REDD+ bajo la UNFCCC en 18 países (Partes no Anexo I), mediante el desarrollo de herramientas gratuitas para el monitoreo forestal que podrían ser utilizadas por otros países. El proyecto apoyará el establecimiento de elementos clave de los sistemas nacionales de monitoreo forestal para REDD+, cumpliendo con los requisitos de REDD+, a través del intercambio de experiencias, transferencia de conocimiento y desarrollo de capacidad.

El proyecto contribuye a la iniciativa Open Foris. Open Foris es un conjunto de herramientas de software libre y de código abierto que facilita la recopilación, análisis y generación de informes de forma flexible y eficiente.

- Emplea la teoría estadística para el muestreo de áreas y cambios en las áreas de bosques (tierras forestales) y tierras no forestales, con el fin de mejorar la estimación de la exactitud de los datos de actividad⁵.

La herramienta Collect Earth está integrada con Bing Maps y Google Earth Engine, lo cual conlleva que al mostrarse el formulario (haciendo click sobre la muestra/punto) se inicia un proceso que abre varias ventanas mostrando esa misma muestra en Bing Maps, el cual a veces tendrá mejores imágenes de muy alta resolución que Google Earth, así como en Google Earth Engine Code Editor y Google Earth Engine Explorer.

Gracias a Google Earth Engine se tiene acceso a todo el archivo histórico de NASA (Landsat 5, 7 y 8 y MODIS) a partir de 1984 hasta la actualidad, así como de la ESA (Sentinel-2), que ofrece imágenes de muy buena resolución (10 metros por pixel en lugar de 30 de Landsat) desde 2014 cada 10 días. Google Earth Engine no solo permite visualizar imágenes sino también analizarlas, produciendo por ejemplo graficas de vegetación o compuestos de imágenes para eliminar nubes.

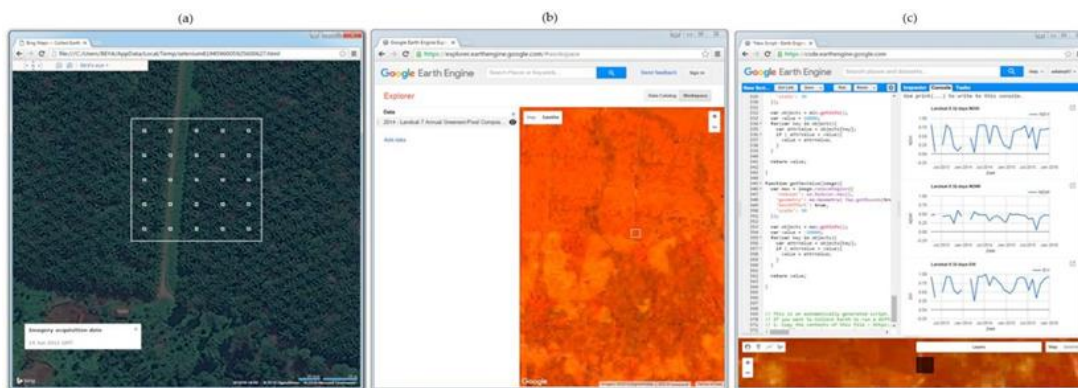


FIGURA 3. VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN APLICANDO LA PLATAFORMA DE COLLECT EARTH

Una función muy importante para esta interpretación visual aumentada es la máquina del tiempo que ofrece Google Earth, ya que en muchas zonas se encuentran múltiples imágenes de muy alta resolución que facilitan el trabajo de interpretación esto es una herramienta muy útil para estimar la precisión de mapas de la dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 y 2010 – 2016.

⁵ “Datos de actividad” es un concepto bajo el IPCC para la estimación de la magnitud de las actividades que ocasionan emisiones por fuentes y absorciones por sumideros.

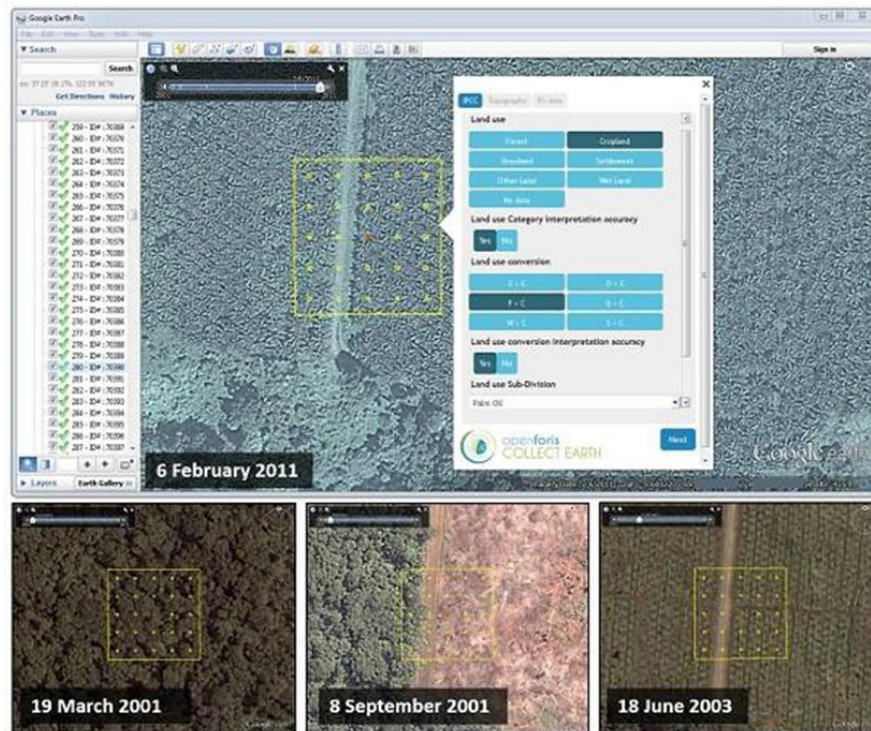


FIGURA 4. EJEMPLO DE MULTITEMPORALIDAD DE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL QUE PUEDEN SER VISUALIZADAS Y ANALIZADAS CON LA PLATAFORMA DE COLLECT EARTH

Esta combinación de varias herramientas, así como la potencia para el análisis temporal de Google Earth Engine, que entre otras cosas posibilita la visualización de graficas de índices de vegetación sobre las parcelas, facilitan el análisis temporal de la dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 y 2010 – 2016.

Finalmente, una vez identificado el punto en el centro del polígono, se procede a evaluar la cobertura y el uso de la tierra para todo el polígono seleccionado en diferentes temporalidades (2006-2010 y 2010 – 2016.). En la siguiente figura, se muestra un esquema gráfico del proceso aplicado.

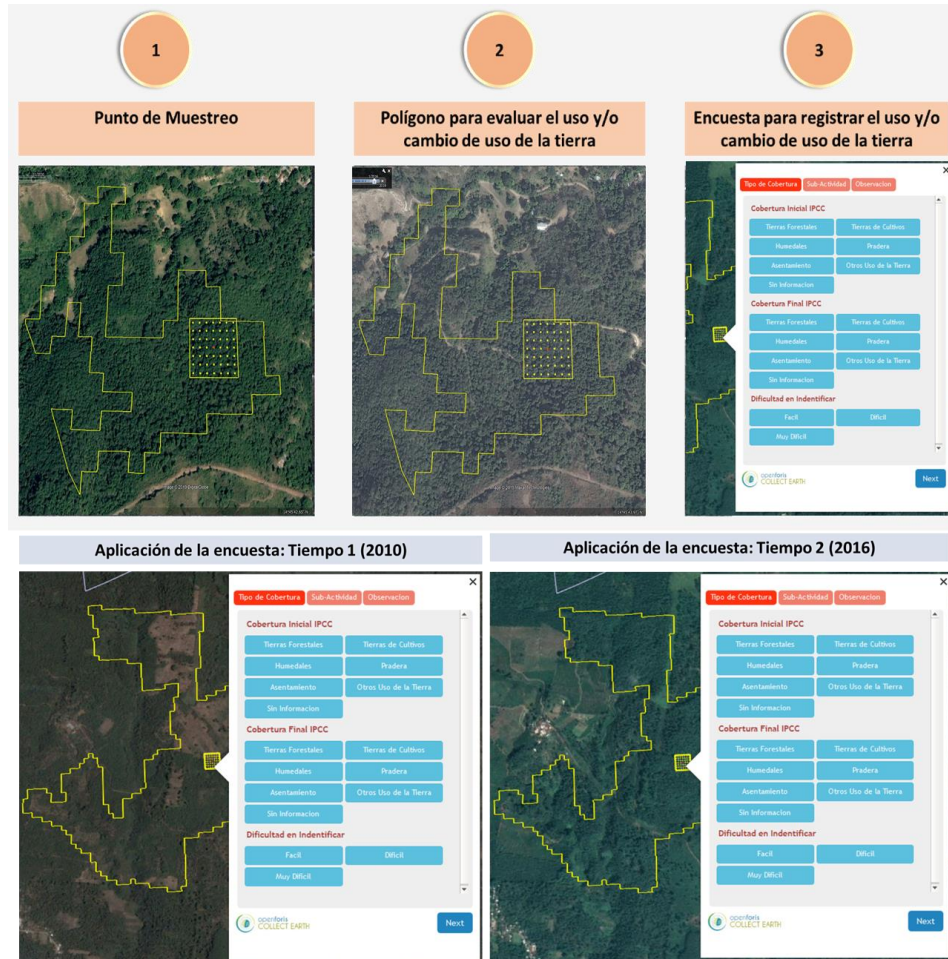


FIGURA 5. EJEMPLO DE PROCESO DE SELECCIÓN DEL POLÍGONO, ANÁLISIS DEL CAMBIO A NIVEL DE POLÍGONO Y REGISTRO DEL CAMBIO EN LA ENCUESTA DE LA PLATAFORMA DE COLLECT EARTH

4.3.2 FORMULARIO APLICADO EN LA PLATAFORMA COLLECT EARTH PARA LA VALIDACIÓN DE CLASES.

La obtención de datos a través de Collect Earth se realizó utilizando un formulario que aparece al hacer click sobre una parcela/punto o muestra en Google Earth. Este formulario dinámico cambia dependiendo de las opciones que el intérprete vaya eligiendo y está dividido en varias partes por las que se va avanzando según se rellenan los datos.

La encuesta o formulario, se diseñó con los datos de dinámica de la cobertura forestal de las parcelas que forma una especie de malla de puntos que está distribuida de manera probabilística estratificada.

En el primer paso, el intérprete recoge datos sobre la cobertura de la tierra. El usuario utiliza los puntos dentro de la parcela en Google Earth para calcular la cobertura de cada

elemento. En el segundo formulario, el intérprete clasificará la muestra según el tipo de uso de la tierra al que pertenece, seguidamente identifica si ha habido un cambio de cobertura o se mantiene el mismo tipo, y también si ha existido un cambio. Las clases de uso evaluada por cada período de análisis corresponde a:

- **Bosque estable:**
 - Correspondiente a la superficie reportada como Bosque “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2006” que se mantiene en la misma categoría en 2010.
 - Correspondiente a la superficie reportada como Bosque “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2010” que se mantiene en la misma categoría en 2016.
- **Otros usos estables:**
 - Correspondiente a la superficie reportada como usos de la tierra diferente a Bosque en el “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2006” que se mantiene en la misma categoría en 2010.
 - Correspondiente a la superficie reportada como usos de la tierra diferente a Bosque en el “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2010” que se mantiene en la misma categoría en 2016.
- **Pérdida de bosque (Deforestación):**
 - Corresponde a la superficie de Bosque transformada a otros usos de la tierra distinto del uso bosque entre los Mapas de 2006 y 2010, especificando uso de la tierra final.
 - Corresponde a la superficie de Bosque transformada a otros usos de la tierra distinto del uso bosque entre los Mapas de 2010 y 2016, especificando uso de la tierra final.
- **Ganancia de superficie forestal:**
 - Corresponde a la superficie de otros usos de la tierra distinta del bosque transformada a bosque entre los Mapas de 2006 y 2010, especificando uso de la tierra inicial.
 - Corresponde a la superficie de otros usos de la tierra distinta del bosque transformada a bosque entre los Mapas de 2010 y 2016, especificando uso de la tierra inicial.

Finalmente, se diseñó una última página del formulario en el cual, el intérprete que validó los mapas de dinámica de cobertura forestal tuvo la oportunidad de integrar información sobre las imágenes que se han utilizado para la interpretación. Es decir, si había imágenes de muy alta resolución para la muestra (eligiendo la más reciente de Google Earth, Bing Maps, Here Maps); de lo contrario, la interpretación de la validación se realizó utilizando las imágenes de Setninel-2,

Landsat 8 y Landsat 7. Además, las gráficas de vegetación, siendo estos productos accesibles a través de Google Earth Engine.

En el caso de que las imágenes de muy alta resolución no existan o no sean recientes, el intérprete que valida los mapas basa sus decisiones sobre UTCUTS en las imágenes Sentinel-2 o Landsat. Estos sensores de alta resolución tienen imágenes tan recientes como el mismo mes que se realiza la interpretación. El intérprete puede también dejar un comentario sobre la interpretación, con el fin de que un revisor pueda entender el razonamiento de la clasificación de la parcela en caso de que esta sea compleja.

The screenshot shows a web-based form interface for land use change validation, divided into three main panels:

- Panel 1 (Left):**
 - Cobertura Inicial IPCC:** Buttons for Tierras Forestales, Tierras de Cultivos, Humedales, Pradera, Asentamiento, Otros Uso de la Tierra, and Sin Informacion.
 - Cobertura Final IPCC:** Identical set of buttons as above.
 - Dificultad en Indentificar:** Buttons for Facil, Dificil, and Muy Dificil.
- Panel 2 (Middle):**
 - Dinamica de Cambio:** Buttons for Bosque Estable, No Bosque Estable, Perdida de Bosque, Ganancia de Bosque, and Sin Informacion.
 - Grado de Perturbacion:** Buttons for Bajo, Medio, Alto, and N/A.
- Panel 3 (Right):**
 - Elementos Biofisicos:** Buttons for Casa, Rios, Carreteras, Lagos o Lagunas, Volcan, and N/A.
 - Observaciones:** A text input field for notes.
 - Tipo de Satelite:** Buttons for CNES-Airbus, Digital Globe, Landsat, Bing Map, Street View, Sentinel, GEE, and Otro.
 - Fecha Inicial:** A date selection field.

Navigation buttons (Next, Previous) and the 'openforis COLLECT EARTH' logo are visible at the bottom of each panel.

FIGURA 6. FORMULARIO EN COLLECT EARTH UTILIZADO POR EL INTÉRPRETE AL MOMENTO DE VALIDAR LOS MAPAS DE CAMBIO DE USO DE LA TIERRA

4.3.3 MATRIZ DE CRITERIOS PARA EVALUAR EL ACIERTO O DESACIERTO

Para evaluar la precisión del mapa, se definió una matriz de criterios que permitió definir si en el polígono evaluado hay un acierto o un desacierto del mapa de cambio de uso de la tierra en el año 2006 y 2010 con respecto a la muestra obtenida mediante la herramienta del Collect Earth.

En este sentido, se construyó la siguiente matriz de criterios que permitió evaluar las transiciones del mapa de dinámica de cambio 2006 – 2010 y 2010 - 2016

Matriz de transiciones

Cobertura Año Inicio de Periodo	Cobertura Año Final de Periodo	Dinámica
Tierras sin Bosque	Tierras sin Bosque	No Bosque Estable
Tierras sin Bosque	Tierras con Bosque	Ganancia de Bosque
Tierras con Bosque	Tierras sin Bosque	Pérdida de Bosque
Tierras con Bosque	Tierras con Bosque	Bosque Estable

TABLA 4. MATRIZ DE TRANSICIONES PARA ESTIMAR LA PRECISIÓN DE LO MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL.

Estrato (mapa dinámica 2010 – 2016)	Estrato (evaluación 2010 – 2016)	Criterio
No Bosque Estable	No Bosque Estable	Acierto
No Bosque Estable	Ganancia de Bosque	Desacierto
No Bosque Estable	Pérdida de Bosque	Desacierto
No Bosque Estable	Bosque Estable	Desacierto
Bosque Estable	No Bosque Estable	Desacierto
Bosque Estable	Ganancia de Bosque	Desacierto
Bosque Estable	Pérdida de Bosque	Desacierto
Bosque Estable	Bosque Estable	Acierto
Pérdida de Bosque	No Bosque Estable	Desacierto
Pérdida de Bosque	Ganancia de Bosque	Desacierto
Pérdida de Bosque	Pérdida de Bosque	Acierto
Pérdida de Bosque	Bosque Estable	Desacierto
Ganancia de Bosque	No Bosque Estable	Desacierto
Ganancia de Bosque	Ganancia de Bosque	Acierto
Ganancia de Bosque	Pérdida de Bosque	Desacierto
Ganancia de Bosque	Bosque Estable	Desacierto

TABLA 5. MATRIZ DE CRITERIOS PARA DEFINIR EL ACIERTO O DESACIERTO EN LOS MAPAS EVALUADOS.

Finalmente, en la siguiente figura se presentan las principales plataformas utilizadas en el marco metodológico propuesto para estimar la precisión de mapas de dinámica de cobertura forestal; dicho proceso metodológico parte de la definición de la muestra, el diseño y construcción de la encuesta a través de la plataforma Collect, recopilación de datos mediante la aplicación de la herramienta Collect Earth y finalmente, la utilización de la plataforma de Google Earth Pro para visualizar diferentes sensores y clasificar cada uno de los puntos de la encuesta.

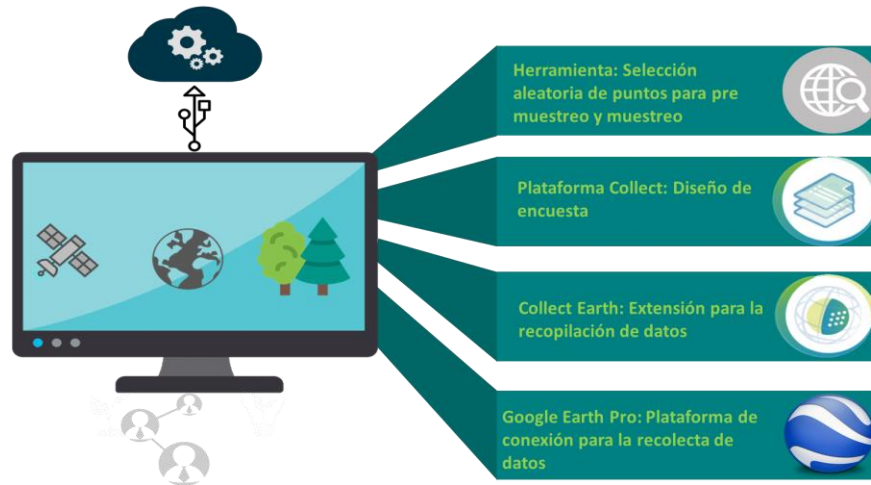


FIGURA 7. HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR LA PRECISIÓN DE LO MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL

4.3.4 MUESTREO

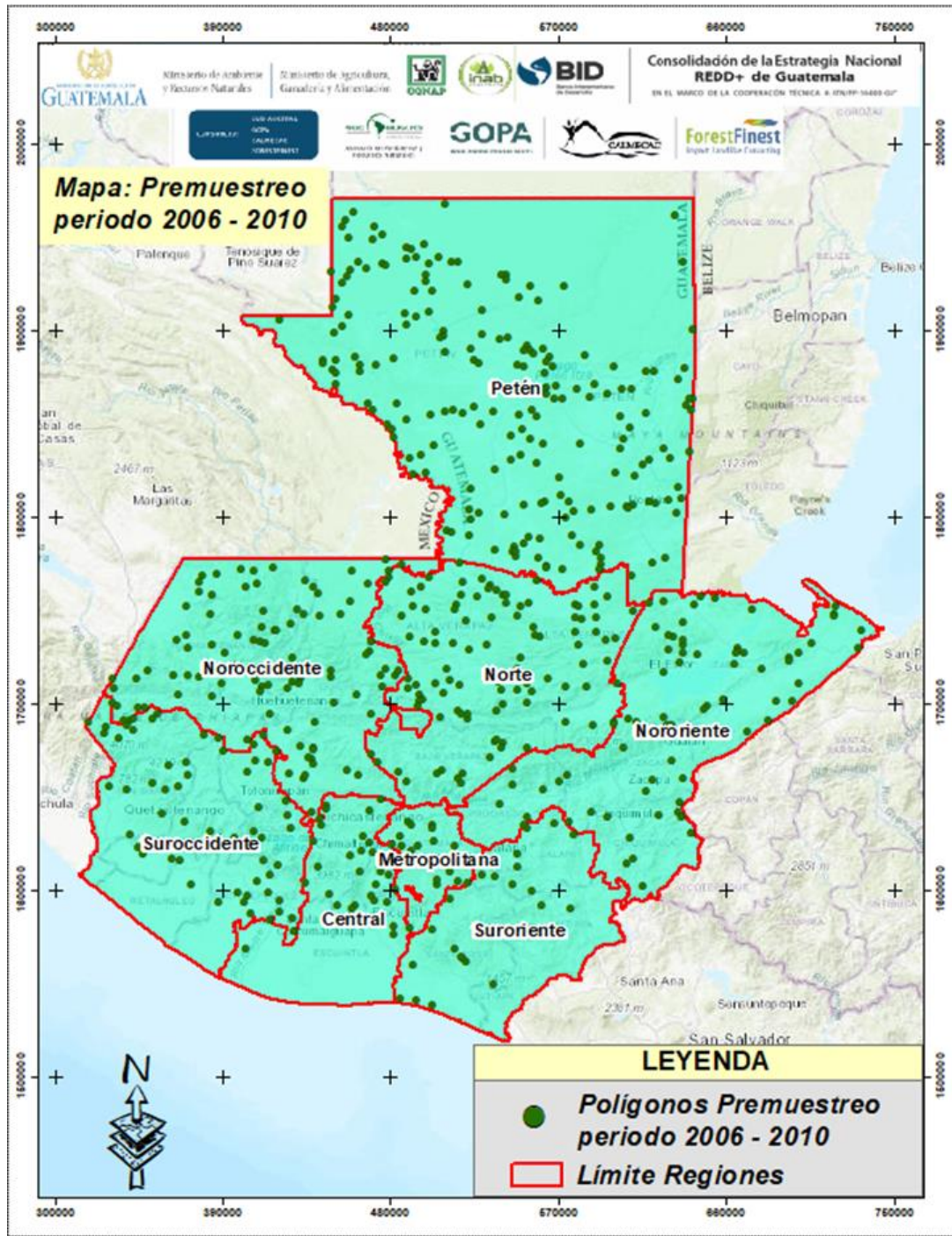
El objeto del muestreo es hacer inferencias de características cuantitativas sobre una población a partir de una muestra. Esto es posible si la muestra es como indican algunos autores “representativa” de la población. Ahora, ¿cómo establecer esa representatividad? Si precisamente existe un desconocimiento de la población al momento de tomar la muestra, ¿cómo tomar aquellos elementos que sean representativos? Con el muestreo, buscamos obtener una muestra adecuada lo que conlleva lograr una versión simplificada de la población, que reproduzca de algún modo sus rasgos básicos en términos de variación y localización.

Tomando en cuenta que la inferencia supone un riesgo, es útil resumir en qué casos conviene obtener muestras, en lugar de censos o investigaciones exhaustivas de todos los elementos de la población cuando:

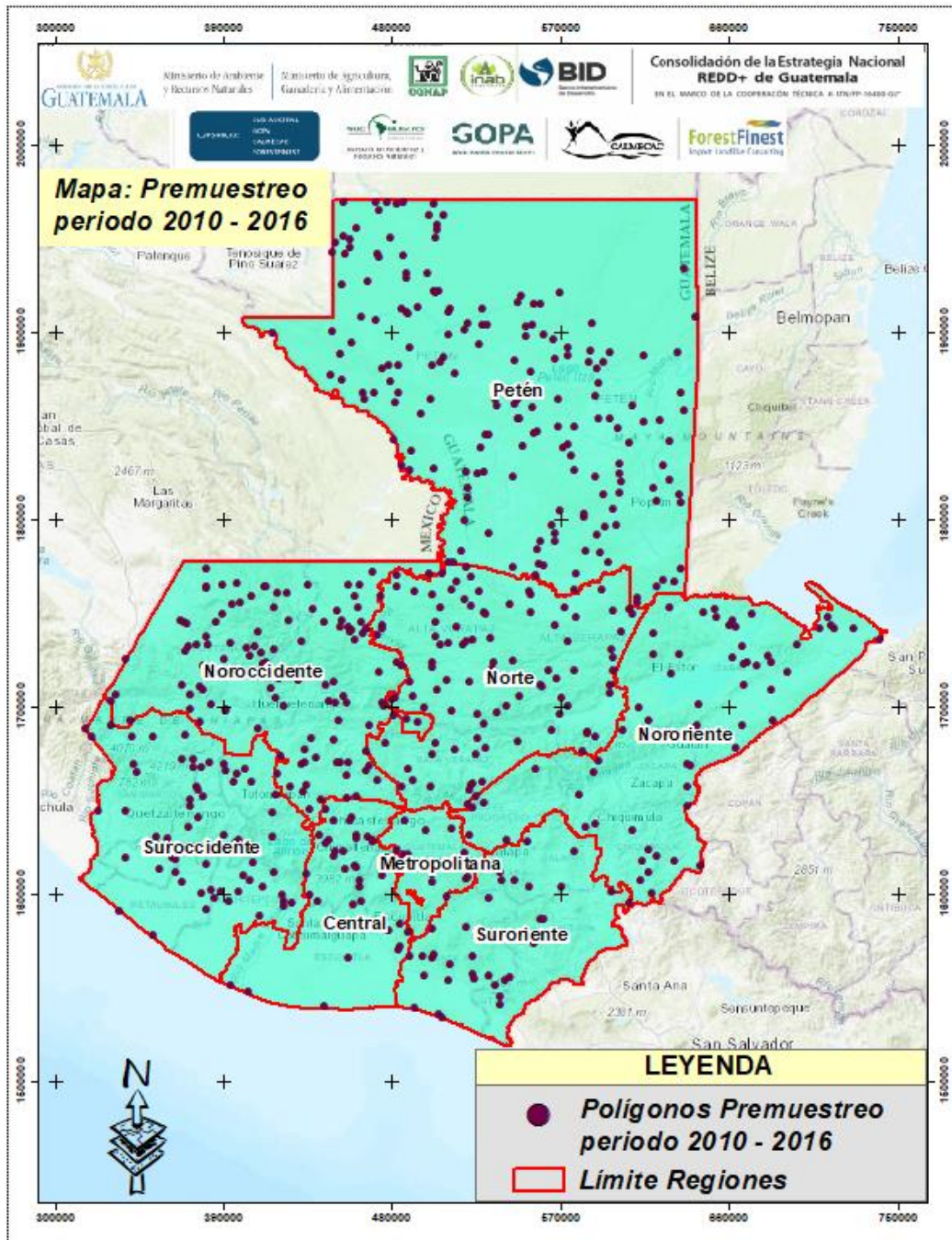
- Resulta más económica la muestra que una enumeración completa.
- El tiempo para obtener los resultados a través de una muestra es sustancialmente más pequeño que para obtenerlo por la vía del censo, si el tamaño del universo es grande.

- La calidad de la información muestral es superior, ya que se puede concentrar más la atención en los casos individuales de la muestra y ejercer mayor control sobre ellos que una operación censal.
- Cuando la población sea considerada como infinita o tan grande que el tratamiento total exceda las posibilidades del investigador.

El muestreo propiamente dicho consiste evidentemente en la obtención efectiva de la muestra, esto es, en la recolección de los elementos o datos que la constituyen. En este sentido, para definir el tamaño de la muestra, se procedió a realizar una fase preliminar denominada premuestreo, en esta fase, se realizó una selección completamente al azar de 30 muestras para cada uno de los estratos y cada una de las clases definidas en la etapa previa, por lo tanto, se evaluaron 600 polígonos para cada mapa en la etapa del premuestreo. Con el análisis del premuestreo, se buscó obtener el tamaño óptimo de la muestra con un error de muestreo esperado del 10%. Los resultados se muestran a continuación.



MAPA 1. POLÍGONOS SELECCIONADOS AL AZAR – PROCESO DE PREMUESTRO DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL 2006 - 2010.



MAPA 2. POLÍGONOS SELECCIONADOS AL AZAR – PROCESO DE PREMUESTRO DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL 2010 - 2016.

Precisión del muestreo para estimar el tamaño de la muestra (Mapa dinámica forestal 2006 – 2010)

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Tamaño Muestra n	Precisión (nº polígonos)	Precisión (ha)
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	30	86.67%	97.78%
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	80.00%	79.66%
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	70.00%	60.15%
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	56.67%	53.86%
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	63.33%	63.60%
BOSQUE	TOTAL	150	64.92%	97.41%
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	30	73.33%	34.70%
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	83.33%	78.19%
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	66.67%	74.31%
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	43.33%	45.08%
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	36.67%	34.65%
NO BOSQUE	TOTAL	150	45.06%	35.24%
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	30	6.67%	6.41%
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	10.00%	6.46%
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	6.67%	12.37%
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	0.00%	0.00%
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	3.33%	9.83%
GANANCIA	TOTAL	150	3.35%	6.46%
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	30	46.67%	47.07%
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	40.00%	37.55%
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	16.67%	20.39%
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	16.67%	17.80%
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	3.33%	2.02%
PERDIDA	TOTAL	150	7.01%	45.75%
	TOTAL	600	18.54%	58.79%

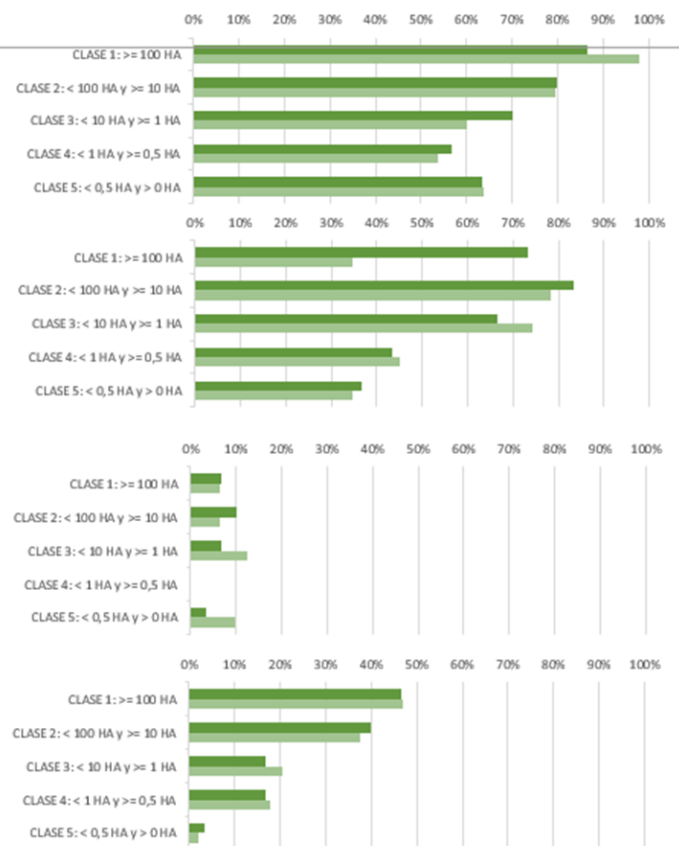


FIGURA 8. PRECISIÓN DEL PRE-MUESTREO – MAPA DINÁMICA FORESTAL 2006 - 2010

Precisión del pre-muestreo para estimar el tamaño de la muestra (Mapa dinámica forestal 2010 – 2016)

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Tamaño Muestra n	Precisión (nº poligonos)	Precisión (ha)
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	30	70.00%	90.08%
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	66.67%	66.11%
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	53.33%	61.02%
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	53.33%	54.55%
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	53.33%	53.58%
BOSQUE	TOTAL	150	54.09%	89.38%
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	30	100.00%	100.00%
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	83.33%	80.24%
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	83.33%	82.66%
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	33.33%	34.31%
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	43.33%	50.47%
NO BOSQUE	TOTAL	150	51.02%	99.92%
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	30	26.67%	39.38%
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	6.67%	6.02%
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	6.67%	7.05%
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	0.00%	0.00%
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	0.00%	0.00%
GANANCIA	TOTAL	150	1.14%	36.18%
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	30	56.67%	62.63%
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	30	33.33%	43.27%
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30	20.00%	29.10%
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	30	10.00%	11.73%
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	30	0.00%	0.00%
PERDIDA	TOTAL	150	5.08%	60.07%

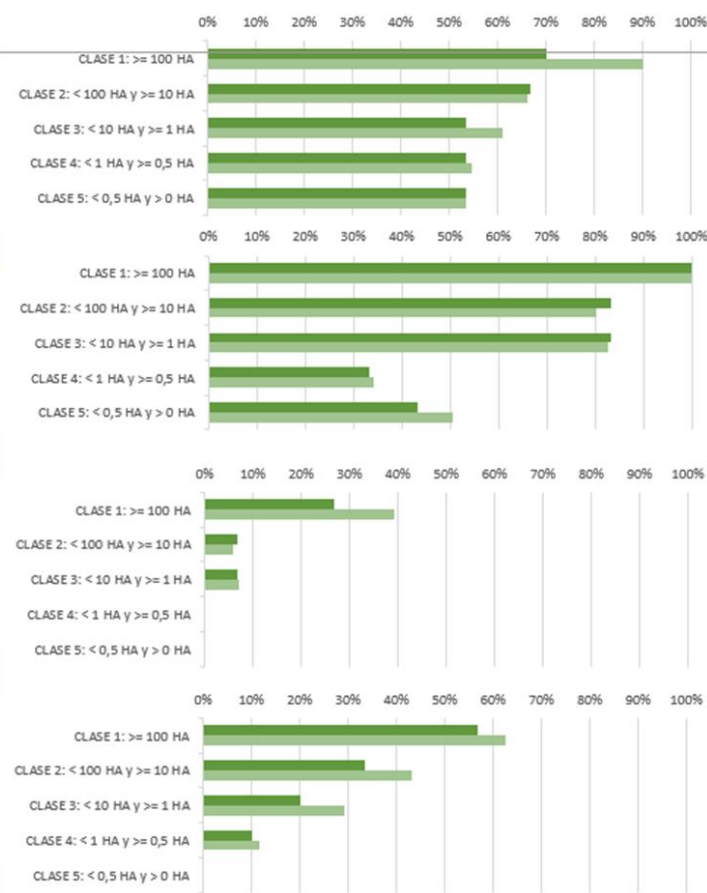


FIGURA 9. PRECISIÓN DEL PRE-MUESTREO – MAPA DINÁMICA FORESTAL 2010 - 2016

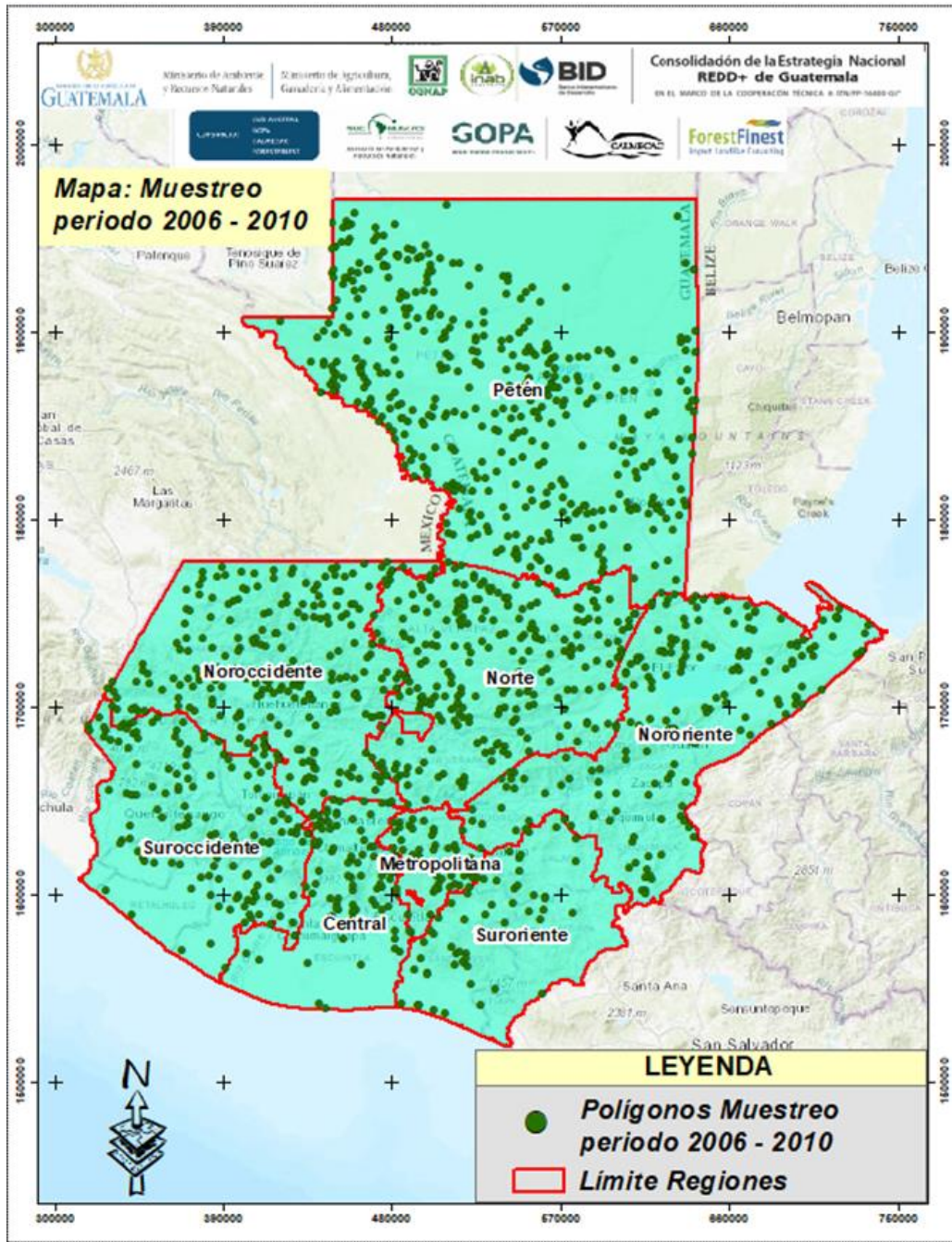
Uno de los primeros hallazgos con el proceso del premuestreo, corresponde a que las precisiones más altas se encuentran en las categorías que no tuvieron cambios durante el periodo analizado, estas categorías corresponden a los bosques estables y el no bosque estable; adicionalmente, se puede identificar que entre menor es la superficie o tamaño del polígono, es mayor el error, en este sentido, los polígonos menores a 0.5 hectáreas tienen precisiones muy bajas. Finalmente, se puede concluir que las categorías en las cuales se identificó un cambio positivo en los mapas (ganancias de bosque) y un cambio negativo (pérdidas de bosque) son aquellas categorías en las cuales las precisiones fueron las más bajas. Es importante resaltar, que para efectos de los programas REDD+ son las categorías de cambio las que conllevan mayor interés en términos de la cuantificación de las emisiones y absorciones de GEI.

Una vez estimada la precisión en el premuestro, se estimó el tamaño óptimo de la muestra, en este sentido, se determinó que para estimar la precisión del mapa de dinámica de cobertura forestal 2006 – 2010 con un 10% de margen de error de muestreo, se necesitan evaluar 1,396 polígonos, de los cuales 316 corresponden a bosque estable, 362 a no bosque estable, 209 a ganancia de bosque y 312 para pérdida de bosque.

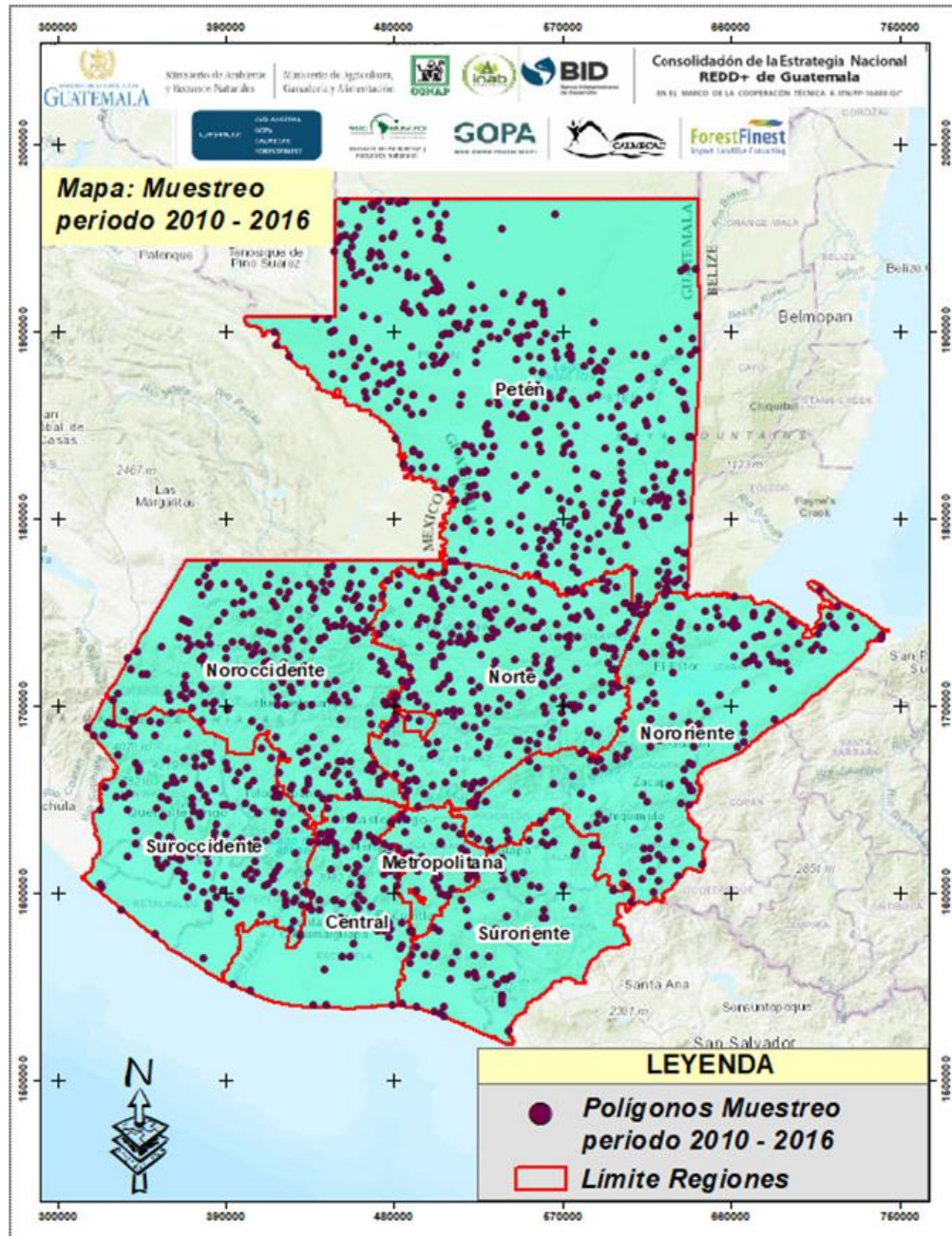
El tamaño de la muestra se refiere al número de polígonos de verificación utilizados para estimar la confiabilidad del mapa. El tamaño de muestra total se calculó a partir de la ecuación (Cochran., 1980), suponiendo niveles de exactitud de cada clase y subclase. Este resultado indicó el tamaño de muestra necesario de acuerdo con la variabilidad requerida. La distribución de muestras por clase se realizó siguiendo el criterio de Congalton (1988) quien sugiere muestrear una superficie aproximada al 1% de la superficie cartografiada. En otra publicación (1991), el mismo autor recomienda verificar por lo menos 50 sitios por categoría, y de 75 a 100 si el área en estudio es superior a 400,000 ha o si hay más de 12 categorías.

Con respecto al mapa de dinámica de cobertura forestal 2010 – 2016, se estimó el tamaño óptimo de la muestra, en este sentido, se determinó que para estimar con un 10% de margen de error de muestreo, se necesitan evaluar 1,425 polígonos, de los cuales 347 corresponden a bosque estable, 283 a no bosque estable, 190 a ganancia de bosque y 338 para pérdida de bosque.

La localización de los polígonos seleccionados como parte de la muestra se visualizan en los siguientes mapas.



MAPA 3. POLÍGONOS SELECCIONADOS AL AZAR – PROCESO DE MUESTREO DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL 2006 - 2010.



MAPA 4. POLÍGONOS SELECCIONADOS AL AZAR – PROCESO DE MUESTREO DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL 2010 - 2016.

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	p	q	p*q	Margen Esperado (%)	Tamaño Muestra (n)	N a medir muestreo
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	97.7842	2.2158	216.6702	10%	8	-22
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	85.2278	14.7722	1,259.0022	10%	48	-14
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	70.0752	29.9248	2,096.9855	10%	81	-11
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	68.3789	31.6211	2,162.2171	10%	83	-12
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	53.1323	46.8677	2,490.1888	10%	96	7
BOSQUE	TOTAL	93.94				316	-52
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	81.3270	18.6730	1,518.6197	10%	58	-29
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	87.2969	12.7031	1,108.9397	10%	43	-52
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	73.7926	26.2074	1,933.9125	10%	74	8
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	59.2463	40.7537	2,414.5064	10%	93	20
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	42.3867	57.6133	2,442.0379	10%	94	7
NO BOSQUE	TOTAL	81.16				362	-46
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	17.6101	82.3899	1,450.8943	10%	56	-4
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	12.6508	87.3492	1,105.0368	10%	42	-18
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	16.9930	83.0070	1,410.5364	10%	54	12
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	7.2697	92.7303	674.1203	10%	26	-34
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	8.6421	91.3579	789.5216	10%	30	-4
GANANCIA	TOTAL	13.39				209	-47
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	61.2071	38.7929	2,374.4013	10%	91	-5
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	28.2097	71.7903	2,025.1839	10%	78	-12
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	26.2975	73.7025	1,938.1909	10%	74	12
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	16.9579	83.0421	1,408.2186	10%	54	-2
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	4.0313	95.9687	386.8792	10%	15	-45
PERDIDA	TOTAL	24.73				312	-52

TABLA 6. TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ESTIMAR LA PRECISIÓN DE LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL PARA EL PERIODO 2006 - 2010

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	p	q	p*q	Margen Esperado (%)	Tamaño Muestra (n)	n a medir muestreo
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	90.2166	9.7834	882.6275	10%	34	0
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	77.5598	22.4402	1,740.4578	10%	67	-19
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	78.6064	21.3936	1,681.6766	10%	65	-26
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	65.3227	34.6773	2,265.2149	10%	87	-8
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	55.5900	44.4100	2,468.7520	10%	95	-1
BOSQUE	TOTAL	87.46				347	-55
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	100.0000	-	-	10%	0	-30
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	86.1986	13.8014	1,189.6609	10%	46	-15
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	84.3383	15.6617	1,320.8841	10%	51	-4
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	59.6319	40.3681	2,407.2270	10%	92	5
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	56.7901	43.2099	2,453.8940	10%	94	-2
NO BOSQUE	TOTAL	98.94				283	-46
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	15.3007	84.6993	1,295.9558	10%	50	-42
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	5.8183	94.1817	547.9758	10%	21	-39
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	7.1447	92.8553	663.4194	10%	25	-35
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	8.4578	91.5422	774.2477	10%	30	-30
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	21.2224	78.7776	1,671.8518	10%	64	4
GANANCIA	TOTAL	9.16				190	-142
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	68.6933	31.3067	2,150.5597	10%	83	-6
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	51.0345	48.9655	2,498.9299	10%	96	2
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	30.1585	69.8415	2,106.3164	10%	81	2
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	11.1629	88.8371	991.6794	10%	38	-2
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	11.7647	88.2353	1,038.0623	10%	40	-20
PERDIDA	TOTAL	34.64				338	-24

TABLA 7. TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ESTIMAR LA PRECISIÓN DE LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL PARA EL PERIODO 2010 - 2016.

5 RESULTADOS

En muchos casos se aceptaba que los mapas temáticos eran confiables y no se cuestionaba la calidad de su información. Por ejemplo, las principales bases de datos cartográficas por lo general no se someten a una evaluación de su confiabilidad, sin embargo, toda base de datos geográfica presenta un grado de incertidumbre que depende, principalmente, de la calidad de los insumos, el intérprete y de la metodología adoptada para su elaboración.

Se pueden producir varios errores en las diferentes etapas del proceso de elaboración de un mapa: a) la corrección geométrica de las imágenes; b) el análisis de las imágenes, que depende de la experiencia del intérprete, de la calidad de los insumos utilizados (fotografías aéreas, imágenes de satélite, observaciones de campo, entre otros) y del sistema clasificatorio; c) la captura (digitalización, por ejemplo).

La precisión se denomina al nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica, la precisión se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas, esta es inversamente proporcional al error. Para el caso en particular de los mapas de dinámica forestal de Guatemala, se evaluó la concordancia entre la cobertura del mapa (lo que se clasificó en el mapa) y la cobertura observada (lo que se observó en las imágenes de alta resolución).

5.1 RESULTADOS: PRECISIÓN DEL MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PERIODO 2006 - 2010

La precisión de los mapas de dinámica forestal se estimó a nivel de polígono y a nivel de superficie, dicho análisis se realizó ya que se contaba con ambas métricas debido a que la evaluación del acierto o desacierto en una categoría de la dinámica forestal se realizó para todo el polígono seleccionado y no solamente en un punto en particular; en este contexto, el reporte de precisión indica que para el mapa de dinámica de cobertura forestal del periodo 2006 – 2010 tiene una precisión global del 21.1% en cuanto a los polígonos que lo conforman, esto indica, que de los 1,950.984 polígonos que conforman el mapa, el 21.1% de ellos tienen un acierto con respecto a la categoría del mapa y la categoría observada en la evaluación. Con respecto a la superficie, la precisión global estimada corresponde a 79.6%, esto indica que de las 10.7 millones de hectáreas que conforman el mapa, el 79.6% de esta superficie tiene un acierto con respecto a la categoría del mapa y la categoría observada en la evaluación.

El análisis de la precisión se puede llevar más allá de una precisión global del mapa, en este sentido, se estimó la precisión para cada una de las categorías que componen el mapa de dinámica forestal, estas corresponden a:

Bosque estable: *Correspondiente a la superficie reportada como Bosque “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2006” que se mantiene en la misma categoría en 2010.*

No bosque estable: *Correspondiente a la superficie reportada como usos de la tierra diferente a Bosque en el “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2006” que se mantiene en la misma categoría en 2010.*

Pérdida de bosque (Deforestación): *Corresponde a la superficie de Bosque transformada a otros usos de la tierra distinto del uso bosque entre los Mapas de 2006 y 2010, especificando uso de la tierra final.*

Ganancia de superficie forestal: *Corresponde a la superficie de otros usos de la tierra distinta del bosque transformada a bosque entre los Mapas de 2006 y 2010, especificando uso de la tierra inicial.*

Con respecto a las categorías antes mencionadas, se estimó una precisión para el bosque estable de 62.6% para los polígonos y 91.1% en la superficie. Para la categoría de no bosque estable, se estimó una precisión de 55.8% para los polígonos y 81.3% en la superficie para el periodo 2006 - 2010.

Para las categorías que experimentaron una transición entre el periodo 2006 – 2010, se estimó una precisión de 4.5% para los polígonos definidos como ganancia de bosque y un 10.0% de precisión para los polígonos identificados con una pérdida de bosque; esto indica, que de los 689,707 polígonos en los cuales en la categoría del mapa se definen ganancias de bosque, el 4.5% de estos tienen un acierto con respecto a la categoría observada en la evaluación y de los 747,574 polígonos en los cuales en la categoría del mapa se definen como pérdidas de bosque, el 10.0% de estos tienen un acierto con respecto a la categoría observada en la evaluación.

En términos de precisión de la superficie, se estimó para la categoría de ganancia de bosque un 17.1% de precisión en la superficie definida en el mapa; con respecto a la pérdida de bosque, la precisión corresponde a 57.2%.

Finalmente, se puede concluir que entre más pequeña es la superficie del polígono, más alto es el error en la clasificación de esa categoría en el mapa de dinámica forestal para el periodo 2006 – 2010. En la siguiente imagen, se reportan las precisiones a nivel de polígono y a nivel de superficie para cada una de las categorías de dinámica forestal y para cada una de las clases que conforman cada categoría según el rango de superficie del polígono.

Resultados: Precisión Mapa de Dinámica Cobertura Forestal Periodo 2006 - 2010

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos	Superficie Muestra (ha)	% SUPERFICIE	Tamaño Muestra n	Precisión (nº polígonos)	Precisión superficie (ha)
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	2,630,267.7	2,469	47,765.4	1.82%	30	86.67%	97.78%
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	369,110.0	13,539	1,511.4	0.41%	62	83.87%	85.23%
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	214,509.0	70,169	317.7	0.15%	92	70.65%	70.08%
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	33,943.3	46,906	68.7	0.20%	95	69.47%	68.38%
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	22,176.7	142,597	15.1	0.07%	89	53.93%	53.13%
BOSQUE	TOTAL	3,270,006.7	275,680	49,678.2	1.52%	368	62.60%	97.17%
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	6,139,608.6	2,165	220,786.4	3.60%	87	87.36%	81.33%
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	211,351.9	7,651	2,444.4	1.16%	95	86.32%	87.30%
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	130,936.4	44,916	163.1	0.12%	66	69.70%	73.79%
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	23,271.6	32,245	51.7	0.22%	73	57.53%	59.25%
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	21,033.2	151,046	10.9	0.05%	87	49.43%	42.39%
NO BOSQUE	TOTAL	6,526,201.7	238,023	223,456.5	3.42%	408	55.88%	81.38%
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	14,610.4	75	11,859.1	81.17%	60	16.67%	17.61%
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	60,473.2	3,187	1,154.0	1.91%	60	18.33%	12.65%
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	199,376.7	82,712	102.2	0.05%	42	11.90%	16.99%
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	62,105.7	86,659	44.6	0.07%	60	6.67%	7.27%
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	74,406.4	517,074	5.2	0.01%	34	2.94%	8.64%
GANANCIA	TOTAL	410,972.4	689,707	13,165.2	3.20%	256	4.56%	17.13%
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	40,024.1	203	17,362.6	43.38%	96	61.46%	61.21%
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	121,530.9	5,259	2,133.0	1.76%	90	30.00%	28.21%
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	219,498.4	90,633	134.5	0.06%	62	22.58%	26.30%
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	71,819.4	100,268	40.2	0.06%	56	16.07%	16.96%
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	80,679.2	551,211	8.9	0.01%	60	6.67%	4.03%
PERDIDA	TOTAL	533,552.1	747,574	19,679.2	3.69%	364	10.04%	57.28%
TOTAL	TOTAL	10,740,732.9	1,950,984	305,979.1	2.85%	1396	21.12%	79.63%

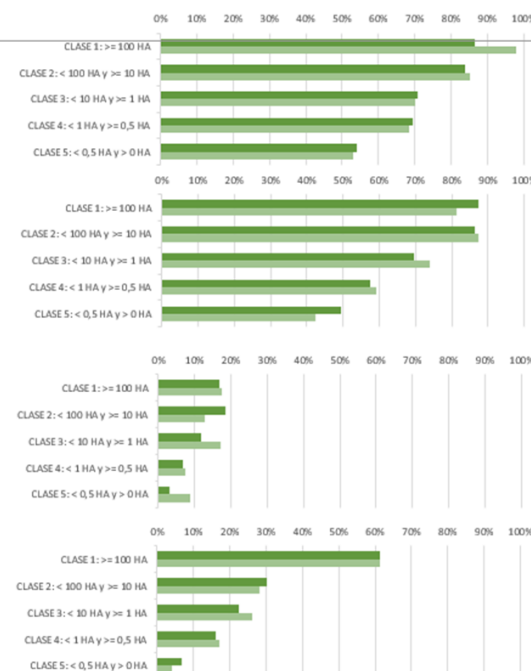


FIGURA 10. PRECISIÓN: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PARA EL PERIODO 2006 – 2010.

Finalmente, para el mapa de dinámica de cobertura del periodo 2006 – 2010, se construyó una matriz de error, la cual es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase (superficies según mapa), mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real (superficie según validación). Uno de los beneficios de las matrices de error es que facilitan ver si el sistema está confundiendo dos clases.

Tabla estimación de área

	Bosque Estable	Ganancia de Bosque	No Bosque Estable	Perdida de Bosque	Total General
Bosque Estable	2,961,169	12,123	77,816	218,899	3,270,007
Ganancia de Bosque	244,946	130,450	33,604	1,972	410,972
No Bosque Estable	1,120,784	28,874	5,315,371	61,173	6,526,202
Perdida de Bosque	86,068	4,908	128,748	313,828	533,552
Area estimada (ha)	4,412,966	176,354	5,555,540	595,872	10,740,733
Area mapeada	3,270,007	410,972	6,526,202	533,552	10,740,733
Cambio (ha)	-1,142,960	234,618	970,662	-62,320	
Cambio (%)	-34.95%	57.09%	14.87%	-11.68%	

TABLA 8. MATRIZ DE ERROR DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL PARA EL PERIODO 2006 – 2010.

5.2 RESULTADOS: PRECISIÓN DEL MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PERIODO 2010 - 2016

El reporte de precisión indica que para el mapa de dinámica de cobertura forestal del periodo 2010 – 2016 tiene una precisión global del 28.4% en cuanto a los polígonos que lo conforman, esto indica, que de los 1,875,200 polígonos que conforman el mapa, el 28.4% de ellos tienen un acierto con respecto a la categoría del mapa y la categoría observada en la evaluación. Con respecto a la superficie, la precisión global estimada corresponde a 90.0%, esto indica que de las 10.7 millones de hectáreas que conforman el mapa, el 90.0% de esta superficie tiene un acierto con respecto a la categoría del mapa y la categoría observada en la evaluación.

El análisis de la precisión se puede llevar más allá de una precisión global del mapa, en este sentido, se estimó la precisión para cada una de las categorías que componen el mapa de dinámica forestal, estas corresponden a:

Bosque estable: Correspondiente a la superficie reportada como Bosque “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2010” que se mantiene en la misma categoría en 2016.

No bosque estable: Correspondiente a la superficie reportada como usos de la tierra diferente a Bosque en el “Mapa de cobertura forestal del año inicial 2010” que se mantiene en la misma categoría en 2016.

Pérdida de bosque (Deforestación): *Corresponde a la superficie de Bosque transformada a otros usos de la tierra distinto del uso bosque entre los Mapas de 2010 y 2016, especificando uso de la tierra final.*

Ganancia de superficie forestal: *Corresponde a la superficie de otros usos de la tierra distinta del bosque transformada a bosque entre los Mapas de 2010 y 2016, especificando uso de la tierra inicial.*

Con respecto a las categorías antes mencionadas, se estimó una precisión para el bosque estable de 62.7% para los polígonos y 89.0% en la superficie. Para la categoría de no bosque estable, se estimó una precisión de 63.8% para los polígonos y 99.8% en la superficie para el periodo 2010 - 2016.

Para las categorías que experimentaron una transición entre el periodo 2010 – 2016, se estimó una precisión de 15.1% para los polígonos definidos como ganancia de bosque y un 15.0% de precisión para los polígonos identificados con una pérdida de bosque; esto indica, que de los 630,746 polígonos en los cuales en la categoría del mapa se definen ganancias de bosque, el 15.1% de estos tienen un acierto con respecto a la categoría observada en la evaluación y de los 726,458 polígonos en los cuales en la categoría del mapa se definen como pérdidas de bosque, el 15.0% de estos tienen un acierto con respecto a la categoría observada en la evaluación.

En términos de precisión de la superficie, se estimó para la categoría de ganancia de bosque un 14.7% de precisión en la superficie definida en el mapa; con respecto a la pérdida de bosque, la precisión corresponde a 66.0%.

Finalmente, se puede concluir que entre más pequeña es la superficie del polígono, más alto es el error en la clasificación de esa categoría en el mapa de dinámica forestal para el periodo 2010 – 2016. En la siguiente imagen, se reportan las precisiones a nivel de polígono y a nivel de superficie para cada una de las categorías de dinámica forestal y para cada una de las clases que conforman cada categoría según el rango de superficie del polígono.

Resultados: Precisión Mapa de Dinámica Cobertura Forestal Periodo 2010 - 2016

DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Poligonos	Superficie Muestra (ha)	% SUPERFICIE	Tamaño Muestra n	Precisión (nº poligonos)	Precisión superficie (ha)
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	2,402,858.2	2,274	29,154.2	1.21%	34	70.59%	90.22%
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	347,273.7	12,655	2,432.5	0.70%	86	79.07%	77.56%
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	191,093.5	61,614	290.4	0.15%	91	75.82%	78.61%
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	28,973.5	40,688	67.6	0.23%	95	62.11%	65.32%
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	26,548.0	156,012	17.3	0.07%	96	56.25%	55.59%
BOSQUE	TOTAL	2,996,746.9	273,243	31,961.9	1.07%	402	62.71%	89.08%
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	6,103,012.4	2,308	200,447.3	3.28%	30	100.00%	100.00%
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	210,169.9	7,514	1,516.0	0.72%	61	88.52%	86.20%
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	129,449.8	44,660	128.9	0.10%	55	87.27%	84.34%
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	24,080.9	33,702	61.6	0.26%	87	59.77%	59.63%
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	23,374.2	156,569	13.7	0.06%	96	56.25%	56.79%
NO BOSQUE	TOTAL	6,490,087.3	244,753	202,167.6	3.12%	329	63.80%	99.87%
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	33,611.3	165	18,852.8	56.09%	92	11.96%	15.30%
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	139,911.3	7,095	1,122.9	0.80%	60	6.67%	5.82%
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	281,986.0	100,095	162.5	0.06%	60	6.67%	7.14%
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	52,003.0	72,991	42.6	0.08%	60	8.33%	8.46%
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	71,681.8	450,400	8.9	0.01%	60	18.33%	21.22%
GANANCIA	TOTAL	579,193.4	630,746	20,189.6	3.49%	332	15.19%	14.70%
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	62,284.6	319	15,444.6	24.80%	89	62.92%	68.69%
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	167,232.6	7,218	2,111.3	1.26%	94	46.81%	51.03%
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	299,552.1	120,120	198.9	0.07%	79	17.72%	30.16%
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	75,185.2	103,104	28.4	0.04%	40	10.00%	11.16%
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	76,617.1	495,697	9.2	0.01%	60	15.00%	11.76%
PERDIDA	TOTAL	680,871.5	726,458	17,792.4	2.61%	362	15.08%	66.05%
	TOTAL	10,746,899.0	1,875,200	272,111.4	2.53%	1425	28.42%	90.07%

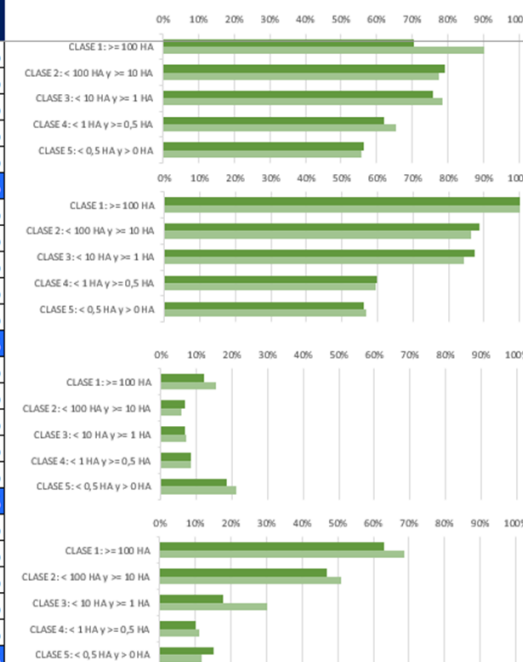


FIGURA 11. PRECISIÓN: MAPA DE DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL PARA EL PERIODO 2010 – 2016.

Finalmente, para el mapa de dinámica de cobertura del periodo 2010 – 2016, se construyó una matriz de error, la cual es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase (superficies según mapa), mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real (superficie según validación). Uno de los beneficios de las matrices de error es que facilitan ver si el sistema está confundiendo dos clases.

<i>Tabla estimacion de area</i>					
	<i>Bosque Estable</i>	<i>Ganancia de Bosque</i>	<i>No Bosque Estable</i>	<i>Perdida de Bosque</i>	Total General
<i>Bosque Estable</i>	2,694,645	8,028	254,938	39,137	2,996,747
<i>Ganancia de Bosque</i>	103,812	358,532	99,442	17,408	579,193
<i>No Bosque Estable</i>	6,366	678	6,479,856	3,187	6,490,087
<i>Perdida de Bosque</i>	102,057	14,193	126,399	438,222	680,872
<i>Area estimada (ha)</i>	2,906,879	381,431	6,960,635	497,953	10,746,899
<i>Area mapeada</i>	2,996,747	579,193	6,490,087	680,872	10,746,899
<i>Cambio (ha)</i>	89,868	197,762	-470,548	182,918	
<i>Cambio (%)</i>	3.00%	34.14%	-7.25%	26.87%	

TABLA 9. MATRIZ DE ERROR DEL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL PARA EL PERIODO 2010 – 2016.

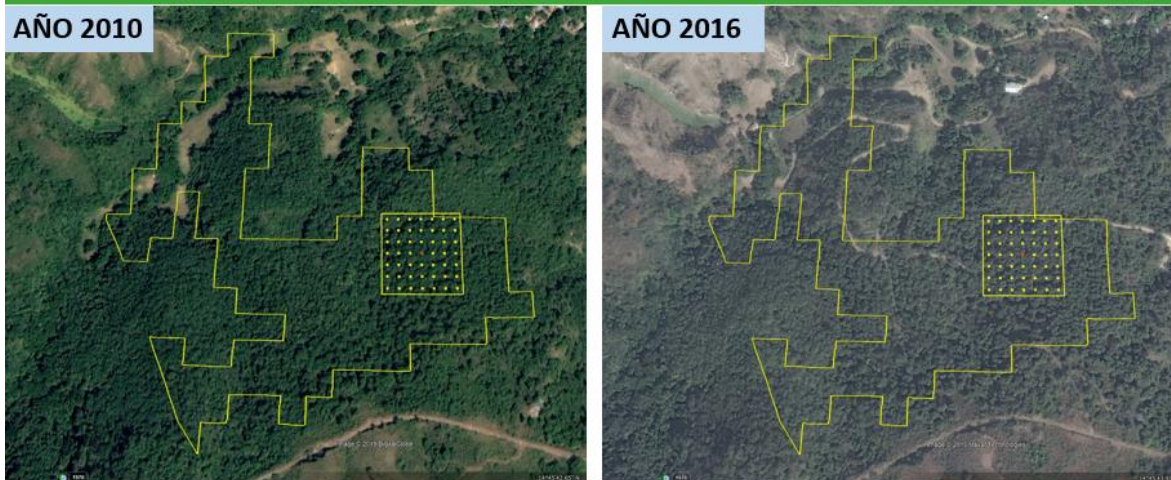
6 PRINCIPALES HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES

Generalmente se considera que existen dos tipos de error en los mapas o en las imágenes clasificadas (Pontius, 2000 y 2002; Carmel et al., 2001); los errores temáticos, que se refieren a errores de atributo (etiqueta), y los errores geométricos (de posición) en la delimitación de los polígonos o la ubicación de los píxeles. Estos dos tipos de error están estrechamente ligados y es difícil separarlos (Chrisman, 1989).

Uno de los principales hallazgos observados durante el proceso de validación de los mapas de dinámica de la cobertura forestal se identificó en las “falsas pérdidas” y “falsas ganancias” que se reportan en los mapas, este tipo de errores se deben principalmente a la clasificación de las imágenes, en este sentido, la fuente del error podría estar en la metodología aplicada en la clasificación o en el intérprete propiamente. Otro tipo de error identificado en los mapas corresponde a la delimitación de los polígonos (errores geométricos) y finalmente en la aplicación del concepto de bosque, ya que se identificaron aproximadamente el 70% de los polígonos con una superficie menor a 0.5 hectáreas, por lo tanto, no cumplen con el concepto de bosque.

En las siguientes imágenes, se representan diferentes ejemplos con respecto a los errores de clasificación, atributo, geometría y errores de concepto de bosque identificados en los mapas de dinámica de la cobertura forestal analizados en el presente reporte.

Ejemplo: FALSAS PÉRDIDAS



La imagen izquierda representa un polígono clasificado como bosque en el año 2010, el mismo polígono en la imagen izquierda para el año 2016 está clasificado como otros usos de no bosque, por lo tanto, en la dinámica de cobertura forestal se clasifica como “pérdida de bosque” o deforestación. Al comparar ambas imágenes se puede identificar que no existieron cambios entre el año 2010 y 2016, por lo tanto, su clasificación corresponde a “bosque estable”

FIGURA 12. EJEMPLO DE FALSAS PÉRDIDAS EN EL MAPA DE DINÁMICA FORESTAL PARA EL PERIODO 2010 – 2016.

Concepto de Bosque			
<p>Bosque: Superficie cubierta por árboles con un mínimo de cobertura de copa del 30%-40%, formando una masa continua de un mínimo de 0.5 hectárea (5 píxeles) con un ancho mínimo de 60 metros (2 píxeles).</p> <p><small>Fuente: INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG y URL. (2019). Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016.</small></p> <p>El tamaño del pixel para los mapas analizados es de 30m * 30m (0.09 ha); por lo tanto, aplicando el concepto de bosque, un pixel o un grupo menor a 5 pixel no podrían ser considerado como deforestación o aumento ya que no se considera bosque</p>			
Mapa: análisis multitemporal 2010 - 2016			
<p>Número de polígonos: 1,793,077 polígonos contiene el mapa multitemporal 2010 – 2016.</p> <p>Polígonos menores a 0.5 ha: 1,253,406 polígonos (70 %).</p> <p>Pérdida de bosque: 710,441 polígonos equivalen a 689,606 hectáreas en total.</p> <p>Pérdida de bosque: 501,514 (71%) polígonos equivalen a 87,017 ha (13%) que tienen una superficie menor que 0.5 hectáreas.</p>			
DINÁMICA	CLASE TAMAÑO POLÍGONO	Superficie (ha)	Nº Polígonos
BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	2,402,858.2	2,274
BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	347,273.7	12,655
BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	191,093.5	61,614
BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	28,973.5	40,688
BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	26,548.0	156,012
BOSQUE TOTAL		2,996,746.9	273,243
NO BOSQUE	CLASE 1: >= 100 HA	6,103,012.4	2,308
NO BOSQUE	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	210,169.9	7,514
NO BOSQUE	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	129,449.8	44,660
NO BOSQUE	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	24,080.9	33,702
NO BOSQUE	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	23,374.2	156,569
NO BOSQUE TOTAL		6,490,087.3	244,753
GANANCIA	CLASE 1: >= 100 HA	33,611.3	165
GANANCIA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	139,911.3	7,095
GANANCIA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	281,986.0	100,095
GANANCIA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	52,003.0	72,991
GANANCIA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	71,681.8	450,400
GANANCIA TOTAL		579,193.4	630,746
PERDIDA	CLASE 1: >= 100 HA	62,284.6	319
PERDIDA	CLASE 2: < 100 HA y >= 10 HA	167,232.6	7,218
PERDIDA	CLASE 3: < 10 HA y >= 1 HA	299,552.1	120,120
PERDIDA	CLASE 4: < 1 HA y >= 0,5 HA	75,185.2	103,104
PERDIDA	CLASE 5: < 0,5 HA y > 0 HA	76,617.1	495,697
PERDIDA TOTAL		680,871.5	726,458

FIGURA 13. APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE BOSQUE EN LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL.

Recomendaciones sobre el concepto de Bosque:

- Aplicar el concepto de bosque definido por el país, por lo tanto, se deben eliminar 1,258,678 polígonos del mapa de dinámica forestal 2010 – 2016, los cuales representan el 71% de todos los polígonos del mapa. La misma recomendación se debe aplicar para el mapa de dinámica forestal 2006 – 2010.

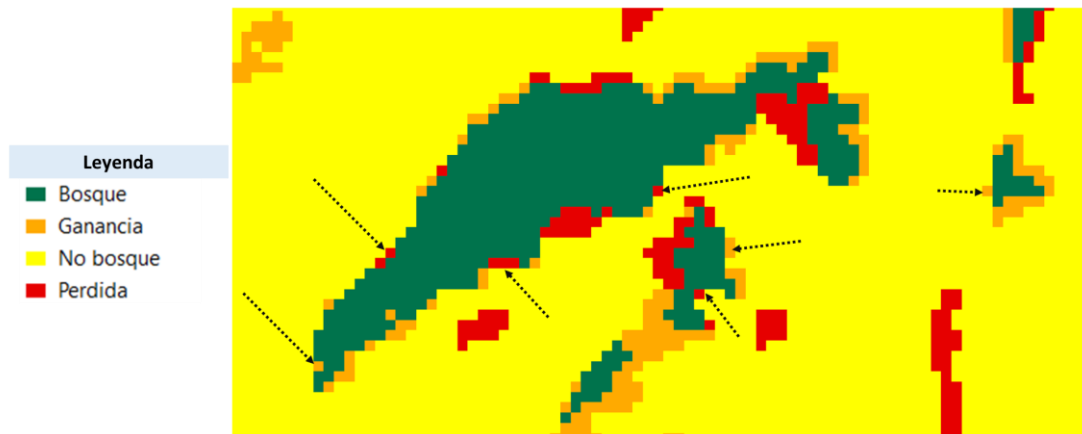


FIGURA 14. RECOMENDACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE BOSQUE EN LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL.

Recomendaciones sobre el método de mapeo:

- Realizar un análisis de cobertura forestal partiendo de una máscara de bosque del año 2006, a partir de esta máscara se debe realizar una clasificación para identificar las pérdidas de bosque y realizar los respectivos descuentos que correspondan.
- Para el mapeo de las ganancias de bosque, se recomienda partir de la máscara de no bosque del año 2006, con base a esta máscara se debe realizar una clasificación de las imágenes satelitales para identificar las ganancias de bosque y agregarlas a la capa original.
- Adicionalmente, con respecto al método de mapeo se recomienda utilizar mosaicos de imágenes satelitales libre de nubes; en este sentido, se sugiere aplicar diversas series temporales de Landsat para crear mosaicos compuestos mediante la aplicación de códigos en la plataforma de GEE; a través de esta plataforma, se puede tener acceso gratuito a la serie de imágenes y pre procesarlas sin tener que descargar sus bandas físicamente.

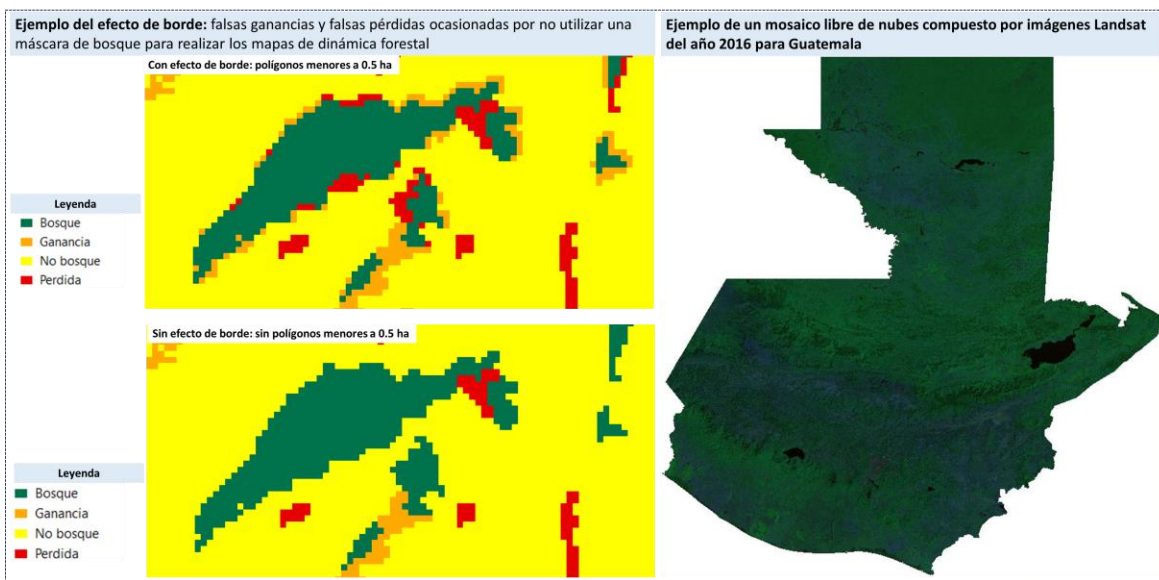


FIGURA 15. RECOMENDACIÓN PARA MEJORAR EL MÉTODO DE MAPEO EN LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL.

Recomendaciones sobre la topología y la geometría de los polígonos:

La topología se basa en un conjunto de clases de entidad que se encuentran en un dataset de entidades común. Con respecto a la geometría de un polígono, esta corresponde a una delimitación especificada que encierra cada entidad de entrada o cada grupo de entidades de entrada con respecto al objeto de una imagen. En este sentido, se han identificado una serie de polígonos que su proceso de digitalización no está asociado a lo que se refleja en la imagen, por tal razón, se recomienda aplicar un algoritmo para la segmentación de imágenes; a través de la segmentación se realiza una clasificación basado en objetos agrupando los píxeles vecinos según su similitud. La segmentación tiene en cuenta las características de color y de forma al decidir qué píxeles se deben agrupar. Como este método esencialmente promedia los valores de los píxeles y tiene en cuenta la información geográfica, los objetos que se crean a partir de la segmentación se asemejan más a las entidades del mundo real presentes en las imágenes y los resultados de la clasificación son más limpios

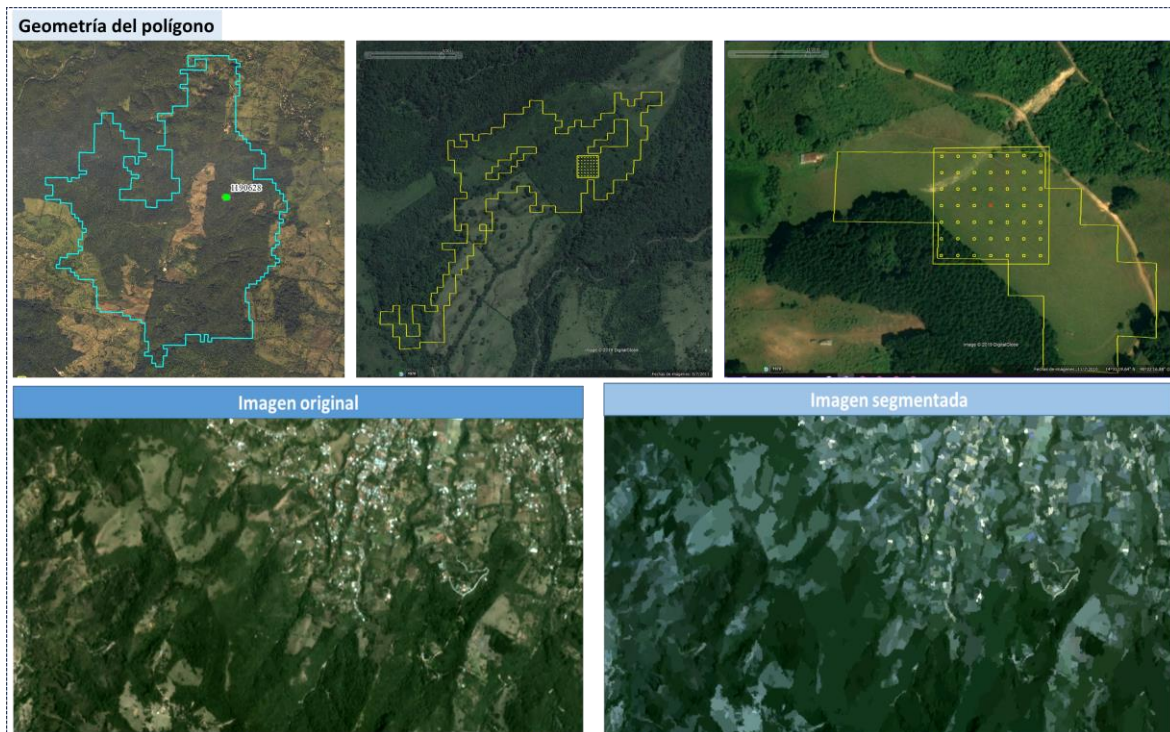


FIGURA 16. RECOMENDACIÓN TOPOLOGÍA DE LOS POLÍGONOS EN LOS MAPAS DE DINÁMICA FORESTAL.

6.1 PLAN DE ACCIÓN

Una propuesta de plan de acción para la conformación de los mapas de cobertura forestal y dinámica de cobertura forestal para el periodo 2006 – 2016 parte de conformar un equipo técnico conformado por diferentes especialistas en temáticas asociadas a la teledetección, los sistemas de información geográfica, análisis estadístico y un analista programador en informática capaces de administrar, procesar y analizar bases de datos geoespaciales junto con bases de datos gráfico numéricas para realizar análisis espectrales, análisis de clasificación de imágenes satelitales y códigos de programación en Google Earth Engine.

En este sentido, se propone el siguiente grupo de especialistas para la construcción de un mapeo digital de la cobertura y dinámica de cobertura nacional siguiente:

Plan de acción: Equipo de trabajo	Herramientas
6 Analistas en teledetección y SIG Actividad: Clasificación supervisada de imágenes satelitales	
1 Coordinador técnico Actividad: Supervisión y control de calidad de los productos	
1 Analista programador SIG Actividad: Generar códigos informáticos para la obtención de insumos para la generación de mapas	
1 Asesor técnico Actividad: Propuesta y seguimiento de metodología, coordinación con GIMBUT y control de calidad de los productos	
1 Analista estadístico Actividad: Generar bases de datos y análisis estadístico de los productos generado	

FIGURA 17. PLAN DE ACCIÓN: HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE TRABAJO PROPUESTO PARA LA MEJORA CONTINUA DE LOS MAPAS DE COBERTURA Y DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL

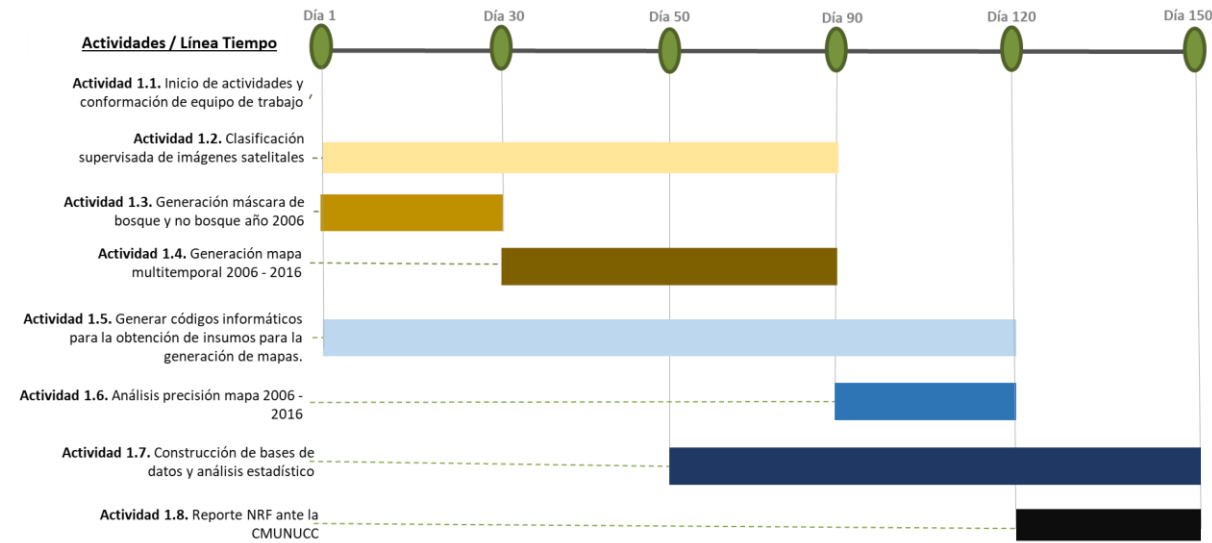


FIGURA 18. PLAN DE ACCIÓN: RUTA DE TRABAJO PROPUESTA PARA LA MEJORA CONTINUA DE LOS MAPAS DE COBERTURA Y DINÁMICA DE COBERTURA FORESTAL

7 REFERENCIAS

Carmel, Y., D. J. Dean y H. F. Curtís (2001), "Combining location and classification error sources for estimating multi-temporal database accuracy", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(7):865-872.

Cochran, W. G. (1980), *Técnicas de muestreo*, CECSA, México

Congalton, R. G. (1988), "A comparison of sampling scheme use in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(5):593-600.

Chrisman, N R., (1989), "Modeling error in overlaid categorical maps" *Accuracy of spatial databases*, Goodchild, M. y Gopal, S. (eds), Chapter 2, Taylor & Francis, London, pp. 21-34.

Dale, V. H. (1997). The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications*, 7, 753–769

INAB, CONAP, URL, UVG, MARN (2012). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010*.

INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG y URL. (2019). *Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016*.

Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad Rafael Landívar.

McAlpine, C. A., Syktus, J., Ryan, J. G., Deo, R. C., McKeon, G. M., McGowan, H. A., et al. (2009). A continent under stress: Interactions, feedbacks and risks associated with impact of modified land cover on Australia's climate. *Global Change Biology*, 15, 2206–2223.

Olofsson, P., Foody, G.M., Stehman, S.V., & Woodcock, C.E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131.

Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., & Wulder, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57.

Pontius R.G. (2000), "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8)1011-1016.

Pontius R. G. (2002), "Statistical methods to partition of quantity and location during comparison of categorical maps at múltiple resolutions", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10):1041-1049.

Stehman, S. V. (2000). Practical implications of design-based sampling inference for thematic map accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 72, 35–45.

Stehman, S. V. (2001). Statistical rigor and practical utility in thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 727–734.

Stehman, S.V., & Foody, G.M. (2009). Accuracy Assessment. (Chapter 21) *The SAGE Handbook of Remote Sensing*. London: Sage Publications Ltd, 297–309.

Stehman, S.V. (2013). Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sensing of Environment*, 132, 202–211.

Turner, B. L., II, Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 20666–20671.

Universidad Rafael Landívar-Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (URL-IARNA)