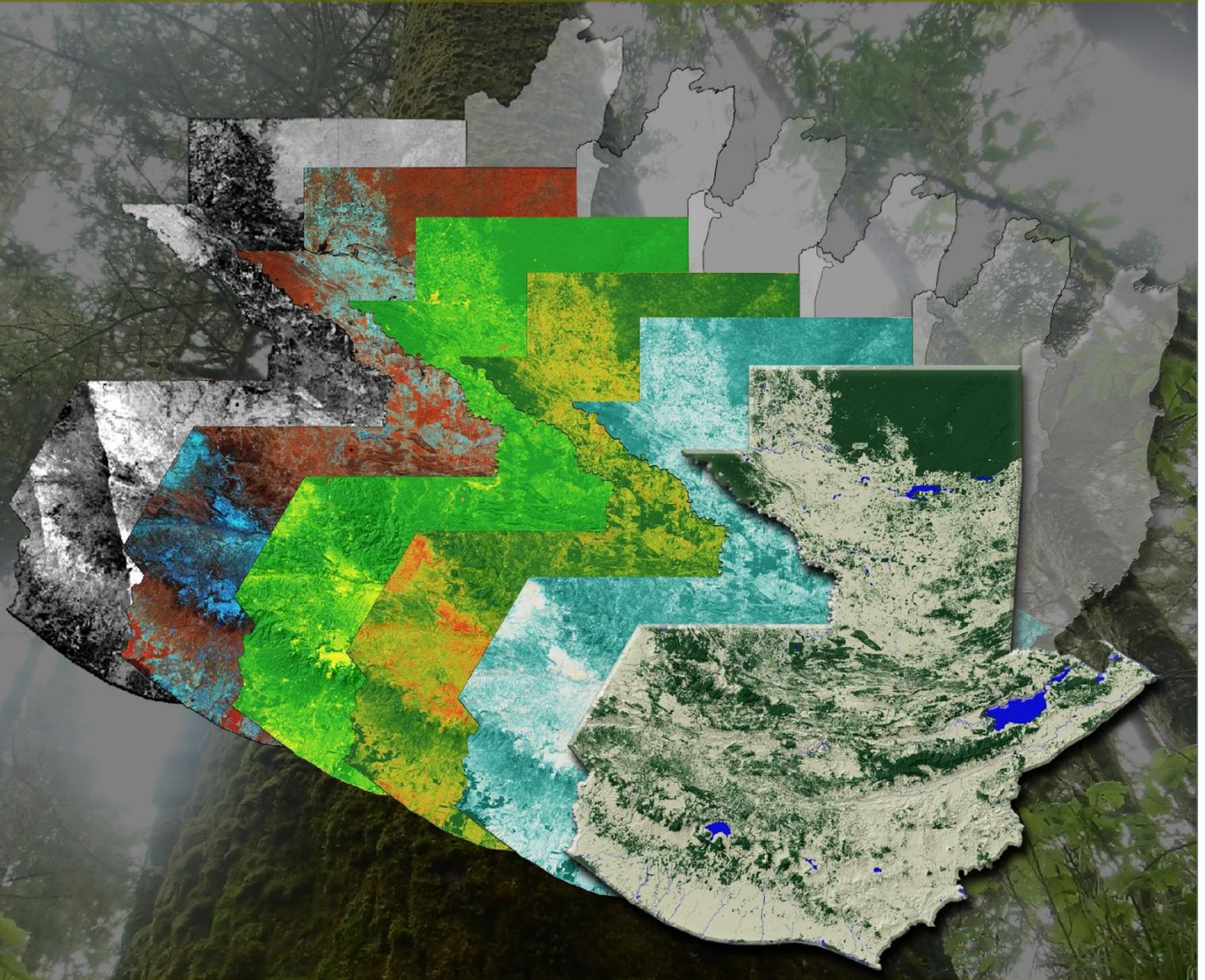


Estudio de la Cobertura Forestal para el año 2020 y Dinámica de la Cobertura Forestal en el periodo 2016-2020 República de Guatemala



Instituto Nacional de Bosques
Consejo Nacional de Áreas Protegidas



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



MINISTERIO DE
AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES



Instituto Nacional de Bosques
Consejo Nacional de Áreas Protegidas



Estudio de la Cobertura Forestal para el año 2020 y
Dinámica de la Cobertura Forestal en el
periodo 2016-2020
República de Guatemala

Con el apoyo de



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



MINISTERIO
DE AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES



UVG
UNIVERSIDAD
DEL VALLE
DE GUATEMALA



Guatemala, febrero 2023.

Estudio elaborado por:**Instituto Nacional de Bosques (INAB)**

Ing. Rony Estuardo Granados Mérida

Ing. Martir Gabriel Vásquez Us

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)

Ing. Carlos Virgilio Martínez López

Ing. Eduardo Fernando Palomo Barrios

Equipos técnicos institucionales:**INAB**

Adelso de Jesús Revolorio Quevedo

Danger Danilo Gómez Xutuc

Juan Manuel Custodio de León

Estuardo Alejandro Fuentes Argueta

Byron Alejandro Villeda Farfán

Luciano Silvestre Montejo

CONAP

Luis Manuel Lima Guillen

Marlin Alejandra George

Gilma Alejandra Gómez

Julián Enrique Zetina Tun

Wildlife Conservation Society (WCS)

Víctor Hugo Ramos

Colaboradores:**MAGA**

Rovoham Monzón

William Santos

MARN

Kenset Amaury Rosales Riveiro

José Gildardo Gálvez Mérida

UVG

Diego Incer Núñez

BID

Claudia Cecilia Saput Coj

Edgar Ulises Armas Guzmán

Análisis de precisión del mapa a partir de los datos del proyecto “Apoyo a la estrategia REDD+ para consolidar el abordaje de agentes de deforestación” financiado por FCPF, Banco Interamericano de Desarrollo BID, Universidad del Valle de Guatemala y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Como citar el documento:

INAB y CONAP (2023). Estudio de la Cobertura Forestal para el año 2020 y Dinámica de la Cobertura Forestal en el periodo 2016-2020, República de Guatemala

Índice del documento

Antecedentes	12
Resumen.....	13
1 Marco Conceptual.....	15
1.1 Percepción Remota o Teledetección.....	15
1.2 Radiación Electromagnética, su Espectro, Banda y la Luz	16
1.3 Sensores Remotos	19
1.4 El satélite Landsat 8.....	20
1.5 SEPAL	21
1.6 Google Earth Engine.....	21
1.7 Definiciones Consideradas en la Elaboración del Mapa de Cobertura Forestal y el Mapa de Dinámica de la Cobertura Forestal de Guatemala.	22
2.1 General.....	23
2.2 Específicos	23
3.1 Definición del área de estudio y su distribución entre las instituciones que lo llevaron a cabo	25
3.2 Elaboración del Mosaico de Imágenes Libre de Nubes.....	26
3.3 Elaboración y Adaptación de las Líneas de Código para la Clasificación	29
3.4 Elaboración de Muestra de Firmas Espectrales para el Entrenamiento Automático de la Clasificación Supervisada	29
3.5 Clasificación Supervisada.....	39
3.6 Limpieza del producto clasificado	44
3.7 Edición manual	44
3.8 Análisis de precisión de la cobertura forestal	45
3.9 Estimación de tasas de cambio	46

4.1	Cobertura Forestal.....	47
4.2	Dinámica de la cobertura forestal	51
4.3	Tendencia del proceso de ganancia y pérdida de bosque	55
4.4	Pérdida relativa de la cobertura forestal a nivel municipal.....	57
4.5	Pérdida bruta de cobertura forestal a nivel municipal	59
4.6	Ganancia relativa de cobertura forestal a nivel municipal.....	60
4.7	Ganancia bruta de cobertura forestal a nivel municipal.....	61
4.8	Cobertura forestal en Áreas Protegidas.....	62
4.9	Cobertura forestal por área protegida 2020	65
4.10	Dinámica de cobertura forestal 2016-2020 en Áreas Protegidas.....	66
4.11	Dinámica de la cobertura forestal por departamento	67
4.12	Análisis de precisión de los resultados del mapa.....	112
	Anexo 1. Líneas de código empleadas en GEE para la clasificación supervisada	120
	Anexo 2. Cobertura forestal a nivel municipal	124

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de una onda electromagnética.....	17
Figura 2. Representación del espectro electromagnético y su fracción visible por el ojo humano (Luz).....	18
Figura 3. Ruta de proceso que siguió la metodología empleada.....	24
Figura 4. Distribución de cuadrantes que ocupan el territorio de la República de Guatemala.....	26
Figura 5. Visualización del modelo de mosaico de imágenes libre de nubes, en la plataforma SEPAL	28
Figura 6. Representación gráfica de firma espectral de la cubierta vegetal.....	30
Figura 7. Visualización en composición de falso color del mosaico de imágenes libre de nubes en plataforma ArcGis Pro	32
Figura 8. Puntos establecidos y su interceptación con el mosaico de imágenes para la obtención de niveles digitales en el proceso de conformación de la muestra de entrenamiento.....	33
Figura 9. Estructura de una imagen digital	34
Figura 10. Resultados de las operaciones de análisis de bandas en la validación de puntos para la conformación de la muestra de entrenamiento	36
Figura 11. Distribución de los puntos ya evaluados para la conformación de muestra de entrenamiento en la región este de Guatemala	37
Figura 12. Distribución geográfica y gráfica de distribución normalizada de los puntos en el proceso de evaluación para la conformación de la muestra de entrenamiento	38
Figura 13. Representación gráfica del espacio de características y los grupos de píxeles de seis categorías, en la clasificación digital de imágenes	41
Figura 14. Esquema general del proceso de clasificación supervisada de imágenes.....	42
Figura 15. Representación del proceso configuración del algoritmo y carga de muestra para la clasificación automática supervisada en la plataforma de GEE	43
Figura 16. Ecuación empleada para determinar el tamaño de la muestra en la evaluación de precisión de los resultados de la clasificación temática.....	46
Figura 17. Mapa de cobertura forestal 2020	50
Figura 18. Mapa de dinámica de la cobertura forestal a nivel nacional 2016-2020	52

Figura 19. Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los cuatro periodos de estudio y su tendencia.....	56
Figura 20. Distribución de la pérdida bruta relativa de cobertura forestal a nivel municipal.....	58
Figura 21. Pérdida bruta de cobertura forestal a nivel municipal	59
Figura 22. Distribución de ganancia bruta relativa de cobertura forestal a nivel municipal	60
Figura 23. Distribución de ganancia bruta de cobertura forestal a nivel municipal	61
Figura 24. Cobertura forestal dentro y fuera del SIGAP	62
Figura 25. Porcentaje del territorio del SIGAP con cobertura forestal para el año 2020	63
Figura 26. Mapa de cobertura forestal dentro y fuera del Sistema Guatemalteco de áreas protegidas.....	64
Figura 27. Las cinco áreas protegidas con mayor cobertura forestal del SIGAP	66
Figura 28. Dinámica de la Cobertura Forestal en el Departamento de Guatemala Durante el período de Referencia 2016-2020.....	68
Figura 29. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Guatemala, Guatemala	69
Figura 30. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de El Progreso durante el período de referencia 2016-2020	70
Figura 31. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de El Progreso, Guatemala.....	71
Figura 32. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Sacatepéquez durante el período de referencia 2016-2020	72
Figura 33. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Sacatepéquez, Guatemala	73
Figura 34. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Chimaltenango durante el período de referencia 2016-2020	74
Figura 35. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Chimaltenango, Guatemala.....	75
Figura 36. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Escuintla durante el período de referencia 2016-2020	76
Figura 37. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Escuintla, Guatemala	77

Figura 38. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Santa Rosa durante el período de referencia 2016-2020	78
Figura 39. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Santa Rosa, Guatemala	79
Figura 40. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Sololá durante el período de referencia 2016-2020	80
Figura 41. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Sololá, Guatemala	81
Figura 42. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Totonicapán durante el período de referencia 2016-2020	82
Figura 43. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Totonicapán, Guatemala	83
Figura 44. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Quetzaltenango durante el período de referencia 2016-2020	84
Figura 45. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Quetzaltenango, Guatemala	85
Figura 46. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Suchitepéquez durante el período de referencia 2016-202	86
Figura 47. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Suchitepéquez, Guatemala.....	87
Figura 48. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Retalhuleu durante el período de referencia 2016-2020	88
Figura 49. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Retalhuleu, Guatemala	89
Figura 50. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de San Marcos durante el período de referencia 2016-2020	90
Figura 51. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de San Marcos, Guatemala	91
Figura 52. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Huehuetenango durante el período de referencia 2016-2020	92

Figura 53. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Huehuetenango, Guatemala	93
Figura 54. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Quiché durante el período de referencia 2016-2020	94
Figura 55. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Quiché, Guatemala	95
Figura 56. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Baja Verapaz durante el período de referencia 2016-2020	96
Figura 57. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Baja Verapaz, Guatemala	97
Figura 58. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Alta Verapaz durante el período de referencia 2016-2020	98
Figura 59. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Alta Verapaz, Guatemala	99
Figura 60. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Petén durante el período de referencia 2016-2020	100
Figura 61. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Petén, Guatemala	101
Figura 62. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Izabal durante el período de referencia 2016-2020	102
Figura 63. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Izabal, Guatemala	103
Figura 64. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Zacapa durante el período de referencia 2016-2020	104
Figura 65. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Zacapa, Guatemala	105
Figura 66. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Chiquimula durante el período de referencia 2016-2020	106
Figura 67. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Chiquimula, Guatemala	107

Figura 68. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Jalapa durante el período de referencia 2016-2020	108
Figura 69. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Jalapa, Guatemala	109
Figura 70. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Jutiapa durante el período de referencia 2016-2020	110
Figura 71. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Jutiapa, Guatemala	111
Figura 72. Distribución de muestras para la validación de la clasificación por categoría.....	113
Figura 73. Mapa de resultados de validación de muestras para evaluación de resultados de clasificación temática.....	115

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de bandas espectrales del sensor ETM+ (Landsat-7) frente a las de los sensores OLI y TIRS (Landsat-8).....	21
Tabla 2. Resultados del tratamiento estadístico de puntos en la conformación de muestras de entrenamiento.....	39
Tabla 3. Cobertura forestal del año 2020 a nivel nacional y por departamento	49
Tabla 4. Dinámica de cobertura forestal, pérdidas y ganancias a nivel departamental para el periodo 2016-2020.....	51
Tabla 5. Dinámica de cobertura forestal, cambios netos y tasas de cambio a nivel departamental para el periodo 2016-2020	53
Tabla 6. Reportes de cobertura forestal nacional estimada con referencia a partir del año 2001 (ha)	55
Tabla 7. Cobertura forestal en el SIGAP y fuera del SIGAP 2020.....	62
Tabla 8. Top 5 de áreas del SIGAP con mayor cobertura forestal en 2020.....	65
Tabla 9. Comportamiento de la cobertura forestal en el SIGAP de 2001 a 2020.....	67
Tabla 10. Análisis estadístico en la determinación del número de muestras para evaluar la precisión de la clasificación, por estrato	112
Tabla 11. Número de muestras utilizadas para cada estrato del mapa de cobertura forestal.....	112

Tabla 12. Matriz de confusión bruta (número de puntos verificados).....	113
Tabla 13. Matriz de confusión ajustada (porción del área).....	114
Tabla 14. Estimación de las áreas de cada categoría	114

Antecedentes

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en coordinación con otras instituciones tales como; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) el sector académico de Guatemala, SEGEPLAN y WCS, han venido desarrollando esfuerzos conjuntos, adoptando metodologías que optimice el procesamiento de datos para el monitoreo de los bosques de Guatemala.

Entre los productos que han surgido de los esfuerzos conjuntos entre estas y otras instituciones se encuentran los siguientes:

- Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra 2003
- Mapa de cobertura forestal y su dinámica 2001-2006
- Mapa de cobertura forestal y su dinámica 2006-2010
- Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra 2010
- Mapa de cobertura forestal y su dinámica 2010-2016
- Mapa de cobertura forestal y su dinámica 2006-2016

El mapeo de la cobertura forestal de la República de Guatemala para el año 2020 y su dinámica para los años 2016 - 2020, se suma como un logro más alcanzado de la coordinación interinstitucional del país, el cual se encuentra enmarcado en la Política General de Gobierno 2020-2024; en la cual se considera como una acción estratégica, siendo esta: “Para 2020 promover la conservación sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, priorizando la conservación de los bosques, detener la deforestación, recuperar los bosques degradados y aumentar considerablemente la reforestación”, dentro del objetivo sectorial de “Propiciar el

fomento del desarrollo social, cultural, económico y territorial en un entorno que sea amigable con el medio ambiente”.

Parte esencial del desarrollo sostenible de Guatemala es conocer el estado de sus recursos; el recurso bosque es uno de los de mayor importancia en planes y políticas de desarrollo sostenible de recursos naturales, tales como el Plan de Desarrollo K'atún 2032; específicamente en el Eje 4 “Recursos Naturales para hoy y el futuro”; eso además de que el recurso bosque forma parte integral en los Objetivo de Desarrollo Sostenible, específicamente en el objetivo 15 “Vida de ecosistemas terrestres”.

Resumen

El estudio de cobertura forestal de la República de Guatemala para el año 2020 y dinámica de la cobertura forestal de la República de Guatemala para el periodo 2016-2020, elaborados a partir de la coordinación interinstitucional, incorpora las capacidades adquiridas institucionalmente y la mejora de la metodología empleada en la elaboración del Mapa: Dinámica de cambio en la cobertura forestal de Guatemala para el período 2006-2016; en el marco de la segunda fase del proyecto: Consolidación de la estrategia nacional REDD+ de Guatemala. Compartiendo similitudes en la construcción y análisis de una serie de tiempo al generar un mosaico de imágenes libre de nubes, emplear el método de clasificación supervisada mediante aprendizaje automático, utilizando el algoritmo de bosques aleatorios a través de la plataforma de Google Earth Engine (GEE), con la incorporación de índices espectrales como NDVI, NDWI, NDWBI, NDSI, NBR e imágenes radar de apertura sintética (SAR), edición manual, control de calidad y análisis de precisión.

Según los resultados se identificó que para el año 2020 aproximadamente el 33.3% del territorio nacional cuenta con cobertura forestal lo cual representa 3,601,567 hectáreas. Del total

de la cobertura forestal el 50.9% (1,831,704.7 hectáreas) se encuentra dentro de áreas protegidas y el 49.1% (1,769,862.1) fuera del SIGAP.

Respecto de la dinámica de cambio en la cubierta forestal de la República de Guatemala, para el período 2016–2020, las pérdidas en bruto se contabilizaron en 244,395 hectáreas. Mientras que la recuperación de la cobertura forestal (ganancia) ascendió a 191,658 hectáreas. Lo cual se traduce en un cambio neto de -52,736 hectáreas en el período. Las pérdidas anuales de cobertura forestal del período fueron de 61,099 ha/año, mientras que la recuperación de cobertura forestal fue de 47,915 ha/año, lo que representa un cambio anual neto de -13,184 hectáreas, correspondientes a una tasa de cambio anual en la cobertura forestal de -0.36% respecto de la cobertura forestal existente en el año 2016.

Los departamentos que presentaron las mayores reducciones de cobertura forestal son, en su orden: Petén, Alta Verapaz, Izabal, Quiché, Huehuetenango, Escuintla, Chimaltenango y Baja Verapaz sumando un total de 222,565 hectáreas que representan el 91% de las pérdidas totales, departamentos en los que la recuperación de la cobertura forestal fue de 162,544 hectáreas, que representan el 84.81% del total de ganancias. Mientras que los departamentos en los que la cobertura forestal tuvo una recuperación mayor a las pérdidas estimadas son:

Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Quetzaltenango y Zacapa, sumando sus ganancias 24,636 hectáreas, que representan el 12.85% del total de ganancias, mientras sus pérdidas sumaron un total de 10,798 hectáreas que corresponden a un total de 4.42%.

La importancia del ejercicio comparativo de los períodos de estudio de la cobertura forestal del país radica en conocer la tendencia de sus estadísticas, para mejorar los esfuerzos y la administración de los recursos nacionales en aras de conservar y aumentar los recursos forestales del país. De tal cuenta que las pérdidas y ganancias de cobertura forestal del periodo 2016-2020

contrastado con los estudios realizados en diferentes periodos, evidencia una marcada tendencia gradual en la estabilización de la cobertura forestal del país, pasando de 4,089,852 ha. en 2001, 3,802,370 ha. en 2006, 3,675,786 ha. en 2010, 3,654,303 en 2016 a 3,601,567 para el 2020, que pudiera explicarse en la recuperación de los bosques asociado al manejo forestal sostenible, la incorporación de nuevas áreas protegidas, la regeneración natural en tierras ociosas, la reforestación apoyada por la incorporación de tierras a los programas de incentivos forestales y la diversificación de sus modalidades, la concientización sobre la importancia de los bosques y las implicaciones del cambio climático, así como la integración de los esfuerzos interinstitucionales con actores particulares a favor del sector forestal.

1 Marco Conceptual

1.1 Percepción Remota o Teledetección

El Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra [ITC, por sus siglas en inglés] (2001), en su publicación Principios de la teledetección, presenta tres definiciones de la teledetección misma, con igual número de fuentes, con las que concuerda y de las cuales puede resumirse:

La ciencia y arte de adquirir, procesar, analizar e interpretar imágenes, producto del registro de la interacción de la energía electromagnética con la materia, empleando técnicas, métodos e instrumentación de observación de la tierra a distancia, con el propósito de conocer, describir u obtener información sobre objetos, áreas o fenómenos (Sabins; Lillesand y Kiefer;

Buiten y Clevers; citados en The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences [ITC], 2001). Enfatizando que las fotografías aéreas también se consideran datos de imagen, que existe amplia gama de sensores remotos, pues los vinculados a una determinada

plataforma se clasifican según la distancia a la superficie de la tierra con que operan, ya sean aerotransportados y espaciales. En el mismo sentido, menciona que la energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre es la característica medida por un sensor, y está relacionada con algunas partes específicas del espectro electromagnético, generalmente el visible (luz), pero también puede ser el infrarrojo o las ondas de radio.

El proceso de teledetección, parte de la generación de datos (imágenes) mediante un sistema sensor a los que se les realiza un análisis, apoyado en observaciones en terreno, para la generación de información, mapas temáticos, sobre los fenómenos de tipo espacial que serán organizados y analizados junto a otros tipos de datos, en una base de datos espacial y que permitirán así soportar los procesos de toma de decisión sobre la planificación y gestión del territorio. (Espejo, 2016, pp. 36-37).

1.2 Radiación Electromagnética, su Espectro, Banda y la Luz

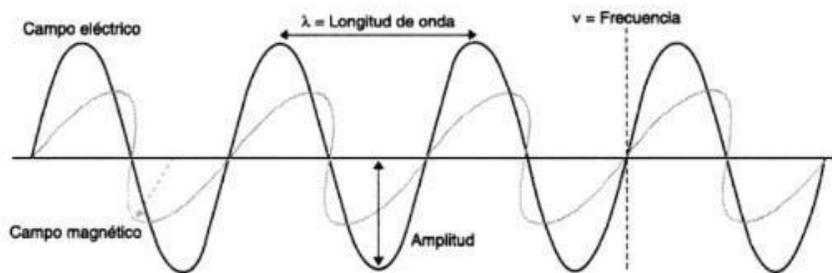
Los fundamentos de la teledetección se conocen desde el campo de la física, en los ámbitos de la óptica y la electrónica. Pues la percepción remota es posible debido a la interacción del flujo energético (radiación electromagnética), con las cubiertas terrestres, que se explica por la teoría física ondulatoria y la cuántica. Mientras la teoría ondulatoria establece que, la radiación electromagnética es un fenómeno ondulatorio de propagación en el que actúan dos campos perpendiculares: el magnético (longitud de onda) y el electrónico (la frecuencia). La teoría cuántica nos explica el fenómeno de la radiación electromagnética basándose en sus propiedades energéticas (Universidad de Salamanca, 2006). En este mismo sentido, Chuvieco (2008) menciona:

Históricamente las propiedades de la radiación electro-magnética se han explicado por dos teorías aparentemente contrapuestas: aquella que la concibe como un haz ondulatorio (Huygens, Maxwell), y aquella otra que la considera como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero (Planck, Einstein). Las dos teorías se pueden compaginar, pues se ha demostrado que la luz presenta comportamientos que pueden explicarse de acuerdo a ambos planteamientos.

Según la teoría ondulatoria, la energía electro-magnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: eléctrico y magnético (Chuvienco, 2008, p. 44).

La figura 1, representa la forma y movimiento de las ondas electromagnéticas en los campos referidos en la teoría ondulatoria. Mientras la figura 2, el espectro electromagnético y su fracción visible.

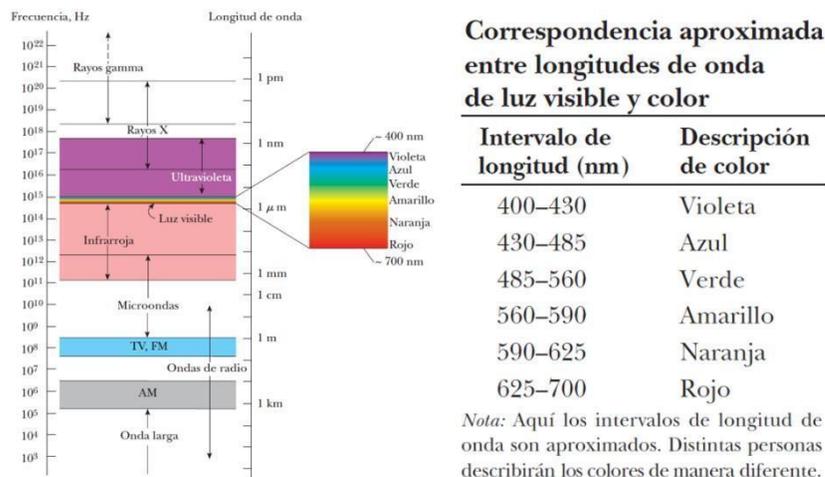
Figura 1. Esquema de una onda electromagnética



Nota: Tomado de Teledetección ambiental (p. 45), por E. Chuvienco, 2008.

La radiación electromagnética puede cubrir de forma continua todo un amplio rango de longitudes de onda. Este rango se conoce como espectro electromagnético. Pese a la continuidad de sus valores, es habitual agruparlos en regiones, discretizando la amplitud del espectro, ya que las radiaciones en longitudes de onda similares presentan a su vez comportamientos similares en muchos sentidos. (Olaya, 2014, p. 126).

Figura 2. Representación del espectro electromagnético y su fracción visible por el ojo humano (Luz)



Nota: Adaptado de Física para ciencias e ingeniería con física moderna Vol. 2 (pp. 967-968), por R. A. Serway y J. W. Jewett, 2009.

De acuerdo con Serway y Jewett (2009), los nombres que se han asignado a cada tipo de onda son simplemente una forma conveniente de describir la región del espectro electromagnético en el que se encuentran, pues no existe una división clara entre un tipo de onda y la siguiente, ya que todas las formas de los diversos tipos de radiación son producidas por el mismo fenómeno de cargas eléctricas en aceleración. Indican que la sensibilidad del ojo humano es una función de la longitud de onda, y que las contenidas dentro del espectro visible, que es la luz, van desde el rojo aproximadamente ($\lambda \approx 7 \times 10^{-7}$ m.) hasta el violeta ($\lambda \approx 4 \times 10^{-7}$ m.), y afirman que la luz es el principal medio por el cual es posible transmitir y recibir información hacia y desde objetos situados en el entorno inmediato y en todo el universo. Agregando que entre las ondas infrarrojas se encuentra la longitud de onda más larga de luz visible, y que las ondas infrarrojas son fácilmente absorbidas por la mayor parte de los materiales.

1.3 Sensores Remotos

En un sistema de teledetección, los elementos tecnológicos principales que lo definen son: el sensor y la plataforma. El sensor es el elemento que incorpora la capacidad de leer la radiación electromagnética y registrar su intensidad dentro de una zona concreta del espectro. Mientras que la plataforma es el medio en el que se sitúa el sensor y desde el cual se realiza la observación, pudieron ser aviones, satélites, etc. Las características de estos dos elementos definen las del sistema en su conjunto, así como las propiedades de sus productos derivados y la utilidad que estos presentan (Olaya, 2014).

ITC (2001), menciona que algunos de los sensores son conocidos como pasivos y otros activos. Los primeros requieren de una fuente de energía externa que normalmente es el sol o de emisiones provenientes de la Tierra, y registran el espectro electromagnético en el rango de los rayos gamma a las microondas y ondas de radio. Mientras que los segundos poseen su propia fuente de energía, la cual está más controlada, pues no depende de las condiciones de iluminación, ya que utilizan láser y radar.

Respecto de los sistemas de percepción remota pasivos, (Sarría, 2006; como se citó en Espejo 2016) menciona que un sistema óptico-electrónico al escanear la superficie de interés, la radiación electromagnética recibida se canaliza hacia detectores que la captan de acuerdo a la región del espectro al que pertenece cada onda que luego se amplifica, convierte en señal eléctrica y finalmente en un valor numérico conocido como Nivel Digital.

Por su parte, Olaya (2014), menciona que, aunque el producto habitual de la teledetección son las imágenes, algunos sensores recogen valores que no se corresponden con el concepto de Nivel Digital. Esto debido a que la diferencia fundamental de los sensores activos, respecto de

los pasivos, es que, al emitir su propia radiación, pueden funcionar en cualquier instante y no dependen de las condiciones atmosféricas o de la luz solar. Generalmente trabajan en el rango de microondas (frente a los sensores pasivos, que lo hacen en el espectro visible y el infrarrojo principalmente), y son capaces de atravesar la atmósfera en prácticamente todas las condiciones.

1.4 El satélite Landsat 8

El satélite Landsat 8 (anteriormente Landsat Data Continuity Mission, o LDCM) se lanzó el 11 de febrero de 2013. Incorpora dos sensores que sus antecesores no poseían, el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS). El primero mide y recopila datos de imagen para 9 bandas espectrales de onda corta en las porciones del espectro electromagnético visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VNIR, NIR y SWIR), ha refinado el ancho de 6 bandas heredadas de sus antecesores, adicionando dos bandas más, una (Banda 1) para estudios de aerosoles y aguas costeras, y otra (Banda 9) para la detección de cirros. Mientras que el segundo sensor registra en otras dos bandas adicionales, la energía infrarroja térmica de onda larga, diferenciando la temperatura de la atmósfera y de la superficie terrestre. Ambos sensores proporcionan un rendimiento radiométrico SNR mejorado cuantificado en un rango dinámico de 12 bits, que se traduce en 4096 niveles de gris potenciales en una imagen en comparación con los 256 niveles de gris en los instrumentos anteriores de 8 bits, permitiendo una mejor caracterización del estado y la condición de la cobertura terrestre. Las imágenes Landsat 8 tienen resoluciones espaciales pancromáticas de 15 metros y multiespectrales de 30 metros (USGS, s. f.).

En la tabla 1 se comparan las bandas del espectro electromagnético que los sensores Landsat 7 y Landsat 8 registran en imágenes digitales que el USGS provee.

Tabla 1. Comparación de bandas espectrales del sensor ETM+ (Landsat-7) frente a las de los sensores OLI y TIRS (Landsat-8)

Landsat-7 ETM+				Landsat-8 OLI y TIRS			
Banda	Nombre	Resolución espacial	µm	Banda	Nombre	Resolución espacial	µm
				1	Coast/Aerosol	30 m.	0.435 - 0.451
1	Blue	30 m.	0.441-0.514	2	Blue	30 m.	0.452 - 0.512
2	Green	30 m.	0.519-0.601	3	Green	30 m.	0.533 - 0.590
3	Red	30 m.	0.631 - 0.692	4	Red	30 m.	0.636 - 0.673
4	NIR	30 m.	0.772 - 0.898	5	NIR	30 m.	0.851 - 0.879
5	SWIR-1	30 m.	1.547 - 1.749	6	SWIR-1	30 m.	1.566 - 1.651
6	TIR	60 m.	10.31 - 12.36	10	TIR-1	100 m.	10.60 - 11.19
				11	TIR-2	100 m.	11.50 - 12.51
7	SWIR-2	30 m.	2.064 - 2.345	7	SWIR-2	30 m.	2.107 - 2.294
8	Pan	15 m.	0.515 - 0.896	8	Pan	15 m.	0.503 - 0.676
				9	Cirrus	30 m.	1.363 - 1.384

Nota: Adaptado de Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, (p. 10), (United States

Geological Survey [USGS], 2019)

1.5 SEPAL

SEPAL (por sus siglas en inglés), es como se conoce al sistema de acceso de datos de observación de la Tierra, procesamiento y análisis para la vigilancia de la superficie terrestre.

Es un proyecto del Departamento Forestal de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) financiado por el Gobierno de Noruega, mediante la iniciativa internacional sobre el clima y los bosques NICFI. (FAO, 2019)

1.6 Google Earth Engine

Es una herramienta de Google, igualmente de acceso libre, gratuito y en línea para los usuarios, que sirve para analizar información geoespacial variada cuya infraestructura técnica impulsa iniciativas humanitarias, científicas y medioambientales que Google apoya. Su archivo de datos públicos incluye más de treinta años de imágenes históricas y conjuntos de datos científicos, actualizados y ampliados diariamente, en más de cuarenta petabytes de datos

geoespaciales disponibles al instante para su análisis. Combina la potencia informática escalable de nivel local, regional y global de Google Earth, con una API simple disponible en Python y JavaScript, incorpora un editor de código basado en la web para el desarrollo rápido e interactivo de algoritmos, que permiten implementar flujos de trabajo y facilitar el aprovechamiento del poder de la nube de Google para el análisis geoespacial particular del usuario. (Google Earth Engine [GEE], s.f.)

1.7 Definiciones Consideradas en la Elaboración del Mapa de Cobertura Forestal y el Mapa de Dinámica de la Cobertura Forestal de Guatemala.

Para identificar la cobertura forestal se consideraron las siguientes definiciones:

Árbol: Planta leñosa con fuste y copa definida con crecimiento secundario que en su estado de madurez alcanza una altura mínima de 5 metros y un diámetro mínimo de 10 cm. Con este concepto se excluyen los bambúes y las palmas.

Bosque: Superficie cubierta por árboles con un mínimo de cobertura de copa del 30%-40%, formando una masa continúa de un mínimo de 0.5 hectárea (5 píxeles) con un ancho mínimo de 60 metros (2 píxeles). (INAB, CONAP, UVG y URL, 2012, pág. 14)

Plantación: Es una masa arbórea; son bosques establecidos por siembra directa o indirecta de especies forestales. (Guatemala, 1996) (Decreto 101-96. Ley Forestal)

2 Objetivos

2.1 General

Determinar la superficie de cobertura forestal en Guatemala para el año 2020 y la dinámica de cobertura forestal para el período 2016-2020.

2.2 Específicos

Determinar la cobertura forestal de la República de Guatemala para el año 2020.

Determinar la dinámica de cobertura forestal de la República de Guatemala para el período 2016 al 2020.

Estimar tasas de cambio de la cobertura forestal de las áreas de pérdida, ganancia y sin cambios; actualizadas a la fecha del estudio a escala nacional, departamental, municipal y en áreas protegidas.

3 Metodología

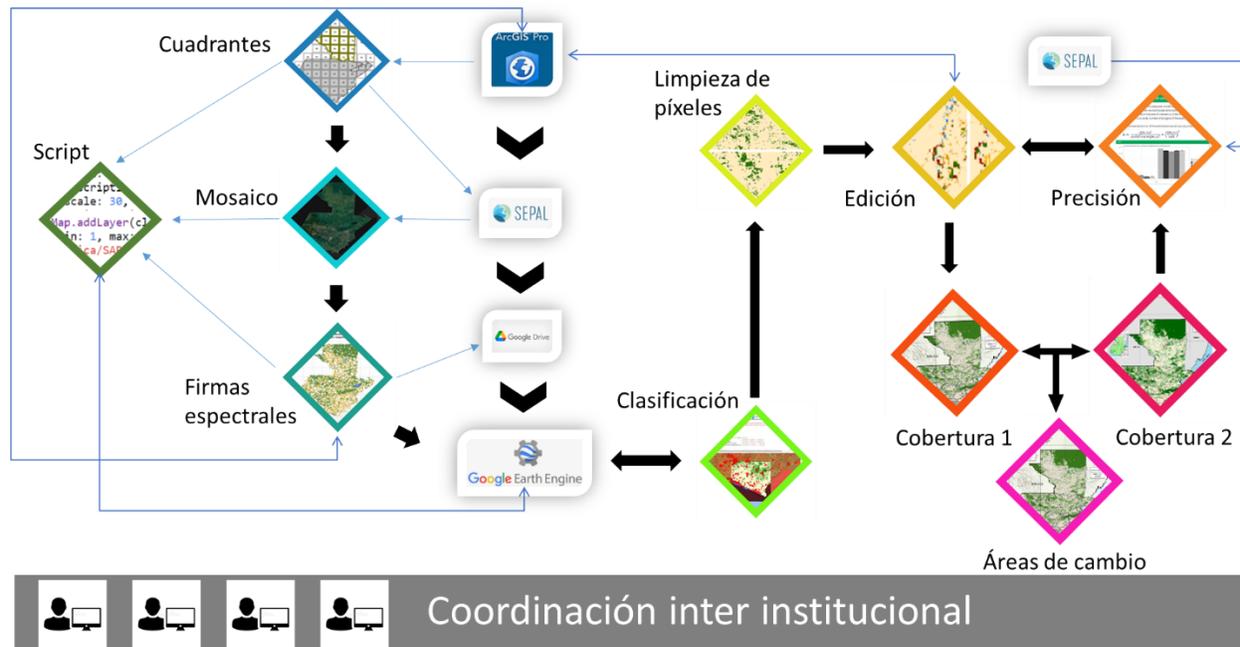
Chuvieco (1996), menciona que las imágenes pueden interpretarse digital o visualmente, dada la forma de obtención de estas, al ser producto de una conversión analógico-digital.

Indicando que debe separarse la idoneidad del método de análisis que se elija, para obtener el mejor provecho de las bondades que la teledetección ofrece, tomando en cuenta los medios económicos y humanos disponibles, la rapidez y precisión requerida, el tipo y continuidad de las tareas, así como la homogeneidad de la superficie analizada. Sobre lo cual concluye que ambos métodos de trabajo son complementarios.

La figura 3 muestra los procesos llevados a cabo en la implementación de la metodología del estudio, cuya clasificación fue basada en la respuesta espectral captada en los píxeles e

índices espectrales de las bandas de la imagen digital de la superficie del área de estudio, mediante el reconocimiento de patrones y aprendizaje automático supervisado, a través del algoritmo de bosques aleatorios para la clasificación temática de un mosaico libre de nubes, integrado por imágenes Landsat-8 obtenidas del servicio geológico de los Estados Unidos de América (USGS), de una serie de tiempo de 4 años (periodo 2016-2020). Para lo cual se emplearon herramientas tecnológicas de acceso libre como SEPAL de Open Foris de la FAO, Google Earth Engine; y los programas de licenciamiento de ArcGis y ERDAS IMAGINE.

Figura 3. Ruta de proceso que siguió la metodología empleada



Nota: Elaboración propia.

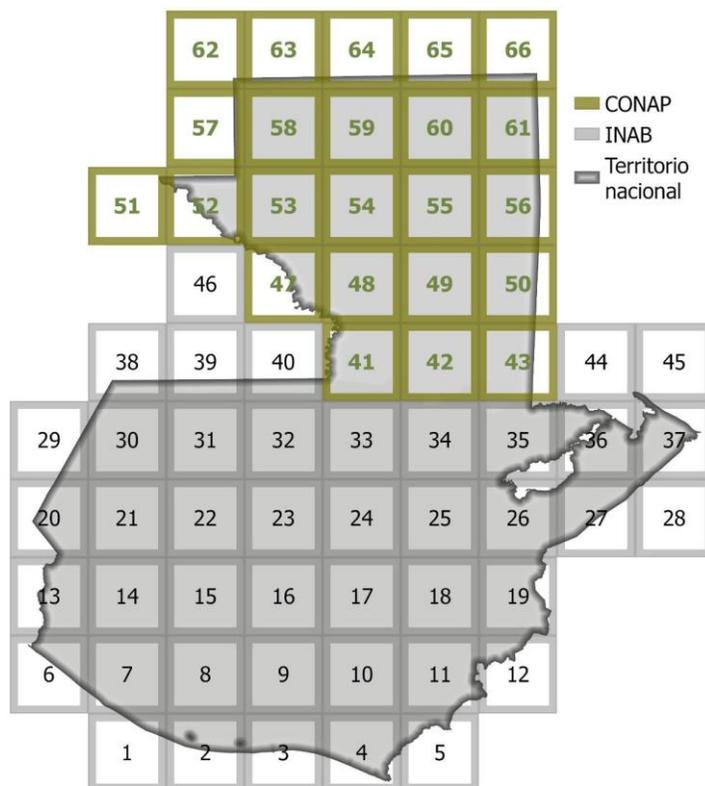
El área de estudio definido por los límites geoespaciales del territorio de Guatemala, se dividió en cuadrantes para mejorar los resultados de la clasificación supervisada, facilitar la inspección del producto clasificado y distribuir las cargas laborales, sirviendo de base para generar el mosaico de imágenes digitales libre de nubes, a partir de los cuales se generó una muestra de firmas espectrales, y con la adaptación de las líneas de código del script utilizado, se

llevó a cabo la clasificación dando como resultado un modelo a partir del cual se creó una capa raster en formato .tiff que posteriormente fue sujeta de limpieza de píxeles y edición manual para después hacer el análisis de precisión al mapa y finalmente el mapa de cobertura forestal. La combinación del mapa de cobertura forestal del año inicial del estudio con el mapa de cobertura forestal del año 2020, da como resultado el mapa de dinámica de la cobertura entre el periodo transcurrido entre los años de referencia.

3.1 Definición del área de estudio y su distribución entre las instituciones que lo llevaron a cabo

Debido a que la naturaleza del estudio es determinar cuantitativamente la superficie con cobertura forestal del territorio de Guatemala, así como su distribución dentro del territorio nacional, y los cambios que ha tenido entre el año 2016 y el año 2020. Por consiguiente, el área de estudio se limita a la extensión territorial de la República de Guatemala de 108,889 kilómetros cuadrados (Banco de Guatemala [BANGUAT], 2022), la cual se dividió en sesenta y seis cuadrantes (ver figura 4). Los cuadrantes que ocupan el territorio del departamento del Petén estuvieron a cargo del Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- y el Centro de Monitoreo de Estudios del CONAP -CEMEC-, y el resto del país fue realizado por el Instituto Nacional de Bosques -INAB-.

Figura 4. Distribución de cuadrantes que ocupan el territorio de la República de Guatemala



Nota: Elaboración propia

3.2 Elaboración del Mosaico de Imágenes Libre de Nubes

Para la elaboración del estudio, se requirió de dos mosaicos de imágenes libres de nube, uno con referencia en el año 2016 y otro en el año 2020. Para el primero, se utilizó el mosaico con el que se elaboró el Mapa de la dinámica de cambio en la cobertura forestal de Guatemala para el periodo 2006-2016, elaborado en el marco del proyecto de Consolidación de la Estrategia Nacional REDD+ de Guatemala. El mosaico con referencia en el año 2020 fue construido mediante la plataforma SEPAL, a partir de imágenes Landsat 8, teniendo como fuente el USGS.

Para evitar los efectos de borde en la elaboración del mosaico de imágenes, y evitar distorsiones en las cercanías a los límites del territorio nacional al realizar la clasificación

temática, se creó una zona de amortiguamiento de 1,000 metros de radio a partir de los límites del polígono del territorio nacional.

Para la utilización de la plataforma SEPAL y GEE es necesario contar con una cuenta, por lo cual se registró cuenta de usuario, tanto en la plataforma de SEPAL como en la de GEE. Es necesaria la vinculación entre ambas cuentas, al ser una carpeta de origen de Google Drive el destino del producto de salida (Mosaico de imágenes) predefinida por SEPAL, fuera de su plataforma, y de donde se gestionan y crean los archivos activos (Asset) de GEE. La configuración de las características requeridas para el mosaico de imágenes libre de nubes dentro de la plataforma SEPAL y su modelo de mosaico se representa en la figura 9. El cual se configurado con los siguientes parámetros:

Los límites del área de estudio que se corresponden con el territorio de Guatemala y sus límites.

Buffer de 1000 metros utilizando el límite del territorio de Guatemala.

El sensor y tipo de imágenes digitales, que para el caso fue Landsat 8.

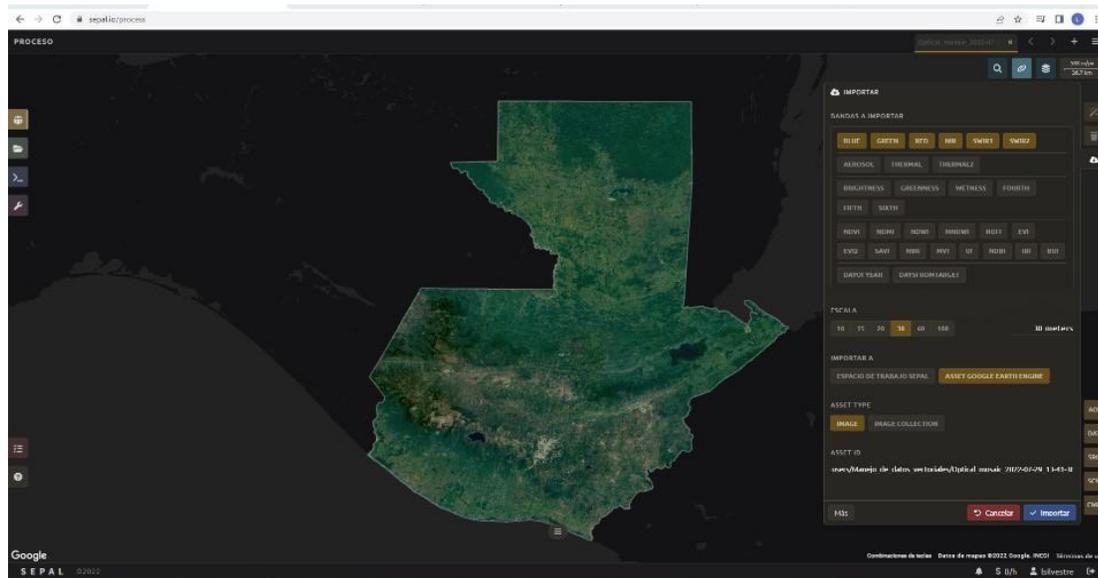
La serie de tiempo de observación del sensor a la superficie terrestre en el área de estudio correspondió al año 2020.

El porcentaje de nubosidad presente menor al 30%, y correcciones atmosféricas
Resolución espacial de 30 m. X 30 m.

Resolución espectral de 6 bandas correspondientes a las bandas Azul, Verde, Rojo, NIR, SWIR1 y SWIR2.

En la figura 5 se puede observar el modelo de mosaico de imágenes libre de nubes, previo a su producción en la plataforma SEPAL.

Figura 5. Visualización del modelo de mosaico de imágenes libre de nubes, en la plataforma SEPAL



Nota: Elaboración propia en plataforma SEPAL.

Las imágenes utilizadas para el mosaico tienen la corrección de reflectancia superficial atmosféricamente y los efectos de la función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF) corregida.

La duración del tiempo en el proceso de reproducción del mosaico, luego de la configuración de sus parámetros y propiedades, depende de los servidores de la nube y la descarga de la capacidad y calidad de la señal del servicio de internet con que se cuente, lo cual puede suceder de unos pocos minutos a unas cuantas horas.

El proceso se dio por concluido, toda vez que el producto resultante de la plataforma SEPAL se cargó y visualizó en GEE. Posteriormente, en la misma plataforma de GEE se exportó en formato “.tif”, alojándose automáticamente en Google Drive, de donde se descargó para ser guardado en una carpeta de archivo creado específicamente para el mismo, de donde se puso a disposición para su utilización por los usuarios SIG.

3.3 Elaboración y Adaptación de las Líneas de Código para la Clasificación

En la actualidad se sigue una tendencia de sistematización y automatización de procesos, independientemente del sector o industria. El aprovechamiento de los avances tecnológicos que apoyen la gestión del territorio y los recursos naturales es impostergable. En ese sentido, y como se indicó anteriormente, respecto de que se utilizarían los recursos tecnológicos vanguardistas disponibles y de acceso libre para la realización del estudio, es que se empleó una de las herramientas más potentes y universales con las que se cuentan hoy en día, a decir de la plataforma de Google Earth Engine, aprovechando sus bondades de codificación y repositorios de acceso a códigos de otros usuarios, imágenes ópticas, radar, y otros recursos.

El script utilizado para la clasificación temática es una adaptación del código del Programa de Capacitación en Teledetección Aplicada de la NASA (de sus siglas en inglés ARSET) y el empleado por el GIMBUT (en el marco del proyecto de Consolidación de la Estrategia Nacional REDD+ de Guatemala), incorporando al análisis imágenes ópticas y radar. (Ver anexo 1)

3.4 Elaboración de Muestra de Firmas Espectrales para el Entrenamiento Automático de la Clasificación Supervisada

Cuando la radiación incide sobre un objeto de la superficie terrestre se fracciona en: energía reflejada, energía absorbida y energía transmitida, que varía según el objeto y los materiales que lo componen. Cada objeto tiene una única forma de fraccionar la energía incidente y esto lo hace diferenciarse de otro. La cantidad de energía reflejada por los objetos que han sido iluminados por la radiación incidente es captada por los sensores y distribuida en las longitudes de onda o bandas espectrales con las que cuenta dicho sensor. A esta relación se le denomina firma, huella o patrón espectral (CENICANÑA, 2012).

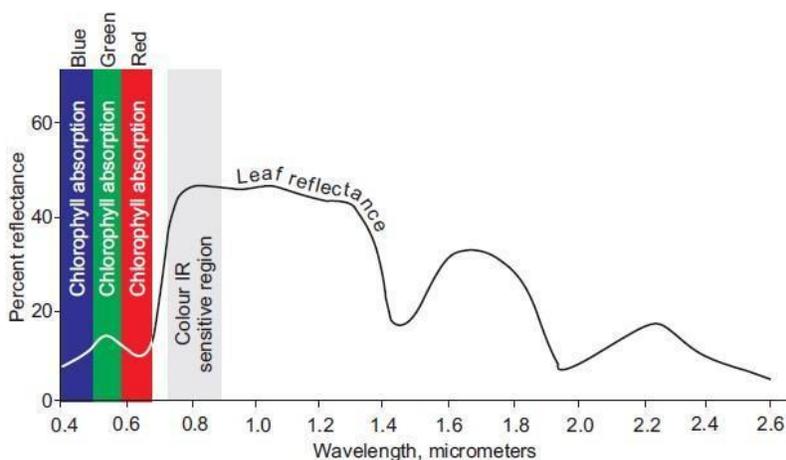
Sobre la reflectancia en general de la cubierta vegetal, sin considerar alguna especie en particular, ITC (2001) menciona:

La característica de reflectancia de la vegetación depende de las propiedades de las hojas, incluida la orientación y la estructura de la cubierta foliar. La proporción de la radiación reflejada en las diferentes partes del espectro depende de la pigmentación de la hoja, del grosor y composición de la hoja (Estructura celular) y de la cantidad de agua en el tejido de la hoja.

En la porción visible del espectro, el reflejo de la luz azul y roja es comparativamente bajo, ya que estas porciones son absorbidas por la planta (principalmente por la clorofila) para la fotosíntesis y la vegetación refleja relativamente más luz verde. La reflectancia en el infrarrojo cercano es la más alta, pero la cantidad depende del desarrollo de la hoja y de la estructura celular de las hojas. (p.73).

La figura 6, presenta una gráfica de la reflectancia espectral característica de la cubierta vegetal.

Figura 6. Representación gráfica de firma espectral de la cubierta vegetal



Nota: Tomado de Principles of Remote Sensing, (p. 73), por ITC, 2001.

3.4.1 Establecimiento de Puntos para la Obtención de Niveles Digitales en el Mosaico de Imágenes.

Según Chuvieco (2008), además de la luz (espectro visible), conviene destacar algunas bandas espectrales muy utilizadas en la teledetección, que su nombre y amplitud varían por diferentes autores, entre los cuales menciona:

El Infrarrojo cercano o próximo (IRC: 0.7 a 1.3 μm) es capaz de discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

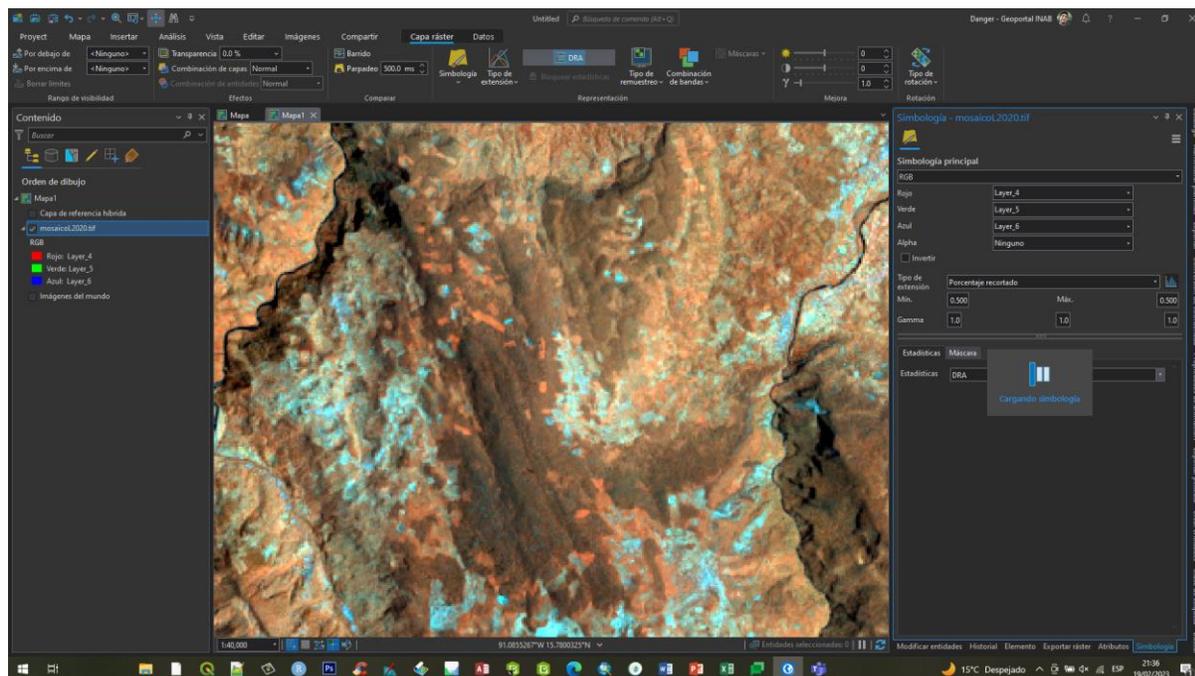
El Infrarrojo medio (IRM: 1.3 a 8 μm) que es una región del espectro donde confluyen las ondas electromagnéticas resultantes de la reflexión de radiación solar (1.3 a 2.5 μm) también conocido como infrarrojo de onda corta (SWIR) que es útil en la estimación de humedad tanto en la vegetación como en los suelos, y una fracción de la emisión de la superficie terrestre (3 a 5 μm) conocido como infrarrojo medio (IRM) que se utiliza para detectar focos de calor de alta temperatura.

Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14 μm), referente a la emisividad de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

Micro-ondas (M por encima de 1 mm.), de bastante interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

Con base en el mosaico de imágenes y a través del programa de ArcGis se configuró su visualización en composición de falso color (Ver figura 7), para facilitar la interpretación de los objetos sobre la superficie escaneada, disponiendo para el caso, de tres bandas espectrales en una combinación en los canales de color RGB para detectar vegetación, como sigue: Red = 4 (NIR), Green = 5 (SWIR1) y Blue = 6 (SWIR2) entre un rango de escala visual de 1:30,000 hasta 1:50,000.

Figura 7. Visualización en composición de falso color del mosaico de imágenes libre de nubes en plataforma ArcGis Pro

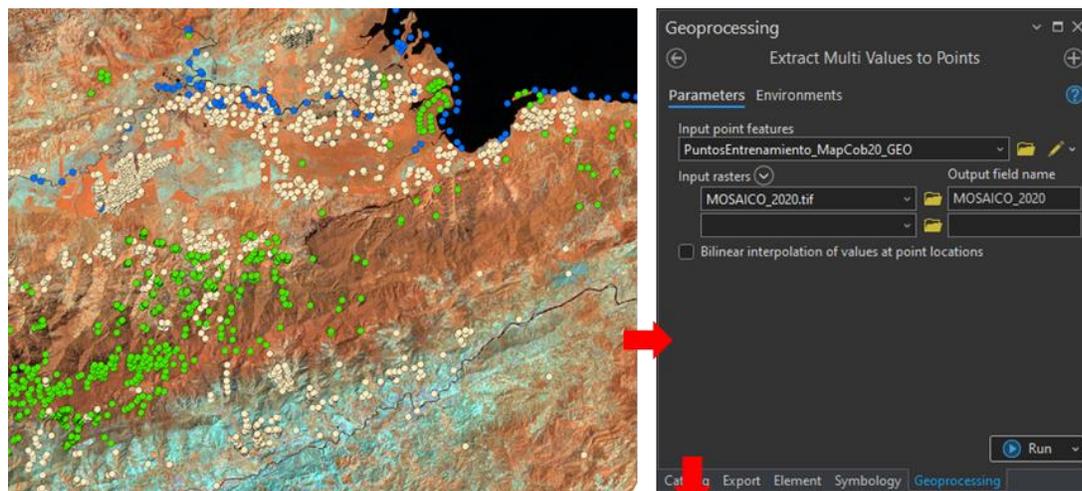


Nota: La composición de falso color utilizada, corresponde a la combinación de composición en falso color de las bandas 4, 5 y 6 en los canales R, G y B, respectivamente. Elaboración propia.

Cada punto fue establecido de acuerdo con la categoría de clasificación definida para el objeto interpretado, siendo estas: 1 (Bosque), (2) No Bosque y 8 (Agua).

Como se muestra en la figura 8, los puntos establecidos fueron interceptados con el mosaico de imágenes a fin de obtener el valor de cada uno de los píxeles para cada una de las categorías. Este proceso se realizó en el software ArcGis con la función extracción de valores a puntos, los cuales se almacenan en una tabla de atributos.

Figura 8. Puntos establecidos y su interceptación con el mosaico de imágenes para la obtención de niveles digitales en el proceso de conformación de la muestra de entrenamiento



CUADRANTE	Codigo	POINT_X	POINT_Y	b1_mosaico	b2_mosaico	b3_mosaico	NIR	SWIR1	SWIR2
1	18	-91.69189	14.130573	425	357	216	-2	9	15
1	18	-91.706952	14.138782	439	234	185	77	112	93
1	12	-91.693889	14.14178	743	547	778	2191	2084	1229
7	78	-91.729295	14.155129	386	176	113	24	80	72
7	78	-91.711505	14.155156	393	273	335	862	479	322
7	78	-91.708619	14.15683	371	242	377	371	186	120
7	72	-91.711895	14.157454	562	340	521	2620	1540	807
7	78	-91.748426	14.166907	425	261	134	-42	51	61
7	78	-91.743988	14.175955	488	344	407	714	586	328

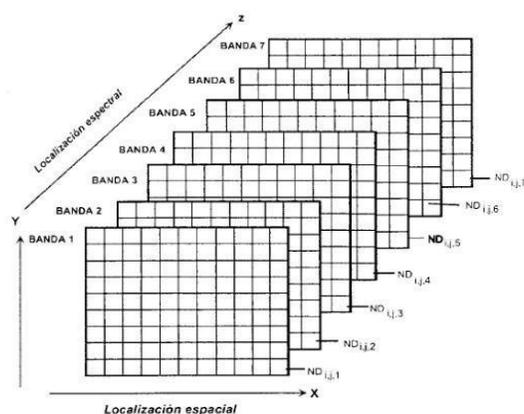
Nota: Elaboración propia

3.4.2 Tratamiento de puntos para conformar la muestra

De acuerdo con Chuvieco (1996), en los equipos óptico-electrónicos no existe una superficie sólida de grabación, en cambio, la radiación captada por los sensores, se codifica digitalmente en valores numéricos conocidos como nivel digital (ND) que se graban en código binario (un bit indica una posición binaria, 0 ó 1) en cada una de las unidades mínimas de información de la imagen, que se visualizan como parcelas denominadas píxel. Menciona que estos datos se organizan en forma de una matriz numérica de tres dimensiones, donde las dos

primeras corresponden a las coordenadas geográficas de la imagen y la tercera a su dimensión espectral, obteniendo la orientación aproximada Norte-Sur variando las filas de la matriz, mientras el recorrido en el sentido de las columnas indica la disposición Oeste-Este de la imagen. Finalmente, afirma que esta disposición matricial permite comprender las transformaciones y operaciones aplicadas a la imagen, como las estadísticas, combinaciones aritméticas, orientación geométrica, combinaciones aritméticas entre bandas, sintetización de varias bandas, o discriminación de grupos de ND homogéneos dentro de la matriz. De acuerdo con esta descripción, en la figura 9, se ofrece una representación gráfica de una imagen digital.

Figura 9. Estructura de una imagen digital



Nota: Tomado de Fundamentos de Teledetección Espacial, (p. 211), E. Chuvieco, 1996.

Cuando se establecieron los puntos, eventualmente pudieron haberse ubicado sobre píxeles que no son representativos de la categoría interpretada en el mosaico de imágenes. Una revisión visual no es práctica y se dificulta debido a la cantidad y distribución de los puntos, por lo que estos ya establecidos y con los valores espectrales incorporados entre sus atributos, llevaron un proceso de depuración para ser considerados como parte de la muestra.

El tratamiento consistió en la depuración de los puntos mediante el análisis estadístico basado distribución normal de los valores de respuesta espectral en las bandas: infrarrojo cercano

(NIR), infrarrojo de onda corta 1 (SWIR1) e infrarrojo de onda corta 2 (SWIR2). Para lo cual fue necesario la obtención de los valores promedio de las tres bandas espectrales antes mencionadas, para cada uno de los puntos establecidos por categoría (que en adelante se llamarán “Valor espectral de las tres bandas”).

Posteriormente estos valores fueron filtrados en agrupaciones por categoría para obtener las sumatorias, medias y desviaciones estándar por categoría.

Una vez obtenidos los valores antes mencionados, a partir de los mismos se procedió a determinar el valor normal estandarizado “Z” de cada punto (píxel), mediante la fórmula:

$$Z = \frac{X - \mu}{S}$$

- X = valor del punto o píxel (Valor espectral de las tres bandas).
- μ = Media de los valores de todos los puntos de la categoría (Valor espectral de las tres bandas).
- S = desviación estándar de todos los puntos de la categoría (Valor espectral de las tres bandas).

Los resultados del procesamiento de datos en la conformación de la muestra de entrenamiento se presentan en la figura 10.

Figura 10. Resultados de las operaciones de análisis de bandas en la validación de puntos para la conformación de la muestra de entrenamiento

	Q	P	Q	R	S	T
	SWIR2	VALOR3B	MEDIA_CLASE	SD_CLASE	Z_CLASE	VALIDACION_CLASES
183	760	1904	2077.69531	422.469976	-0.411142378	NORMAL
178	366	1423.66667	1304.412916	394.359725	0.302398403	NORMAL
191	374	1519.66667	1304.412916	394.359725	0.54583097	NORMAL
176	856	1868.33333	508.4574888	525.633107	2.587119848	ATIPICO
157	377	790.333333	508.4574888	525.633107	0.536259685	NORMAL
134	332	952.666667	508.4574888	525.633107	0.845093606	NORMAL
189	360	1346	1304.412916	394.359725	0.105454695	NORMAL
178	783	1991.66667	508.4574888	525.633107	2.821757529	ATIPICO
125	954	2221.33333	508.4574888	525.633107	3.25869094	ATIPICO
187	347	1397.66667	1304.412916	394.359725	0.23646875	NORMAL
153	750	1833.66667	508.4574888	525.633107	2.521167635	ATIPICO
160	309	772.666667	508.4574888	525.633107	0.502649423	NORMAL

Nota: Identificando valor de acuerdo a 2 distribuciones estándar, con una probabilidad del 95%

El criterio de aceptación o descarte de los puntos, se definió a partir del 96% de probabilidad que los valores espectrales de los píxeles representados por los puntos corresponden con los valores de reflectancia espectral de los objetos interpretados para las categorías de clasificación consideradas para el estudio.

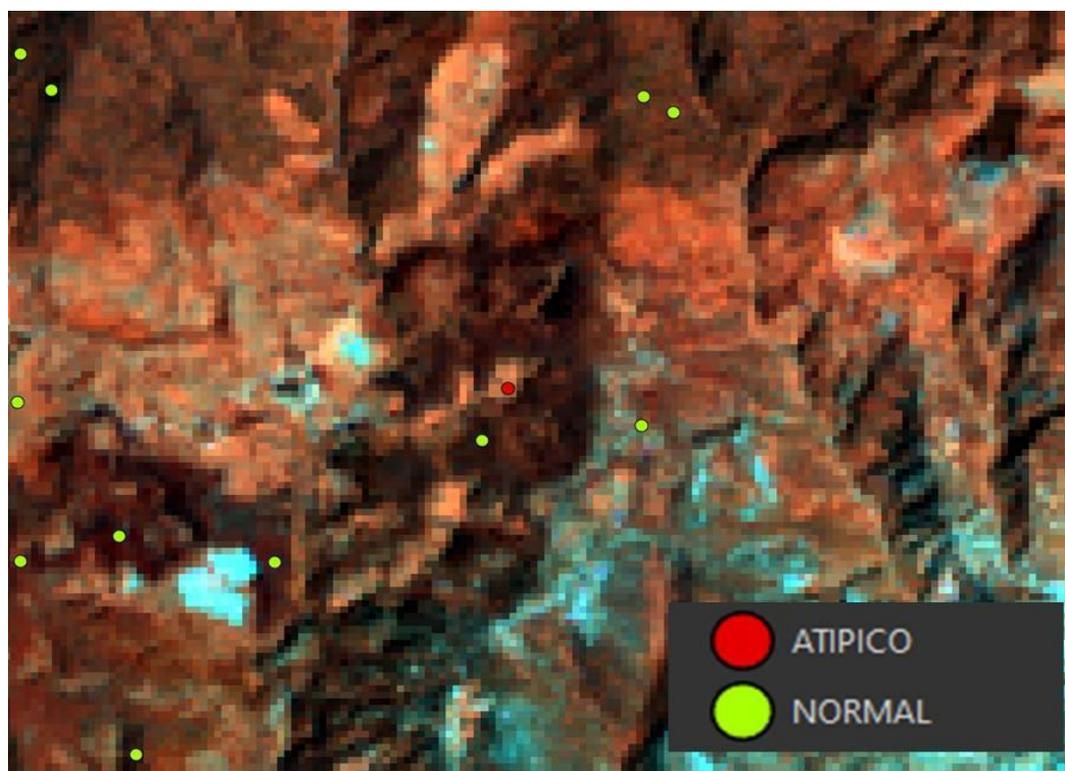
Para cumplir con esta condicionante, se admitieron en la muestra todos los puntos cuyos valores normales estandarizados no superaron el valor crítico de ± 2 desviaciones estándar, respecto de la media de su categoría, categorizando como Normales, mientras que los puntos con valores fuera de este rango, quedaron descartados de la muestra y definidos como “Atípicos”. Criterio establecido en la hoja de cálculo, de acuerdo con la solución de la fórmula:

$$\text{Valor} = \text{SI} (Y(Z < 2, Z > -2.0), "NORMAL", "ATÍPICO")$$

La figura 11 muestra una vista de la distribución de los puntos establecidos en la región Nororiental del país, en el que se observan puntos que fueron establecidos en áreas del mosaico

de imágenes que fueron interpretadas en la categoría de “Bosque”. Sin embargo, algunos puntos quedaron sobre píxeles no representativos de la categoría, adquiriendo valores espectrales que no se corresponden con la misma, quedando evidenciados con el tratamiento estadístico, al ser catalogados como atípicos. Estos puntos atípicos se muestran en color rojo, y quedaron descartados en la conformación de la muestra. Mientras que los puntos que se corresponden con la categoría aparecen en color verde.

Figura 11. Distribución de los puntos ya evaluados para la conformación de muestra de entrenamiento en la región este de Guatemala

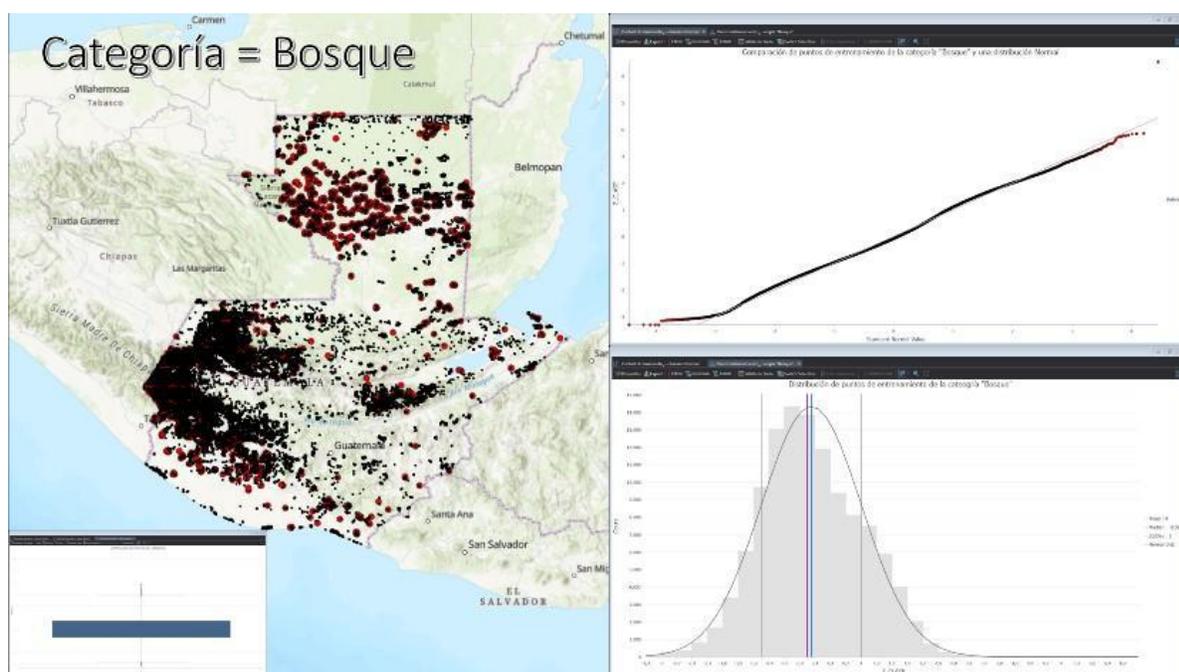


Nota: Elaboración propia.

El descartar los puntos atípicos favoreció la clasificación, reduciendo los riesgos de confusión del algoritmo, obteniendo un resultado eficaz y preciso, minimizando el requerimiento de ediciones manuales.

En el análisis, los valores normalizados de los puntos se graficaron por cada categoría para ver su distribución, que en efecto siguen una distribución normal, lo cual se corroboró mediante gráficas Cuantil-Cuantil (QQ-Plots). La figura 12, presenta la gráfica de distribución normal de los puntos establecidos en la categoría de bosque, así como su distribución geográfica a nivel nacional, además, se observan los puntos normales y atípicos.

Figura 12. Distribución geográfica y gráfica de distribución normalizada de los puntos en el proceso de evaluación para la conformación de la muestra de entrenamiento



Nota: Los puntos atípicos se muestran en rojo, mientras que los puntos admitidos para la muestra de entrenamiento aparecen en verde oscuro. Elaboración propia.

El resultado del tratamiento estadístico es la conformación de la muestra de entrenamiento para la clasificación supervisada, que son los puntos catalogados como normales, quedando conformada la muestra por 189,815 puntos, que en la catalogación corresponden a los puntos normales o típicos, quedando descartados 2,028 puntos que resultaron atípicos con el tratamiento de filtro estadístico, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del tratamiento estadístico de puntos en la conformación de muestras de entrenamiento

Cuadrante	Categorías												Total Puntos		
	Bosque				No Bosque				Agua				Cuadrante	Muestra	Descartado
	Normal	Atípico	Residuos	Sub total	Normal	Atípico	Residuos	Sub total	Normal	Atípico	Residuos	Subtotal			
1	51	3		54	59	2		61	32	3		35	150	142	8
2	247	7		254	460	12		472	76			76	802	783	19
3	372	12		384	525	6		531	56	1		57	972	953	19
4	403	1		404	527	9		536	86	1		87	1,027	1,016	11
5	110	1		111	19	1		20	4			4	135	133	2
6	203	10		213	819	26		845	147	2		149	1,207	1,169	38
7	271	8		279	407	11		418	106			106	803	784	19
8	1,628	33		1,661	1,617	44		1,661	12			12	3,334	3,257	77
9	677	7		684	854	27		881	29	1		30	1,595	1,560	35
10	601	6		607	247	3		250	15			15	872	863	9
11	106			106	116	3		119	29	2		31	256	251	5
12	88	1		89	129	4		133	46			46	268	263	5
13	1,316	4		1,320	1,511	46		1,557	50			50	2,927	2,877	50
14	8,696	236		8,932	7,667	150		7,817	5			5	16,754	16,368	386
15	8,792	91		8,883	6,084	111		6,195	39	1		40	15,118	14,915	203
16	384	7		391	550	8		558	56			56	1,005	990	15
17	376	4		380	279	4		283	15			15	678	670	8
18	142	1		143	1,078	25		1,103	47			47	1,293	1,267	26
19	206			206	161	2		163	23	1		24	393	390	3
20	14,983	229		15,212	6,407	99		6,506	7			7	21,725	21,397	328
21	16,710	227		16,937	10,573	167		10,740			1	1	27,678	27,283	394
22	5,784	70		5,854	2,888	37		2,925	9			9	8,788	8,681	107
23	1,014	21		1,035	1,116	17		1,133	81	7		88	2,256	2,211	45
24	797	11		808	861	15		876	37	1		38	1,722	1,695	27
25	2,344	45		2,389	1,667	22		1,689	25			25	4,103	4,036	67
26	223	3		226	979	24		1,003	63	3		66	1,295	1,265	30
27	100	2		102	398	4		402	32	1		33	537	530	7
28	27	1		28	19			19					47	46	1
29	1,421	10		1,431	697	11		708	20			20	2,159	2,138	21
30	20,036	281		20,317	8,022	133		8,155	10	1		11	28,483	28,068	415
31	10,334	87		10,421	2,565	35		2,600	70			70	13,091	12,969	122
32	838	12		850	790	16		806	110	6		116	1,772	1,738	34
33	224	2		226	188	3		191	8			8	425	420	5
34	618	19		637	220	5		225	45			45	907	883	24
35	195	2		197	406	13		419	39			39	655	640	15
36	211	6		217	218	4		222	89	3		92	531	518	13
37	325	14		339	223	6		229	51	3		54	622	599	23
38	341	3		344	165	5		170	149	4		153	667	655	12
39	337	5		342	194	5		199	102	6		108	649	633	16
40	108	4		112	202	5		207	62	2		64	383	372	11
41	38	1		39	170	4		174	4			4	217	212	5
42	106	1		107	87	2		89					196	193	3
43	202	3		205	72	4		76					281	274	7
44	12			12				1	6			6	19	18	0
45	29	1		30	25			25	12			12	67	66	1
46	8			8	12			12	7			7	27	27	0
47	530	5		535	763	30		793	45	1		46	1,374	1,338	36
48	1,071	18		1,089	2,522	44		2,566	40	3		43	3,698	3,633	65
49	483	11		494	932	30		962	9			9	1,465	1,424	41
50	851	25		876	1,089	16		1,105					1,981	1,940	41
51	244	6		250	193	3		196	68	3		71	517	505	12
52	1,209	21		1,230	1,285	47		1,312	76	3		79	2,621	2,550	71
53	1,973	55		2,028	2,901	99		2,900	147	4		151	5,079	4,921	158
54	1,482	38		1,520	1,537	40		1,577	111	4		115	3,212	3,130	82
55	783	20		803	940	21		961	15	1		16	1,780	1,738	42
58	147	2		149	118	1		119					268	265	3
59	463	9		472	519	7		526	60	1		61	1,059	1,042	17
60	30	1		31	26	1		27	3			3	61	59	2
61	237	3		240	143	6		149					389	380	9
62	133			133									133	133	0
63	48	1		49	55	2		57	22			22	128	125	3
64	96	1		97	54	3		57	8			8	162	158	4
65	59	1		60	29			29			1	1	90	88	1
66	43			43	5			5	8			8	56	56	0
67	77			77	14			14	21			21	112	112	0
Total general	111,993	1,709		113,702	75,278	1,480	1	76,759	2,544	69	2	2,615	193,076	189,815	3,258

Nota: Elaboración propia

Los puntos evaluados para la conformación de la muestra fueron establecidos utilizando el mosaico de imágenes Landsat del año 2020.

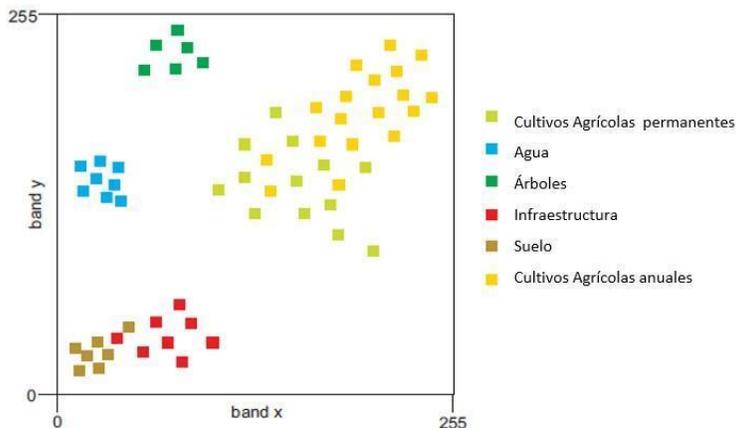
3.5 Clasificación Supervisada

De acuerdo con Chuvieco (2002), la clasificación digital de imágenes es el proceso de modelamiento de sus datos cuantitativos en información cualitativa relevante que permite generar cartografía temática e información estadística relacionada. Menciona que el proceso de

clasificación se aborda a partir de los ND de la imagen, obteniendo como resultado otra imagen del mismo tamaño y características similares a las originales, con la diferencia de que los nuevos valores de ND de cada píxel no están relacionados con la radiancia registrada por el sensor, al tratarse de una etiqueta que define la categoría asignada para cada píxel en particular. Afirma que el proceso de clasificación digital de la imagen sigue un esquema análogo al empleado en la foto-interpretación. Subrayando, además, que la clasificación digital de una imagen implica categorizar la misma, lo cual supone, en términos estadísticos, “reducir la escala de medida, de una variable continua (los ND originalmente detectados por el sensor) a una escala categórica (tipos de vegetación) u ordinal (densidades de vegetación)” (Chuvienco, 2002, p. 375).

El ITC (2001) Señala que la importancia de la clasificación digital de imágenes radica en su comparación con grupos predefinidos y los métodos que para ello se empleen, basándose en el principio de que “un píxel se asigna a una clase en función de su vector de características, comparándolo con grupos predeterminados en el espacio de características” (ITC, 2001, p. 349). Indicando que esto se lleva a cabo mediante algoritmos de clasificación, y que en general consta de cinco etapas: iniciando con la selección y preparación de los datos de la imagen, siguiendo con la definición de los clústeres (grupos) en el espacio de características de la imagen, continuando con la elección del algoritmo de clasificación, seguido de la ejecución de la clasificación real, y finalizando con la validación del resultado. En la figura 13 se ejemplifica la clasificación digital de imágenes en el espacio de características de esta.

Figura 13. Representación gráfica del espacio de características y los grupos de píxeles de seis categorías, en la clasificación digital de imágenes

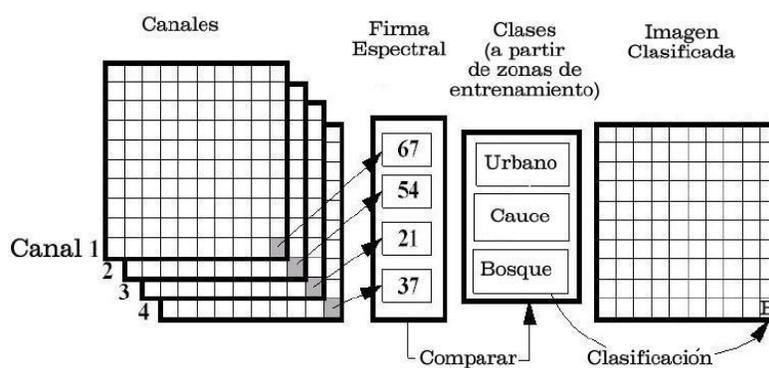


Nota: Los pequeños cuadros coloreados, representan los píxeles dentro del espacio de características, mismos que se agrupan en seis clases representadas por su color; donde cada clase ocupa un área limitada. Adaptado de Principles of Remote Sensing (p. 350), ITC 2001.

El proceso de análisis de datos masivos, como es el caso de la clasificación digital de imágenes, utiliza el aprendizaje automático o machine learning que, de acuerdo con MathWorks (s.f.), emplea diferentes algoritmos ejecutables mediante ordenador, que mejoran su rendimiento de forma adaptativa en función de los datos con que trabajan. Indica que los algoritmos se agrupan en dos categorías a decir: Los de aprendizaje automático supervisado y los de aprendizaje automático no supervisado. Mientras menciona que el primero crea un modelo de predicciones con base en un conjunto de datos de prueba (entrada) y respuesta (salida) conocidos, que refuerza ante nuevos datos, en presencia de incertidumbre. Mientras el segundo busca patrones o estructuras intrínsecas que no son evidentes, teniendo por cometido inferir información a partir de datos sin respuestas etiquetadas. Recuperado el 23 de septiembre de 2022.

En la figura 14 se muestra en forma general el proceso de clasificación supervisada que se realiza en imágenes digitales, independientemente del algoritmo que se emplee para su ejecución.

Figura 14. Esquema general del proceso de clasificación supervisada de imágenes



Nota: Tomado de Sistemas de Información Geográfica, (p. 537), V. Olaya, 2014.

En la actualidad el uso de los algoritmos clasificadores no paramétricos de aprendizaje más utilizados entre los machine learning, se encuentran: Bosques Aleatorios (Random Forest, RF), Máquinas de Soporte Vectorial (Support Vector Machine, SVM), K-Vecinos más Cercanos (K-nearest neighbors, Knn) y Árboles de Decisión (Decision Tree, DT). (Kaehler y Bradski, 2014; Tso y Mather, 2009; citados en Valero, 2016).

La Clasificación Automática Supervisada de las imágenes digitales que conformaron el mosaico de imágenes libre de nubes, se llevó a cabo en la Plataforma de Google Earth Engine, utilizando el algoritmo de bosques aleatorios (RF) que se encuentra en el repositorio de la plataforma como:

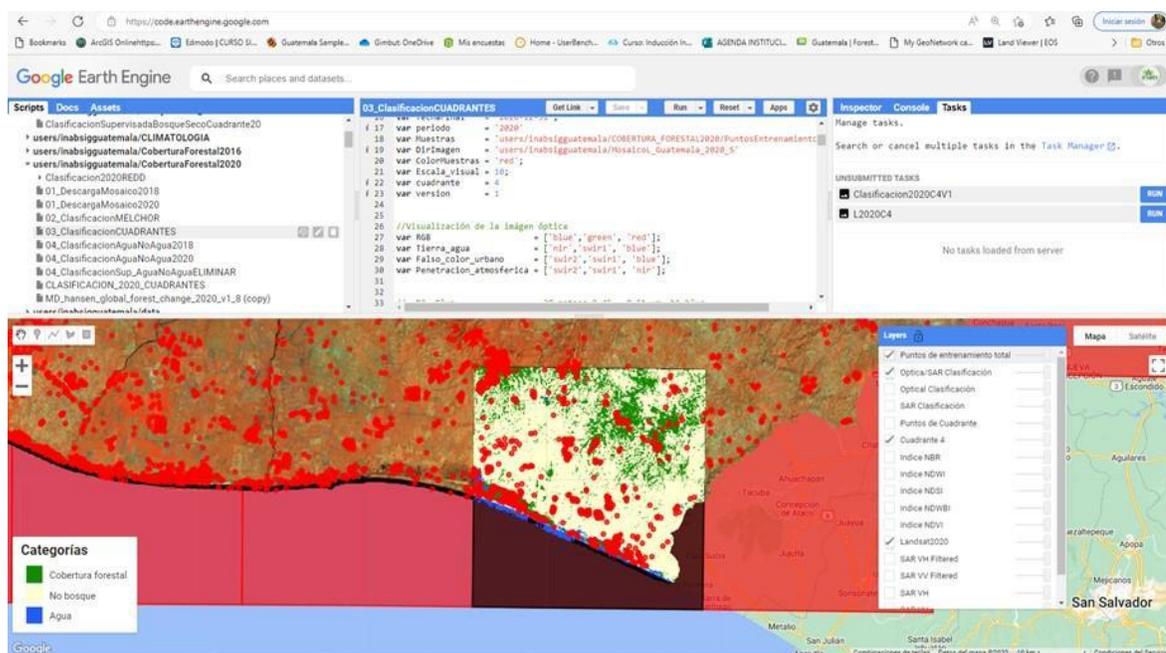
```
ee.Classifier.smileRandomForest(numberOfTrees,variablesPerSplit,minLeafPopulation, bagFraction, maxNodes, seed)
```

De acuerdo con la adaptación de las series de líneas de código que se muestran en el apartado de anexos (anexo 1).

Para lo cual, previamente fue necesario cargar a la plataforma, tanto la capa de cuadrantes como la capa de puntos que finalmente conformó la muestra de entrenamiento, luego de la depuración de atípicos.

En la figura 15, se muestra una imagen luego de finalizar la ejecución del algoritmo en la plataforma de GEE. En donde se puede observar el panel izquierdo que enlista los scripts disponibles, el panel central que es el espacio donde se encuentran las líneas de código y donde puede editarse, el panel derecho donde se enlistan las tareas de algoritmos ejecutados o en ejecución, y de media pantalla hacia abajo, la visualización del modelo resultante de la ejecución del algoritmo, que para el caso es el de clasificación de segmento de imagen digital del mosaico, por cuadrante.

Figura 15. Representación del proceso configuración del algoritmo y carga de muestra para la clasificación automática supervisada en la plataforma de GEE



Nota: Elaboración propia

La división del espacio geográfico del país por cuadrantes, permitió mejorar los resultados de la clasificación, facilitar la inspección ocular y consistencia del producto clasificado, así como la distribución de la carga laboral entre los técnicos que participaron.

En algunos casos, fue necesario agregar más puntos a la muestra, para obtener una clasificación adecuada, por lo que la ejecución del algoritmo para algunos cuadrantes fue reiterativa hasta obtener una clasificación satisfactoria. Al finalizar la clasificación de cada cuadrante, se generaron los archivos de capa clasificada en formato .tiff (Raster), concluyendo el proceso en la plataforma GEE, para luego descargar cada raster de Google drive, y dar paso a los siguientes procesos.

3.6 Limpieza del producto clasificado

Este proceso, se refiere a la limpieza de píxeles que quedaron aislados y no formaron segmentos continuos, al no encontrar píxeles vecinos que hayan sido asignados por el algoritmo a su misma clase. Este proceso en conjunto con la edición manual, contribuyen en la refinación de áreas donde la clasificación no fue eficaz.

Para llevar a cabo este proceso, se realizó la agrupación y reasignación de clase de píxeles mediante las herramientas “clump” y “eliminate” del programa ERDAS imagine, con base al área mínima que considera la definición de Bosque, que corresponde a 0.5 hectáreas equivalente a 5 píxeles de la imagen landsat, definidos como la unidad mínima cartografiable para el estudio.

3.7 Edición manual

Las áreas de cambio fueron identificadas con base en la capa de cobertura forestal 2016 generada en el marco del proyecto de Consolidación de la Estrategia Nacional REDD+ de

Guatemala, a la que se sumaron las siguientes capas como insumos para el análisis y edición manual:

- Capa de áreas de cultivo de café del año 2020 (MAGA, 2022)
- Capa de áreas de pérdida que genera la Universidad de Maryland (Global foresta watch)
- Polígonos de incentivos forestales en la modalidad de protección (INAB 2020)
- Informe de monitoreo de la cobertura forestal en la Reserva de biosfera Maya

para la temporada 2020 elaborado por CONAP-WCS

3.8 Análisis de precisión de la cobertura forestal

La metodología empleada para la evaluación de la precisión de la clasificación supervisada se llevó a cabo de acuerdo a los procedimientos recomendados para la precisión de los mapas temáticos propuesto por Olofsson, et. al., (2012). Para ello, es necesario disponer de una muestra.

Para el caso de este estudio, dada la disponibilidad de 11,369 puntos obtenidos a través del proceso de “*Collect*” de Open Foris, en el proyecto “Apoyo a la estrategia REDD+ para consolidar el abordaje de agentes de deforestación” (2022), se decidió extraer una cantidad que conformó la muestra para llevar a cabo la evaluación.

Para asegurar el tamaño mínimo de muestras, se consideró el área y peso de cada estrato, mediante el empleo de la ecuación para muestreo aleatorio estratificado para una distribución binomial que se muestra en la figura 16.

Figura 16. Ecuación empleada para determinar el tamaño de la muestra en la evaluación de precisión de los resultados de la clasificación temática

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

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

Nota: Adaptación de la ecuación propuesta por Cochran (1977), citado por (FAO, 2016); National forest monitoring assessment working paper No. 46/E, Map Accuracy Assessment and Area Estimation, A Practical Guide.

3.9 Estimación de tasas de cambio

El mapa de cobertura forestal 2016 elaborado dentro del marco de la estrategia nacional REDD+, fue sometido a una revisión general, lo que llevó a realizar algunas ediciones del mapa. Una vez actualizado, fue incorporado al análisis para determinar la dinámica de la cobertura forestal y establecer las tasas de cambio en el periodo.

Las estimaciones de tasas de cambio en la cobertura forestal del país, se generó a partir de los resultados de la clasificación supervisada llevada a cabo sobre las imágenes de los mosaicos libres de nubes los cuales fueron sujetos a comparaciones entre los mismos y el análisis con otras capas (Áreas de Café y de incentivos forestales de protección) que aportaron en el refinamiento de los resultados de la clasificación a través de la interpretación y ajuste en la edición manual.

Los mosaicos fueron elaborados mediante la plataforma SEPAL, que toma los mejores píxeles entre los que fueron elegidos de todas las imágenes libres de nubes capturadas y disponibles dentro de las series espacio-temporales de interés consideradas en la construcción de la escena de interés (mosaico de imágenes), a través de un proceso de reducción de la intravarianza hasta alcanzar el óptimo (MEDIODE).

La información de cobertura y sus diferencias entre el inicio y final de las series espacio-temporales consideradas fue tabulada en una hoja del programa Microsoft Excel, para obtener una tabla dinámica que permitió la obtención de los valores agrupados a nivel nacional, departamental, municipal y de áreas protegidas. Las tasas de cambio en la cobertura estimadas en el estudio corresponden a las siguientes:

- Cambio neto (ha) = ganancia de bosque (ha)-pérdida de bosque (ha)
- Cambio neto anual (ha/año) = cambio neto (ha) / intervalo de tiempo (años)
- El cambio neto anual permitió calcular la tasa de deforestación anual con la

siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de deforestación anual} = 100 * \text{Cambio neto anual} / \text{Bosque 2020}.$$

4 Resultados

4.1 Cobertura Forestal

En el año 2016 la cobertura forestal del país se estimó en 3,654,303 hectáreas, que para el momento representaba el 33.8% del territorio nacional. Ya para el año 2020, la clasificación temática, dio como resultado la estimación de la cobertura forestal en 3,601,567 hectáreas, equivalentes al 33.3% de la superficie del país, y distribuidos entre sus veintidós departamentos, en las extensiones y proporciones que se indican en la tabla 3, y se ilustran en la figura 17.

El departamento con mayor extensión territorial con cobertura forestal fue Petén, con 45.5%, una diferencia muy significativa respecto de los que le siguen, siendo estos: Alta Verapaz (10.2%), Quiché (7.6%), Huehuetenango e Izabal que tuvieron una extensión similar equivalente para cada uno al 7%. Mientras que el resto de los departamentos reportaron superficies con cubierta forestal menores al 3%.

Tabla 3. Cobertura forestal del año 2020 a nivel nacional y por departamento

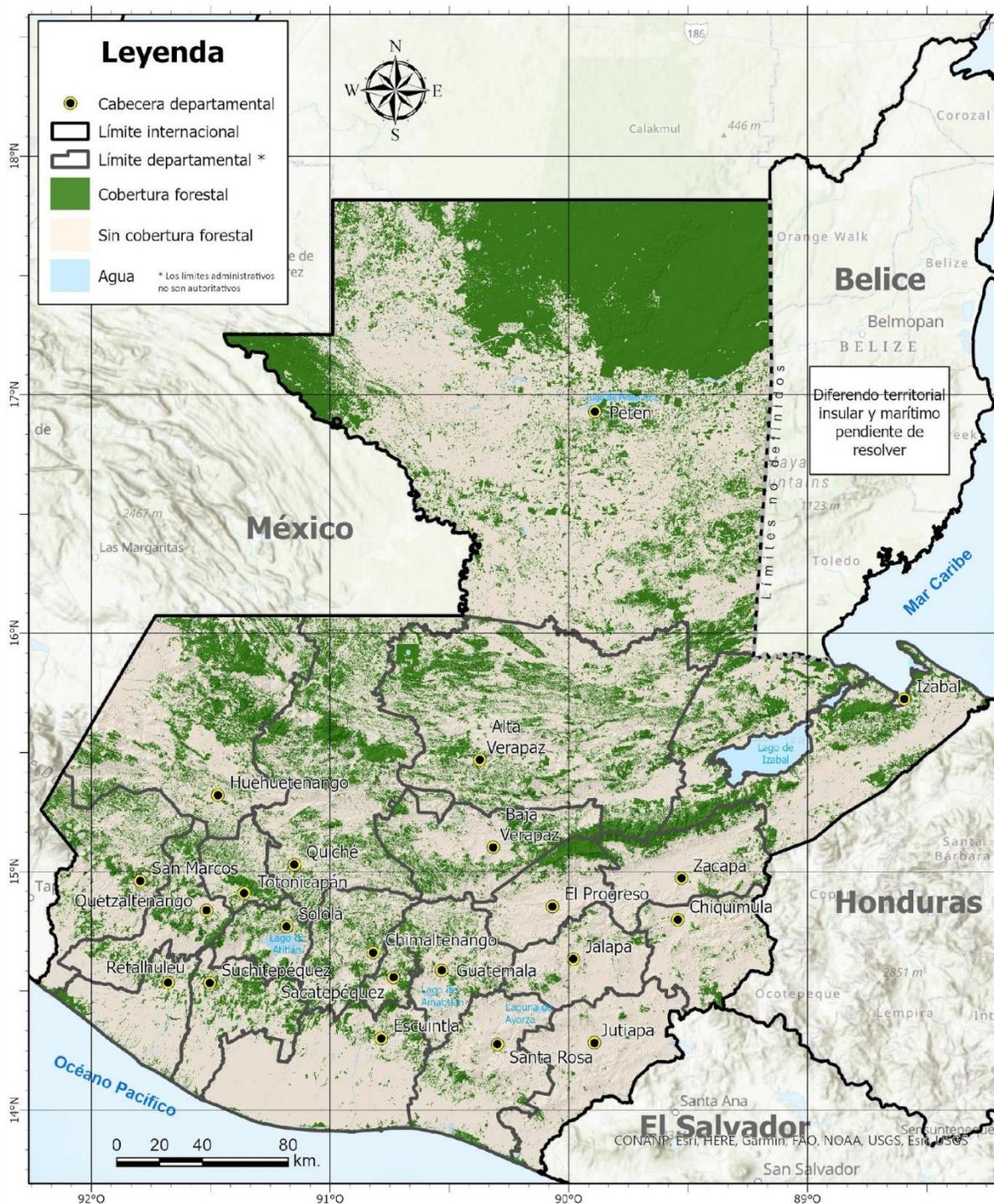
Departamento	Cobertura 2020 (ha)	Porcentaje a nivel Nacional (%)	Porcentaje a nivel de departamento (%)*
Guatemala	54,362	1.5%	24.7%
El Progreso	37,633	1.0%	20.5%
Sacatepéquez	20,775	0.6%	38.8%
Chimaltenango	65,125	1.8%	35.0%
Escuintla	48,110	1.3%	10.7%
Santa Rosa	35,374	1.0%	11.2%
Sololá	37,112	1.0%	31.8%
Totonicapán	38,701	1.0%	35.9%
Quetzaltenango	68,149	1.9%	32.0%
Suchitepéquez	57,136	1.6%	26.6%
Retalhuleu	27,577	0.8%	14.2%
San Marcos	103,502	2.9%	29.1%
Huehuetenango	250,734	7.0%	34.1%
Quiché	272,797	7.6%	37.5%
Baja Verapaz	102,793	2.9%	34.1%
Alta Verapaz	366,596	10.2%	34.5%
Petén	1,639,237	45.5%	45.7%
Izabal	254,372	7.0%	34.0%
Zacapa	63,858	1.8%	23.6%
Chiquimula	25,334	0.7%	10.5%
Jalapa	19,987	0.6%	9.8%
Jutiapa	12,302	0.3%	3.7%
Total	3,601,567	100%	33.3%**

*Porcentaje de acuerdo con el área del departamento

**Porcentaje de cobertura forestal a nivel nacional

Nota: Elaboración propia

Figura 17. Mapa de cobertura forestal 2020



Nota: Elaboración propia

4.2 Dinámica de la cobertura forestal

En el período 2016-2020, como se muestra en la tabla 4, una extensión territorial del país de 3,409,909 hectáreas con cobertura forestal permanecieron sin cambios, mientras que las pérdidas totales se estimaron en 244,395 hectáreas; sin embargo, durante el mismo período se recuperaron 191,658 hectáreas, lo que resulta en una pérdida neta de cobertura forestal de -52,737 hectáreas. En términos anuales, la pérdida se traduce en 61,099 hectáreas por año, mientras que la ganancia anual fue de 47,915 hectáreas, con un cambio anual neto de -13.184 ha.

Tabla 4. Dinámica de cobertura forestal, pérdidas y ganancias a nivel departamental para el periodo 2016-2020

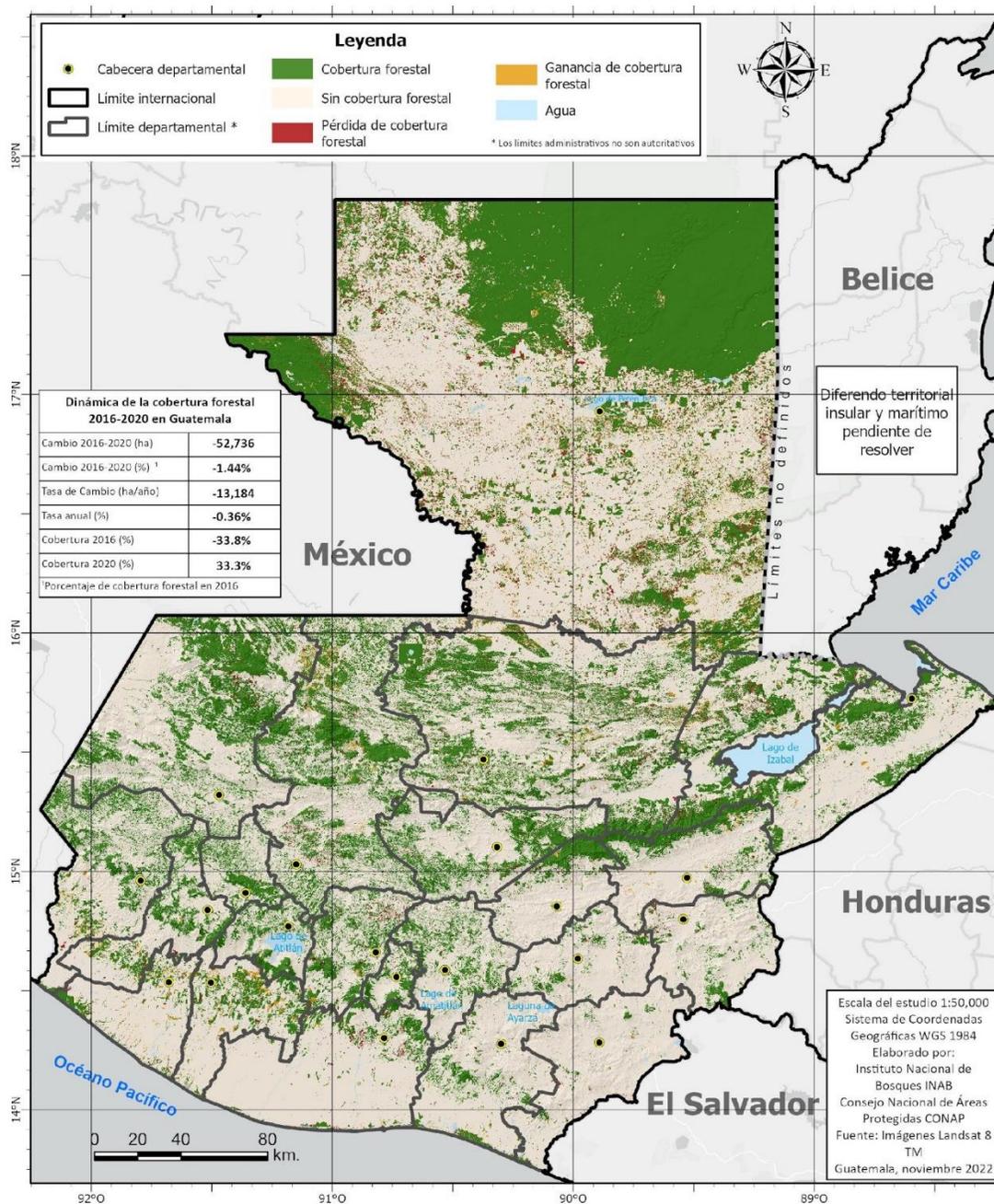
Nro.	Departamento	Cobertura forestal estable	Pérdida de cobertura forestal	Ganancia de cobertura forestal	Pérdidas anuales	Ganancias anuales
1	Guatemala	54,169.81	1,744.75	191.96	436	48
2	El Progreso	37,203.55	1,537.49	429.35	384	107
3	Sacatepéquez	20,686.47	496.61	88.04	124	22
4	Chimaltenango	63,706.86	4,463.51	1,418.55	1,116	355
5	Escuintla	46,118.68	5,682.74	1,991.81	1,421	498
6	Santa Rosa	33,483.79	1,903.54	1,890.20	476	473
7	Sololá	36,757.56	475.84	354.43	119	89
8	Totonicapán	38,693.53	457.78	6.99	114	2
9	Quetzaltenango	65,681.77	1,883.97	2,467.10	471	617
10	Suchitepéquez	47,059.59	2,459.85	10,076.30	615	2,519
11	Retalhuleu	21,825.84	2,828.58	5,751.49	707	1,438
12	San Marcos	99,346.33	1,530.66	4,155.68	383	1,039
13	Huehuetenango	246,911.20	7,000.68	3,822.30	1,750	956
14	Quiché	263,174.40	12,843.26	9,622.42	3,211	2,406
15	Baja Verapaz	102,462.85	3,815.93	330.38	954	83
16	Alta Verapaz	352,145.80	32,208.63	14,450.68	8,052	3,613
17	Petén	1,513,793.08	140,516.84	125,444.33	35,129	31,361
18	Izabal	248,908.53	16,033.68	5,463.64	4,008	1,366
19	Zacapa	61,672.73	2,094.87	2,185.34	524	546
20	Chiquimula	25,192.22	2,044.71	141.56	511	35
21	Jalapa	19,774.35	1,163.27	213.15	291	53
22	Jutiapa	11,139.66	1,207.37	1,162.43	302	291
Total		3,409,909	244,395	191,658	61,099	47,915

Nota: Elaboración propia

El periodo de tiempo de las imágenes utilizadas para el estudio fue de 4 años, de acuerdo con los mosaicos de las imágenes realizadas por un algoritmo de búsqueda del mejor píxel de

todas las imágenes encontradas durante el año 2016 y el año 2020. La combinación del mapa de cobertura forestal 2016 y el mapa de cobertura forestal 2020, dio como resultado el mapa de Dinámica de la cobertura forestal presentado en la figura 18.

Figura 18. Mapa de dinámica de la cobertura forestal a nivel nacional 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Las mayores reducciones de cobertura forestal se observaron en ocho departamentos del país, siendo estos: Petén, Alta Verapaz, Izabal, Quiché, Huehuetenango, Escuintla, Chimaltenango y Baja Verapaz, en donde se concentró el 91% de las pérdidas (222,565 hectáreas). Aunque en estos mismos departamentos se observó una recuperación de cobertura de 162,544 hectáreas que corresponden al 85% del total de ganancias. En el balance por departamento, todos estos presentaron una recuperación de cobertura forestal inferior a sus pérdidas, teniendo como resultado una diferencia de -60,021.14 ha., para este grupo de departamentos. Esta situación se hace más evidente, al prestar atención a la tabla 5, donde se muestra que el cambio neto y el cambio anual neto para cada departamento se traducen en pérdidas anuales netas.

Tabla 5. Dinámica de cobertura forestal, cambios netos y tasas de cambio a nivel departamental para el periodo 2016-2020

Nro.	Departamento	Cobertura forestal 2016 (ha)	Cobertura forestal 2020 (ha)	Cambio neto (ha)	Cambio anual (ha/año)	Tasa de cambio anual (%)
1	Guatemala	55,915	54,362	-1,552.8	-388.2	-0.69%
2	El Progreso	38,741	37,633	-1,108.1	-277.0	-0.72%
3	Sacatepéquez	21,183	20,775	-408.6	-102.1	-0.48%
4	Chimaltenango	68,170	65,125	-3,045.0	-761.2	-1.12%
5	Escuintla	51,801	48,110	-3,690.9	-922.7	-1.78%
6	Santa Rosa	35,387	35,374	-13.3	-3.3	-0.01%
7	Sololá	37,233	37,112	-121.4	-30.4	-0.08%
8	Totonicapán	39,151	38,701	-450.8	-112.7	-0.29%
9	Quetzaltenango	67,566	68,149	583.1	145.8	0.22%
10	Suchitepéquez	49,519	57,136	7,616.4	1,904.1	3.85%
11	Retalhuleu	24,654	27,577	2,922.9	730.7	2.96%
12	San Marcos	100,877	103,502	2,625.0	656.3	0.65%
13	Huehuetenango	253,912	250,734	-3,178.4	-794.6	-0.31%
14	Quiché	276,018	272,797	-3,220.8	-805.2	-0.29%
15	Baja Verapaz	106,279	102,793	-3,485.6	-871.4	-0.82%
16	Alta Verapaz	384,354	366,596	-17,757.9	-4,439.5	-1.16%
17	Petén	1,654,310	1,639,237	-15,072.5	-3,768.1	-0.23%
18	Izabal	264,942	254,372	-10,570.0	-2,642.5	-1.00%
19	Zacapa	63,768	63,858	90.5	22.6	0.04%
20	Chiquimula	27,237	25,334	-1,903.1	-475.8	-1.75%
21	Jalapa	20,938	19,987	-950.1	-237.5	-1.13%
22	Jutiapa	12,347	12,302	-44.9	-11.2	-0.09%

	Total	3,654,303	3,601,567	-52,736	-13,184	-0.36%
7616.4						

Nota: Elaboración propia

No obstante, los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Quetzaltenango y Zacapa, que, en el balance por departamento, observando la tabla 8, presentaron una recuperación de cobertura forestal que suma un total de 24,635.91 hectáreas que representa el 12.85% del total de ganancias, la cual fue superior a sus pérdidas de 10,797.94 hectáreas que corresponden al 4.42% de las pérdidas totales, resultando en una diferencia de 13,837.97 hectáreas. Estas pérdidas y ganancias traducidas en cambio anual neto, como se aprecia en la tabla 5, para este grupo de departamentos la dinámica de cobertura forestal es favorable al representar ganancias netas.

De acuerdo al periodo del estudio, el cambio total anual neto estimado es de -13,184 hectáreas anuales, correspondiente a una tasa de -0.36% de cambio anual respecto de la cobertura forestal existente en el año 2016, lo que evidencia que la cobertura forestal a nivel nacional sigue reduciéndose, sin embargo, no es generalizado, dado que esta reducción si bien se observa en la mayoría de los departamentos del país, en algunos la dinámica ha mostrado recuperación en la cobertura forestal.

La importancia del ejercicio comparativo de los períodos de estudio de la cobertura forestal del país radica en conocer la tendencia de sus estadísticas, para mejorar los esfuerzos y la administración de los recursos nacionales en aras de conservar y aumentar los recursos forestales del país. De tal cuenta que las pérdidas y ganancias de cobertura forestal del periodo 2016-2020 contrastado con los estudios realizados en diferentes periodos, partiendo de la referencia de cobertura forestal estimada para el año 2001, se evidencia una reducción en las pérdidas de cobertura forestal, marcando una tendencia gradual en la estabilización de la cobertura forestal

existente, como se observa en la tabla 6, cuyos datos pudieran explicarse en la recuperación de la cobertura forestal asociada al manejo forestal sostenible, la regeneración natural en tierras ociosas (que pudiera estar relacionado al cambio en la dinámica productiva de las familias y la migración), la reforestación apoyada por la incorporación de tierras a los programas de incentivos forestales y la diversificación de sus modalidades, la concientización sobre la importancia de los bosques y las implicaciones del cambio climático, así como la integración, acogida de usuarios y otros actores particulares o institucionales, de los diferentes esfuerzos que tanto INAB como CONAP y otros actores del país realizan en favor del sector forestal.

Tabla 6. Reportes de cobertura forestal nacional estimada con referencia a partir del año 2001 (ha)

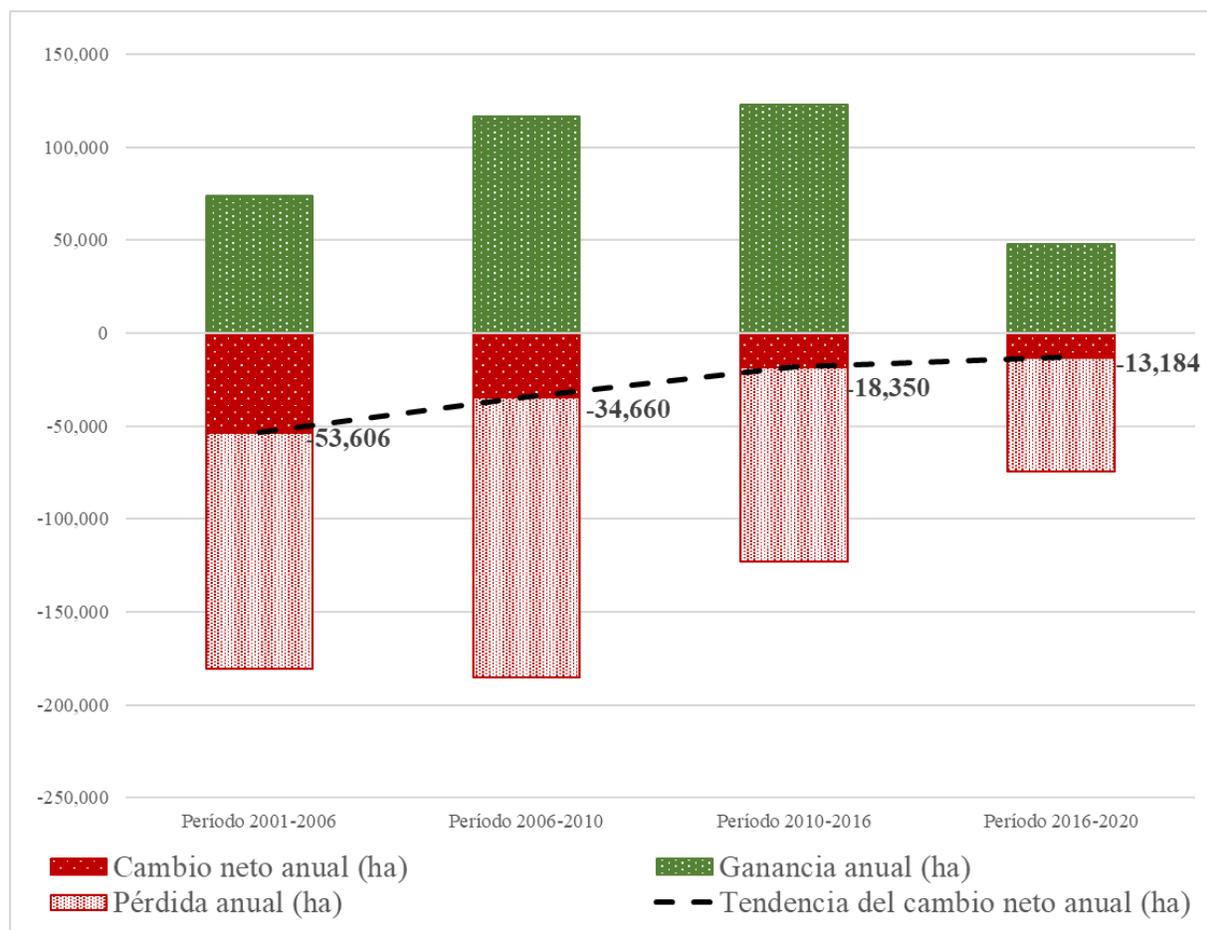
AÑO 2001	2006	2010	2016	2020
4,089,852	3,802,370	3,675,786	3,654,303[1]	3,601,567

[1] La cobertura forestal para el año 2016 fue actualizada de acuerdo con el análisis de este estudio.

4.3 Tendencia del proceso de ganancia y pérdida de bosque

Para el primer periodo analizado (2001-2006) se presentó una pérdida neta de bosques de 53,066 ha/año, para el segundo periodo (2006-2010) fue de 34,660 ha/año, para el tercer período (2010-2016) de 18,350 ha/año y para el período (2016-2020) fue de 13,184 ha/año. Por lo tanto, se mantiene una continua pérdida del bosque en el territorio nacional. La figura 19 muestra la dinámica de la cobertura forestal del territorio nacional, durante los cuatro periodos de estudio, así como la tendencia de los cambios ocurridos.

Figura 19. Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los cuatro periodos de estudio y su tendencia



Nota: Elaboración propia

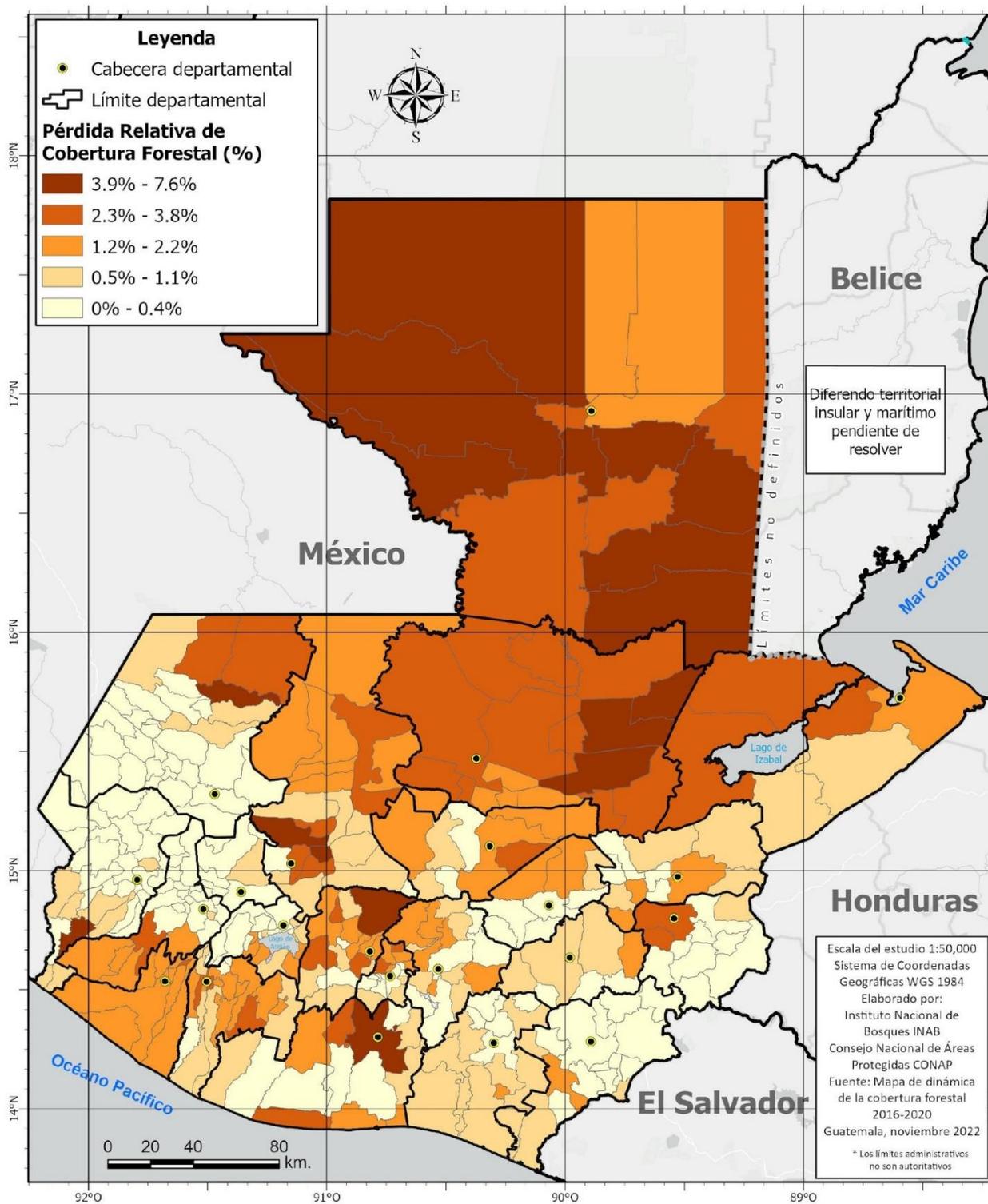
El cambio de la cobertura forestal para la actividad directa más importante en cuanto a la distribución y superficie deforestada, urbanización, incendios forestales, invasión en áreas protegidas, desastres naturales, plagas, agricultura comercial tecnificada y mecanizada, han incidido en una mayor deforestación tanto en la región de Tierras bajas del Norte, esto es para el caso de la pérdida, la cual resulta posible analizar en el presente estudio. (UVG, INAB, CONAP y URL. 2012;) Para el caso de incendios forestales (naturales y antropogénicos) y desastres naturales son fenómenos que se dan estacionalmente, según los estudios anteriores, las áreas deforestadas suelen regenerarse. Por otra parte, en el suroccidente del territorio nacional presenta

un porcentaje alto en ganancia de a cobertura forestal, pero corresponde en su mayoría plantaciones forestales latifoliadas, para el caso de ganancia de cobertura forestal, el área estimada de cobertura de hule establecido en dicha región del país es de alrededor de 75,000 hectáreas, a lo largo de los últimos 16 años.

4.4 Pérdida relativa de la cobertura forestal a nivel municipal

Para el período 2016-2020, se reporta una pérdida relativa a nivel de los 340 municipios de 2.3%, con respecto al área nacional, los principales departamentos donde se presentan estas pérdidas son: Petén, Alta Verapaz, Chimaltenango, Izabal, Quiché, entre otros y entre los primeros 10 municipios con pérdida relativa son: Poptún, San Luis, Dolores, Santa Ana, San Francisco, La Libertad del departamento de Petén; Senahú del departamento de Alta Verapaz; San Pedro Jocopilas, Chinique del departamento de Quiché, San Martín Jilotepeque del departamento de Chimaltenango, tal como se observa en la figura 20.

Figura 20. Distribución de la pérdida bruta relativa de cobertura forestal a nivel municipal

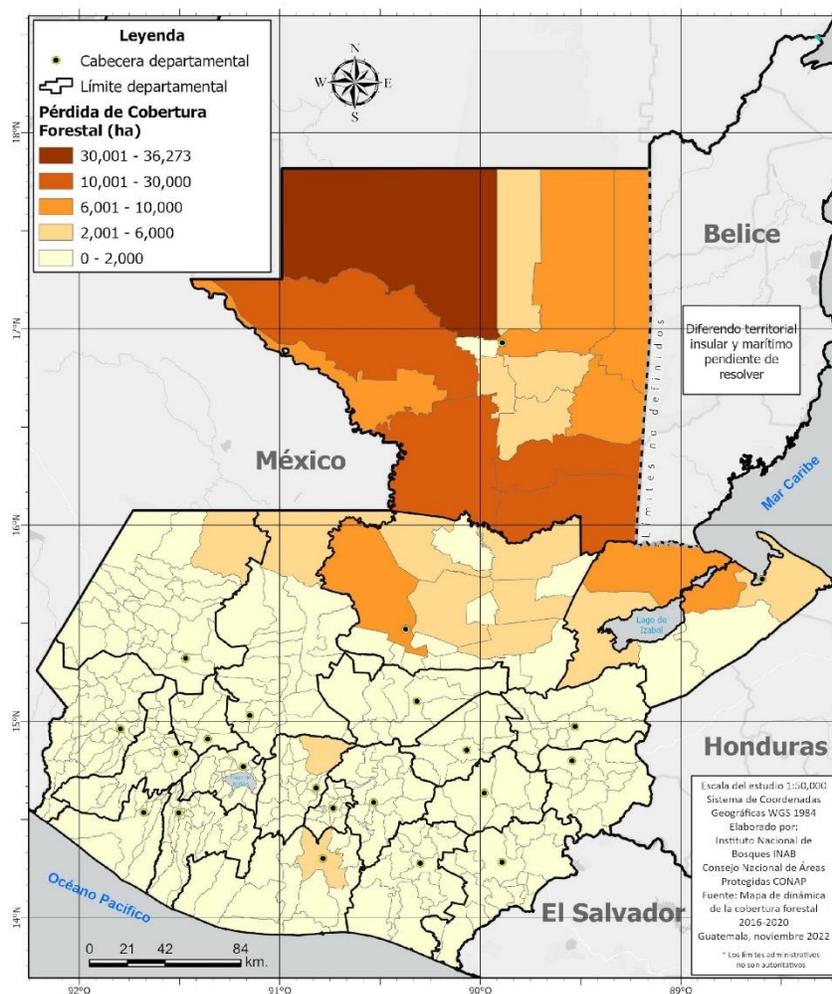


Nota: Elaboración propia

4.5 Pérdida bruta de cobertura forestal a nivel municipal

Los 11 primeros municipios que presentan pérdidas durante el periodo de estudio, son: San Andrés, La Libertad, Sayaxché, San Luis, Poptún, Las Cruces, Flores, Dolores, Melchor de Mencos, del departamento de Petén, y el municipio de Livingston del departamento de Izabal y Cobán del departamento de Alta Verapaz; cada uno de estos municipios presentaron más de 6000 hectáreas de pérdida, y en conjunto un total de 140,877.92 ha., lo que representa el 57.6% de las pérdidas a nivel nacional. En la figura 21 se muestran los municipios con mayor pérdida de cobertura forestal.

Figura 21. Pérdida bruta de cobertura forestal a nivel municipal

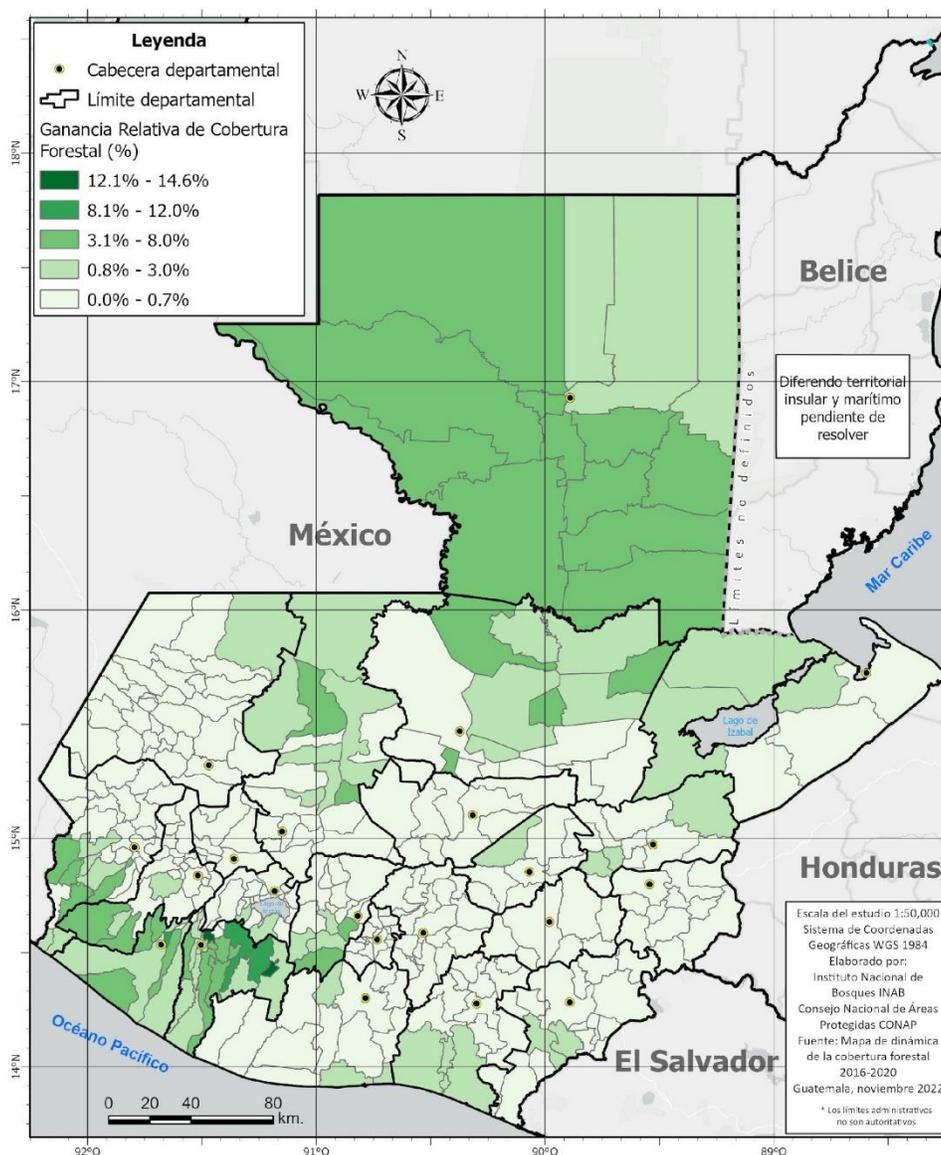


Nota: Elaboración propia

4.6 Ganancia relativa de cobertura forestal a nivel municipal

A lo largo del período 2016-2020, los municipios del país que reportaron ganancia relativa con respecto al área de su jurisdicción, en un porcentaje mayor del 8% son: Samayac, San Juan Bautista, Chicacao y Santa Bárbara del departamento de Suchitepéquez, más el municipio de San Sebastián, del departamento de Retalhuleu. En la figura 22 se observan los municipios de mayor ganancia relativa.

Figura 22. Distribución de ganancia bruta relativa de cobertura forestal a nivel municipal

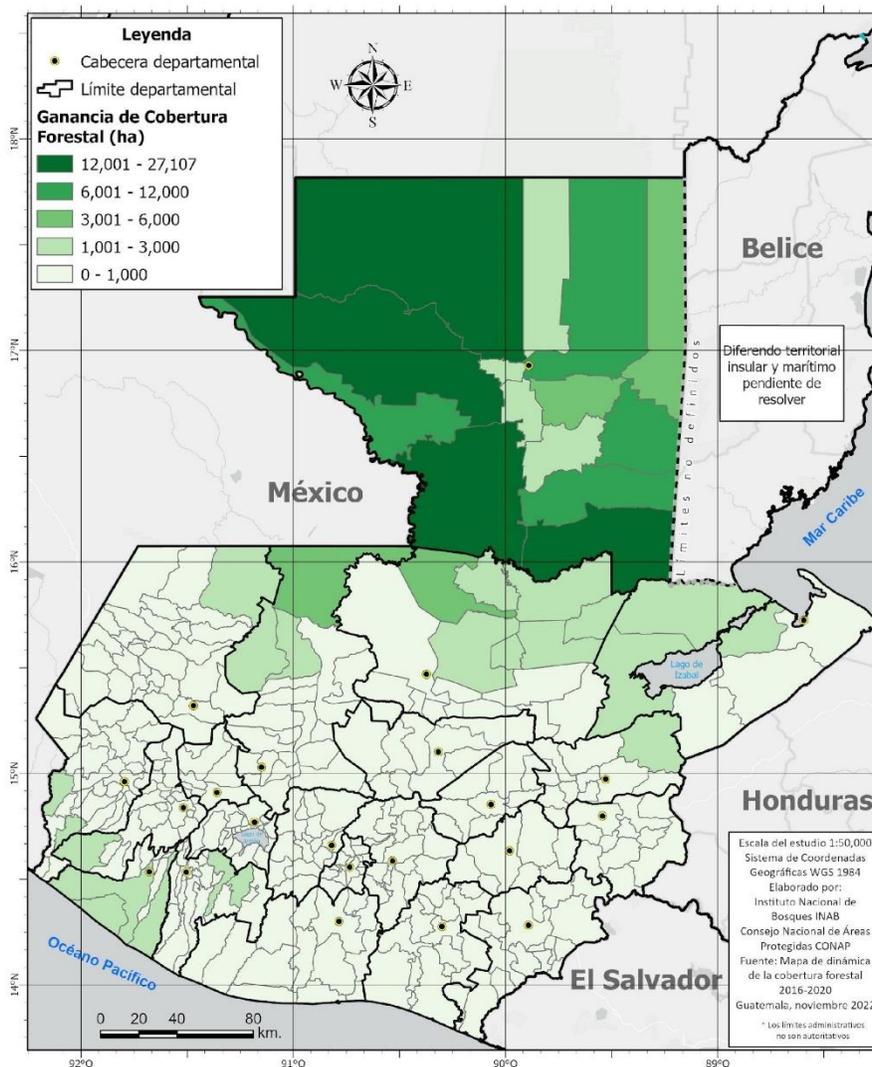


Nota: Elaboración propia

4.7 Ganancia bruta de cobertura forestal a nivel municipal

En la figura 23 se visualizan los primeros 10 municipios que reportaron ganancias de cobertura forestal durante el período, todos del departamento de Petén, incluidos los 9 municipios del departamento entre los que presentaron las mayores pérdidas, a los que se sumó el municipio de Santa Ana. Las ganancias para cada uno de estos municipios fueron mayores a 5,000 ha., y en conjunto sumaron un total de 177,193.98 ha. equivalentes al 61.15% de las ganancias totales a nivel nacional.

Figura 23. Distribución de ganancia bruta de cobertura forestal a nivel municipal



Nota: Elaboración propia

4.8 Cobertura forestal en Áreas Protegidas

Del territorio nacional con cobertura forestal (3,601,567 hectáreas), 1,831,704.7 hectáreas se encuentran dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP-, equivalente al 50.9%; 1,769,862.1 hectáreas que corresponden al 49.1% se encuentran fuera del SIGAP. Como se presenta en la tabla 7 y la figura 24.

Dado que el área territorial del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas es de 3,405,756.8 hectáreas, para el año 2020, el 56% de éste poseía cobertura forestal, el restante 44% estaba desprovisto de cubierta forestal. Como se observa en la figura 25.

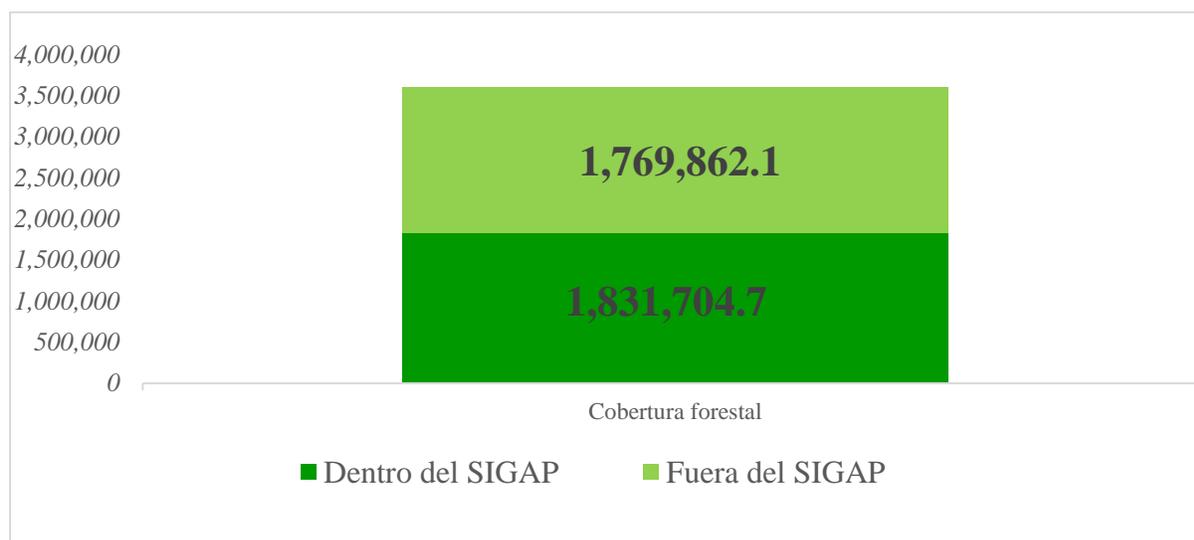
La distribución geográfica de la cobertura forestal que se encuentra dentro del SIGAP, se muestran en la figura 26.

Tabla 7. Cobertura forestal en el SIGAP y fuera del SIGAP 2020

	Dentro del SIGAP	Fuera del SIGAP	Total
Cobertura forestal	1,831,704.7	1,769,862.1	3,601,567
Porcentaje	50.9%	49.1%	100%

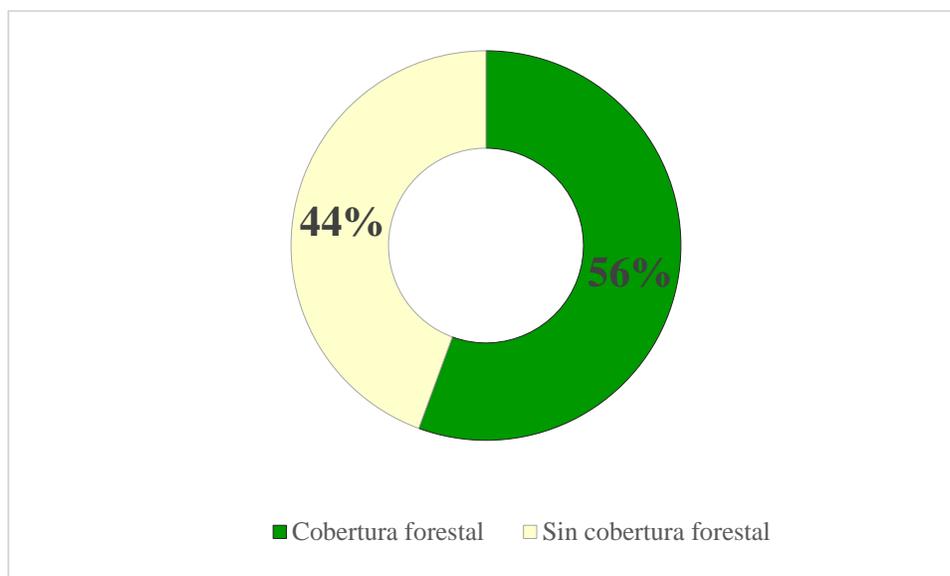
Nota: Elaboración propia

Figura 24. Cobertura forestal dentro y fuera del SIGAP



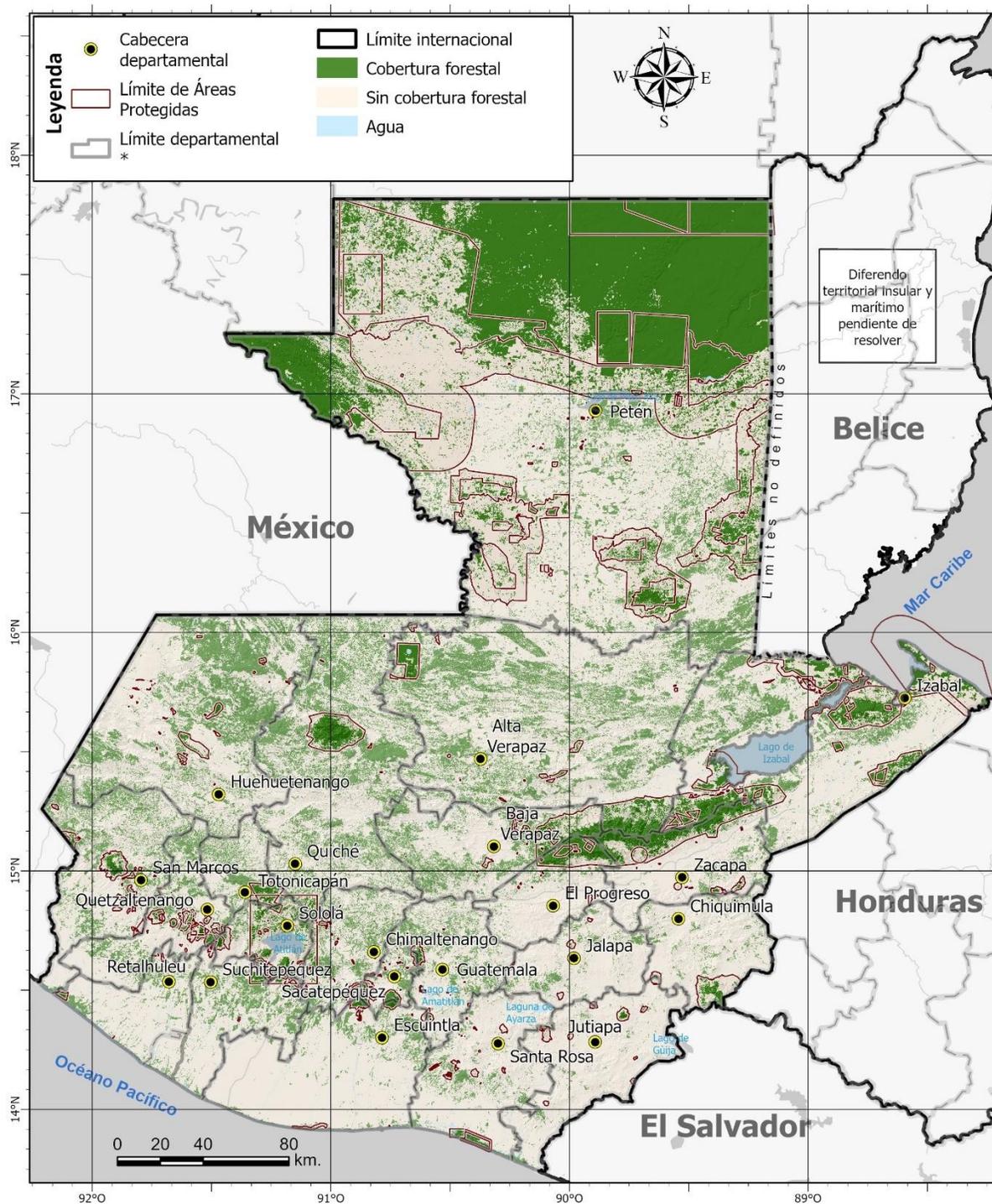
Nota: Elaboración propia

Figura 25. Porcentaje del territorio del SIGAP con cobertura forestal para el año 2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 26. Mapa de cobertura forestal dentro y fuera del Sistema Guatemalteco de áreas protegidas



Nota: Elaboración propia.

4.9 Cobertura forestal por área protegida 2020

La Reserva de Biosfera Maya (RBM) es la que mayor cantidad de cobertura registra al año 2020 con un total de 1,293,681 hectáreas (ver tabla 8 y figura 27), esta cobertura representa un 62.0% del área total de la RBM; adicionalmente se puede indicar que esas 1,293,681 hectáreas de cobertura forestal representan un 70.6% de toda la cobertura forestal del SIGAP.

Tabla 8. Top 5 de áreas del SIGAP con mayor cobertura forestal en 2020

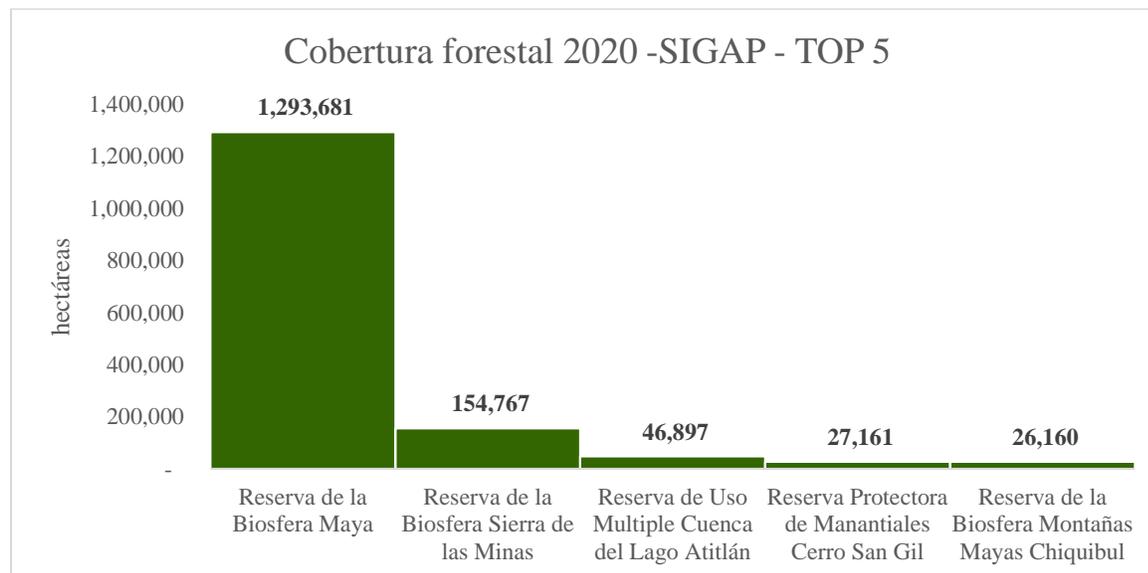
Posición	Nombre del área protegida	Cobertura Forestal 2020 (ha)	Área total (ha)	Área de cobertura (%)
1	Reserva de la Biosfera Maya	1,293,681	2,086,110	62.0%
	Reserva de la Biosfera Maya - Zona de Usos Múltiples	687,871	800,798	85.9%
	Reserva de la Biosfera Maya - Zona Núcleo	518,345	815,785	63.5%
	Reserva de la Biosfera Maya - Zona de Amortiguamiento	87,465	469,527	18.6%
2	Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas	154,767	240,540	64.3%
3	Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago Atitlán	46,897	124,428	37.7%
4	Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil	27,161	46,511	58.4%
5	Reserva de la Biosfera Montañas Mayas Chiquibul	26,160	61,398	42.6%
Total		1,548,666		

*Cobertura forestal = Bosque que permanece + ganancia de bosque

Nota: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra el top 5 de cobertura forestal en áreas del SIGAP para el 2020.

Figura 27. Las cinco áreas protegidas con mayor cobertura forestal del SIGAP



Nota: Elaboración propia.

4.10 Dinámica de cobertura forestal 2016-2020 en Áreas Protegidas

Al inicio del periodo 2016-2020, la cobertura forestal dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas se estimaba en 1,857,869 hectáreas, para el año 2020, tuvo una reducción de 109,068 hectáreas, y una ganancia de 82,903 hectáreas, lo que se traduce en un cambio neto en el período de -26,165 hectáreas, un cambio neto anual de -6,541 hectáreas con una tasa del -0.35% de pérdida anual.

4.10.1 Dinámica de cobertura forestal histórica en el SIGAP

Como un análisis complementario y comparativo se hace referencia al comportamiento de la cobertura forestal del SIGAP desde el año 2001 (Tabla 9). Es importante tomar en cuenta que este análisis parte de la premisa de que los polígonos del SIGAP analizados corresponden a la capa digital del SIGAP más reciente (octubre 2022), es decir que para analizar la cobertura

forestal del SIGAP de los años 2001, 2006, 2010 y 2016 se utilizó la capa del SIGAP de octubre de 2022; lo anterior derivado de la carencia de registros de la capa del SIGAP.

Tabla 9. Comportamiento de la cobertura forestal en el SIGAP de 2001 a 2020

Año	Cobertura forestal SIGAP (ha)	Cobertura forestal SIGAP (%)	Diferencia
2001	2,219,042	67.4%	
2006	2,056,478	62.4%	-4.9%
2010	1,941,932	57.0%	-3.4%
2016	1,857,869	54.6%	-2.6%
2020	1,831,705	55.6%	-0.8%

En la tabla 9 se puede observar claramente que la cobertura forestal en el SIGAP ha experimentado un decrecimiento, el cual ha mostrado una desaceleración, es decir, conforme transcurre el tiempo, cada vez se está perdiendo menos cobertura forestal en el SIGAP; Durante el período de 2001 a 2006, el porcentaje de cobertura forestal en el SIGAP disminuyó del 67.4% al 60.4%, lo que representa una tasa de cambio de -4.9%. No obstante, es relevante notar que esta tasa ha ido disminuyendo en cada medición posterior de la cobertura forestal, llegando a un 0.8% en el período de 2016 a 2020.

4.11 Dinámica de la cobertura forestal por departamento

4.11.1 Departamento de Guatemala

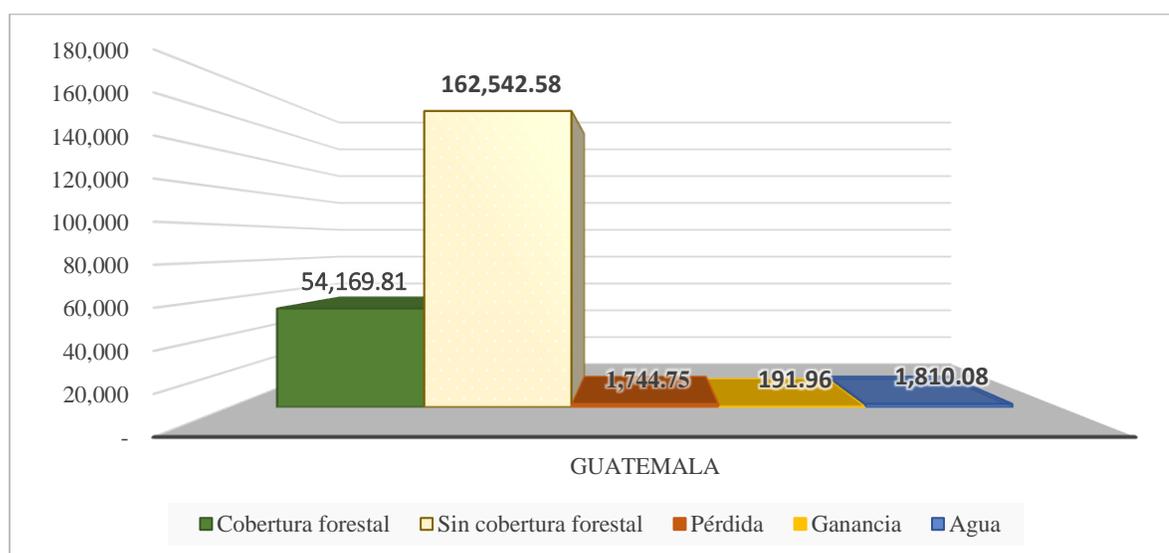
Para el 2016, el departamento de Guatemala contaba con 55,915 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 54,362 hectáreas.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,744.75 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 191.96 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -1,552.78 ha. de cobertura forestal, que representan el -2.78% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 28 y 29 muestran la

dinámica de la cobertura forestal del departamento de Guatemala durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

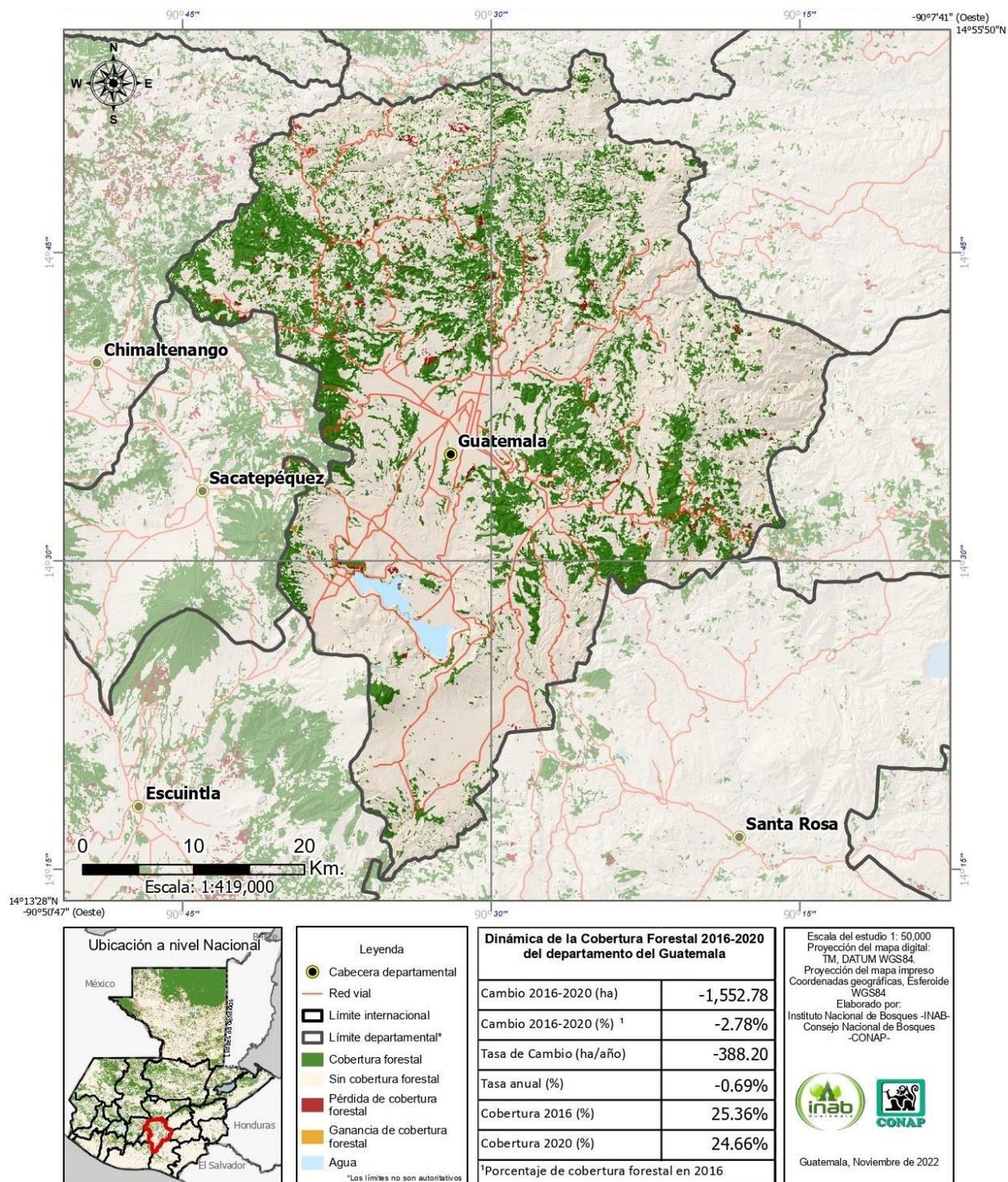
La tasa de pérdida para el departamento de Guatemala fue de -388 ha/año, equivalente al -0.69% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 28. Dinámica de la Cobertura Forestal en el Departamento de Guatemala Durante el período de Referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Figura 29. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Guatemala, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

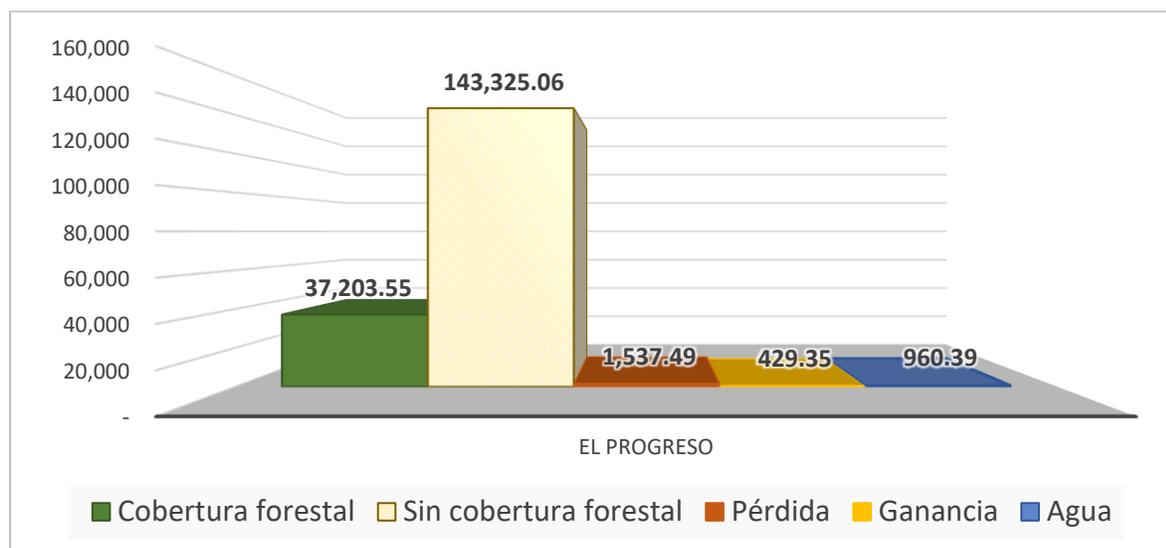
4.11.2 Departamento de El Progreso

Para el 2016, el departamento de El Progreso contaba con 38,741 hectáreas de cobertura forestal mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 37,633 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,537.49 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 429.35 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -1,108.15 ha. de cobertura forestal, que representan el -2.86% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 30 y 31 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de El Progreso durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

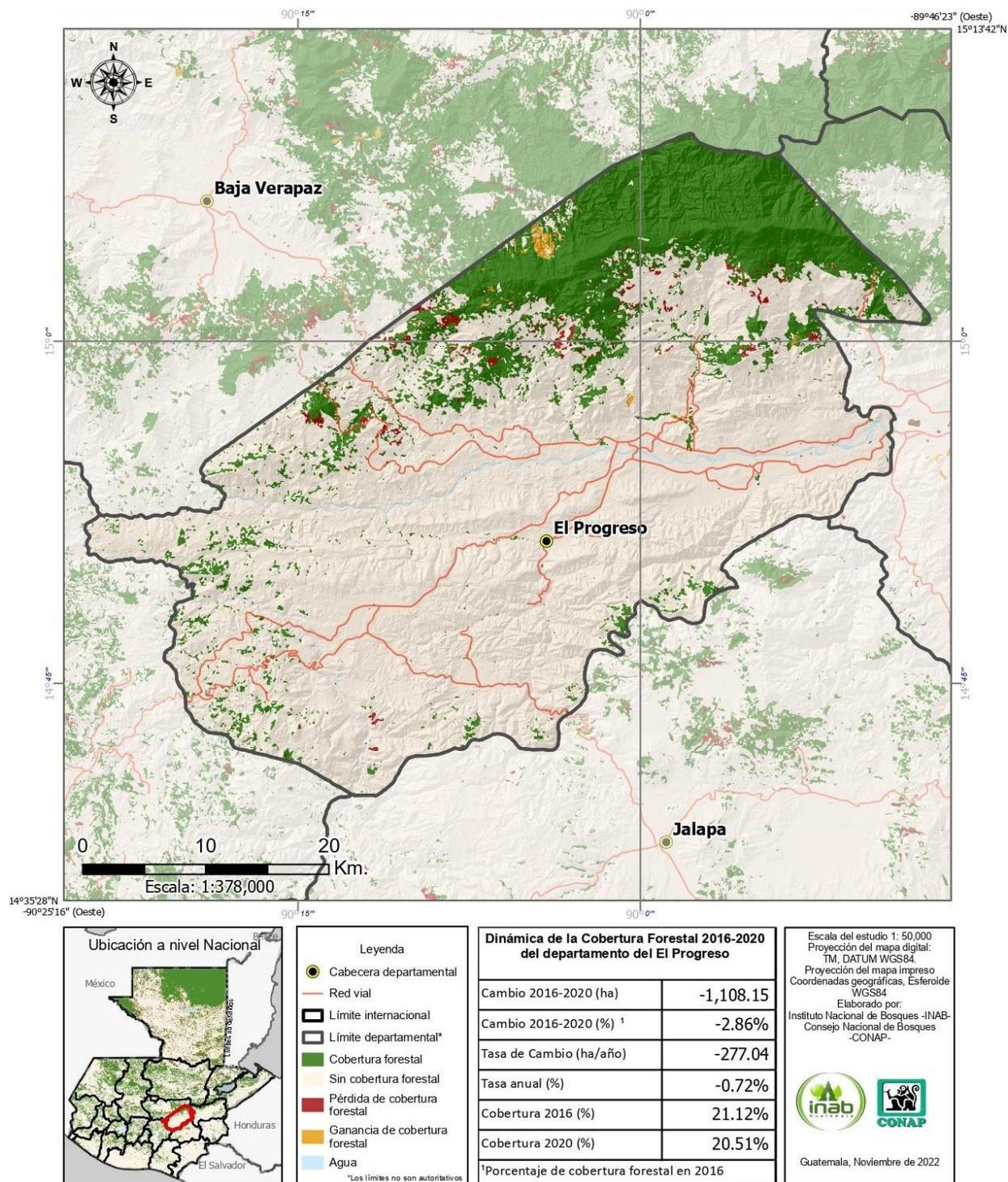
La tasa de pérdida para el departamento de El Progreso fue de -277 ha/año, equivalente al -0.72% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 30. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de El Progreso durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 31. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de El Progreso, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

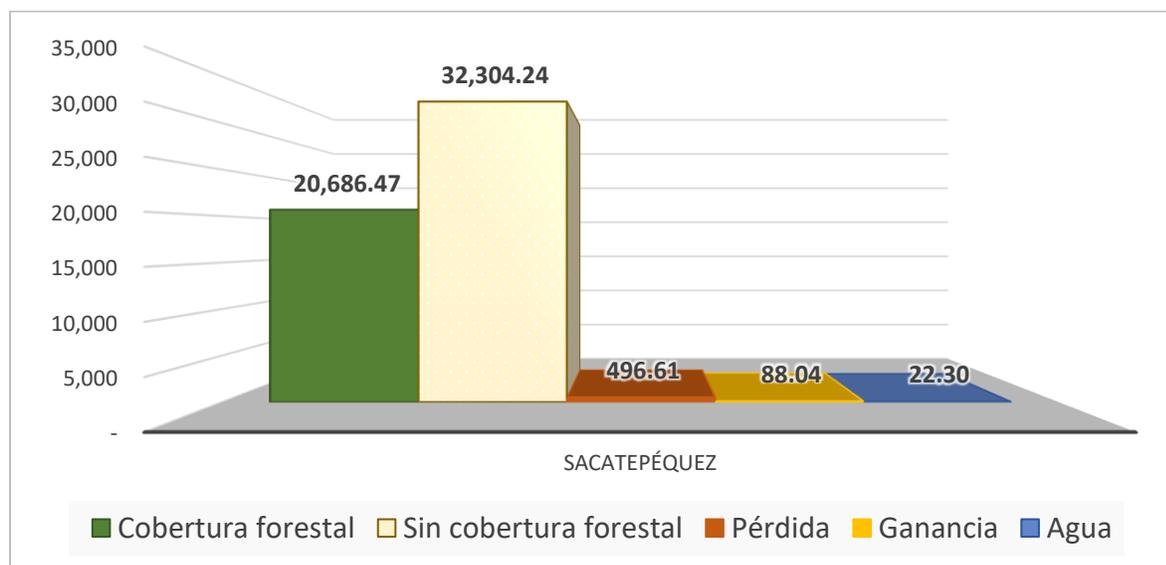
4.11.3 Departamento de Sacatepéquez

Para el 2016, el departamento de Sacatepéquez contaba con 21,183 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 20,775 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 496.61 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 88.04 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -408.57 ha. de cobertura forestal, que representan el -1.93% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 32 y 33 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Sacatepéquez durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

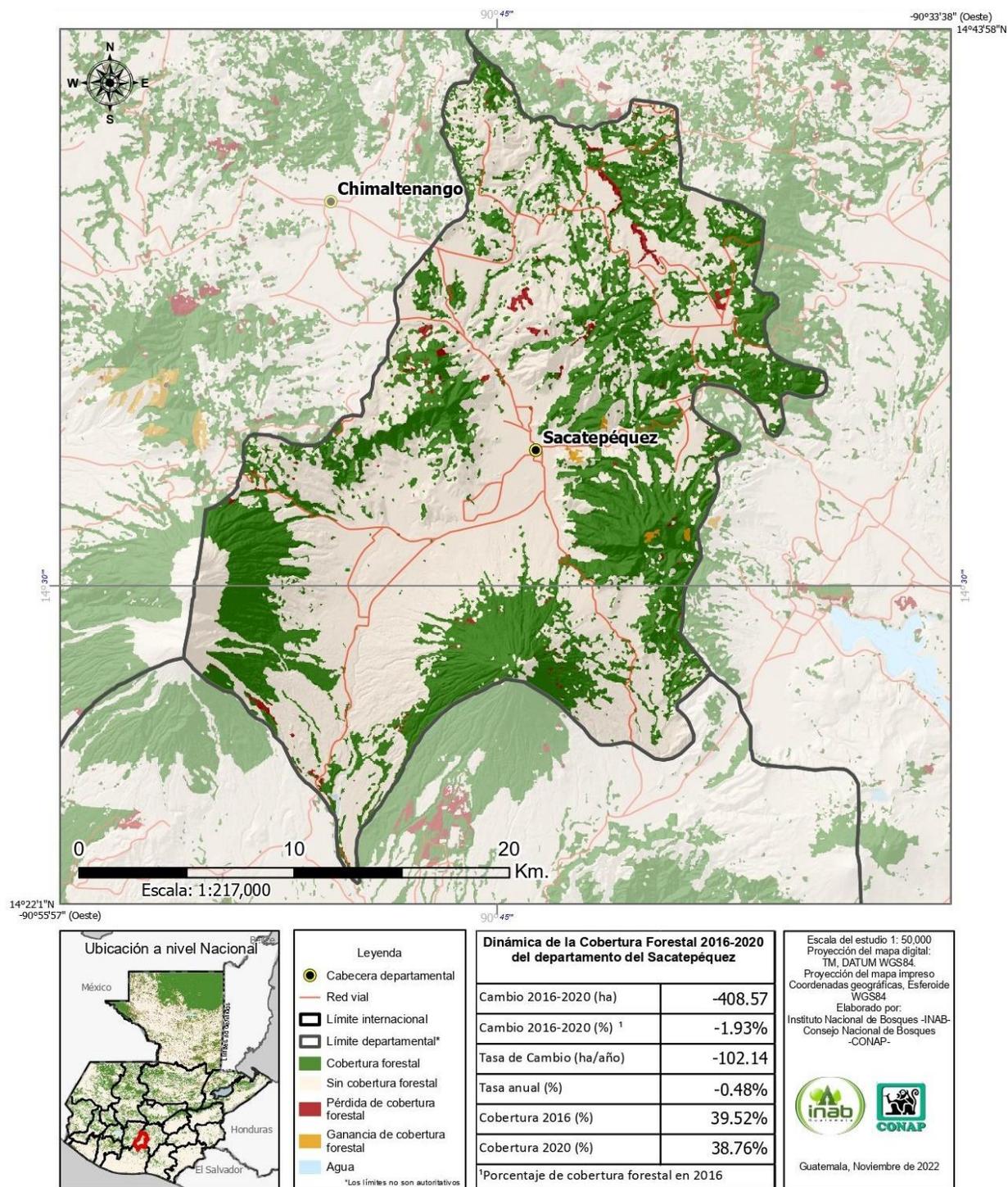
La tasa de pérdida para el departamento de Sacatepéquez fue de -102 ha/año, equivalente al -0.48% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 32. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Sacatepéquez durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 33. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Sacatepéquez, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

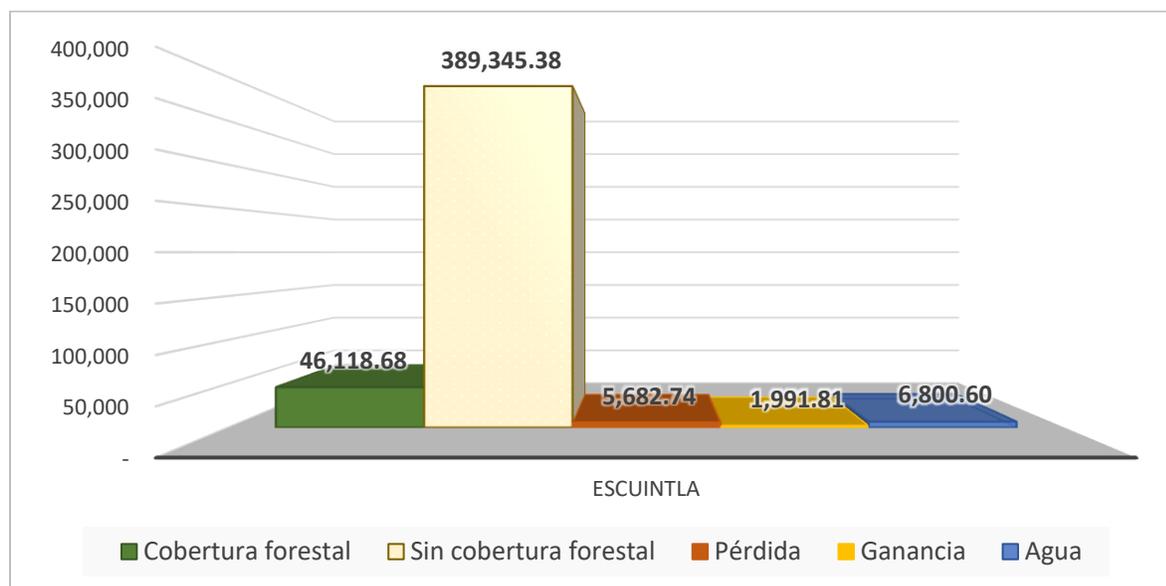
4.11.4 Departamento de Chimaltenango

Para el 2016, el departamento de Chimaltenango contaba con 68,170 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 65,125 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 4,463.51 ha de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 1,418.55 ha; por lo que la pérdida neta fue de -3,044.96 ha. de cobertura forestal, que representan el -4.47% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 34 y 35 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Chimaltenango durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

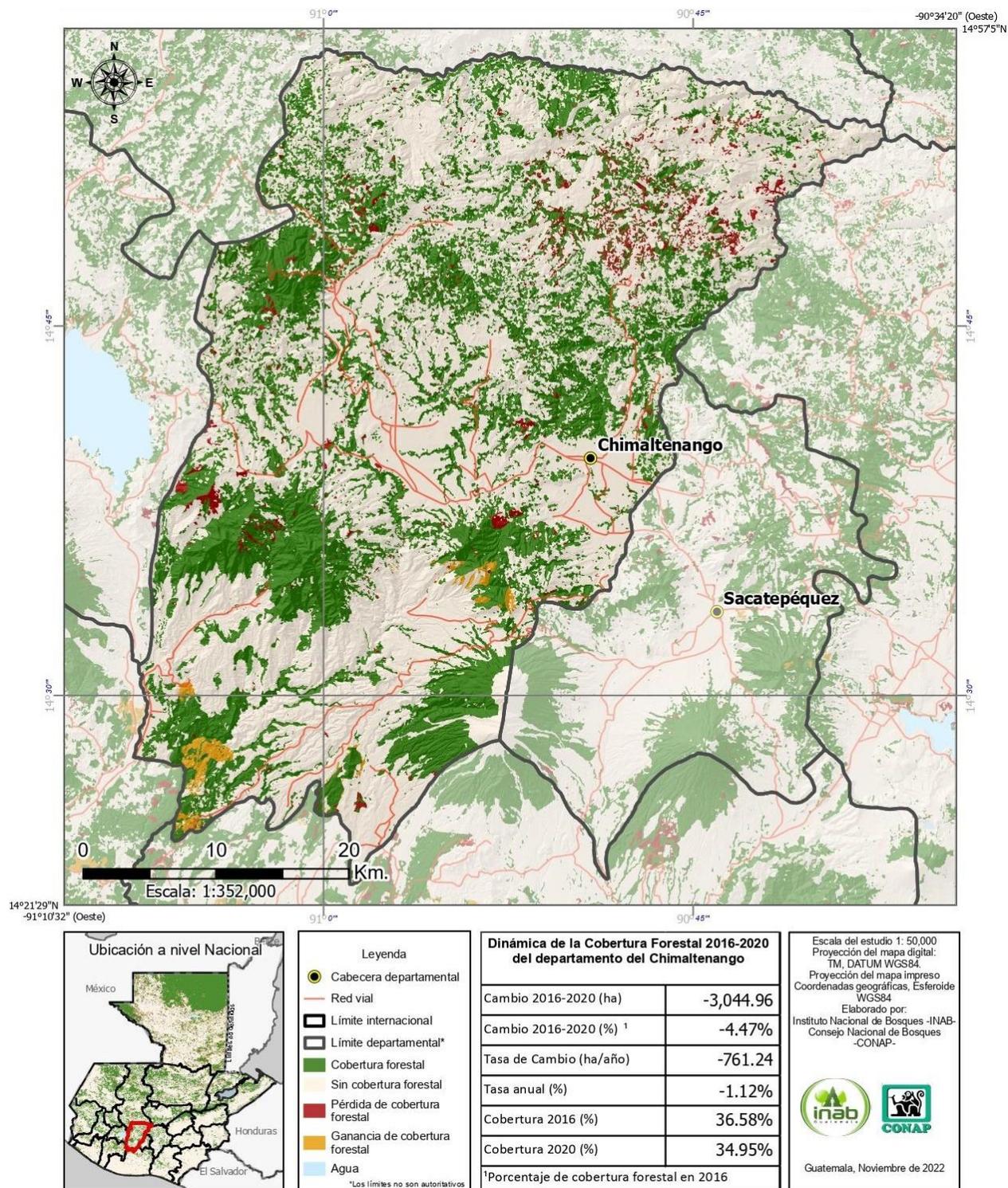
La tasa de pérdida para el departamento de Chimaltenango fue de -761 ha/año, equivalente al -1.12% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 34. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Chimaltenango durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Figura 35. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Chimaltenango, Guatemala.



Nota: Elaboración propia.

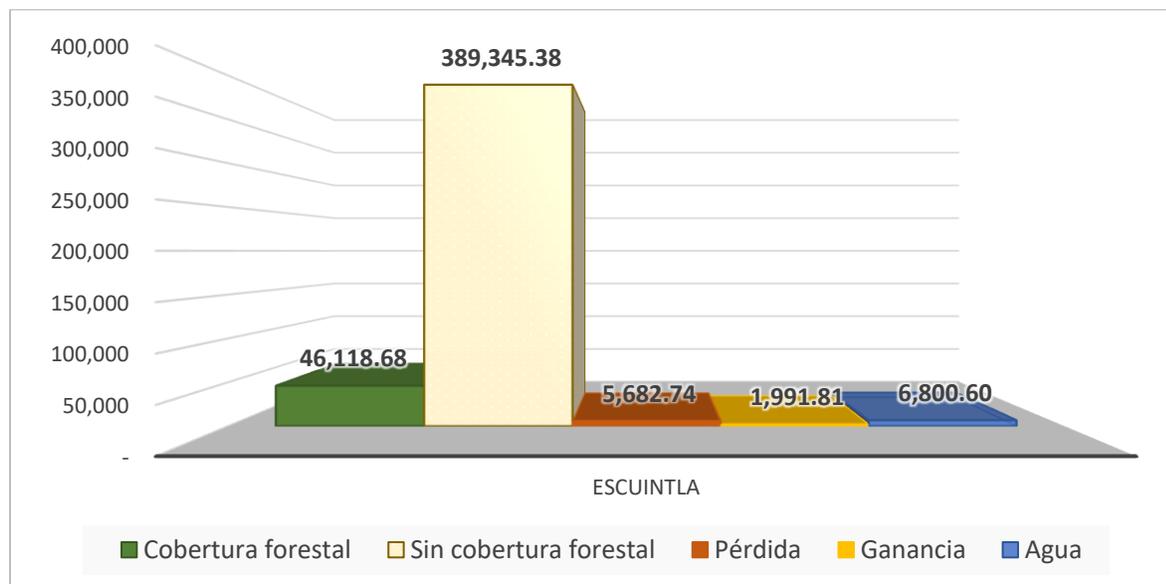
4.11.5 Departamento de Escuintla

Para el 2016, el departamento de Escuintla contaba con 51,801 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 48,110 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 5,682.74 ha de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 1,991.81 ha; por lo que la pérdida neta fue de - 3,690.92 ha de cobertura forestal, que representan el -7.13% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 36 y 37 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Escuintla durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

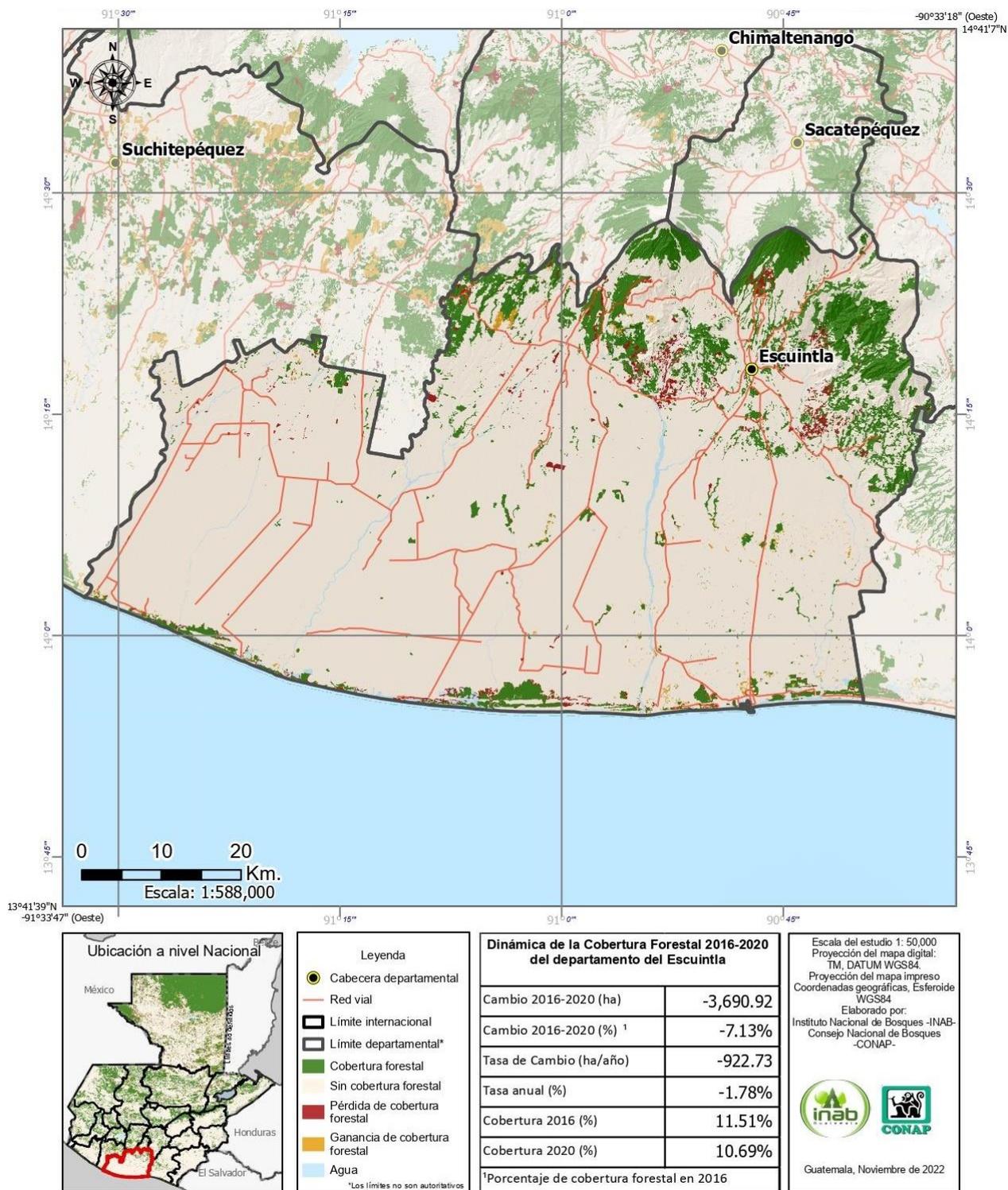
La tasa de pérdida para el departamento de Escuintla fue de -923 ha/año, equivalente al - 1.78% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 36. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Escuintla durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia..

Figura 37. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Escuintla, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

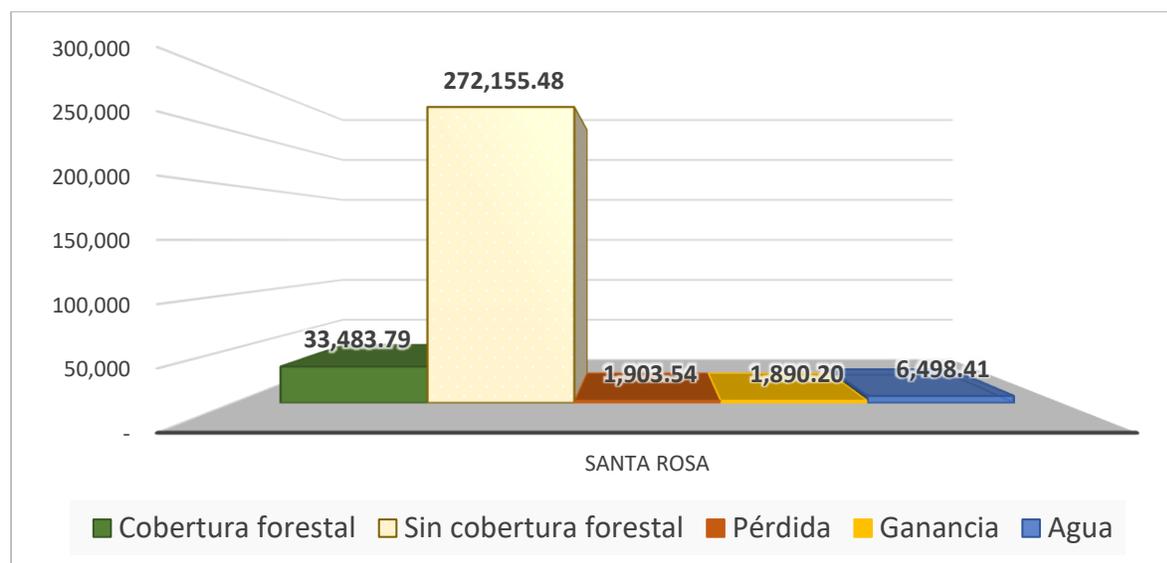
4.11.6 Departamento de Santa Rosa

Para el 2016, el departamento de Santa Rosa contaba con 35,387 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 35,374 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,903.54 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 1,890.20 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -13.35 ha. de cobertura forestal, que representan el -0.04% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 38 y 39 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Santa Rosa durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

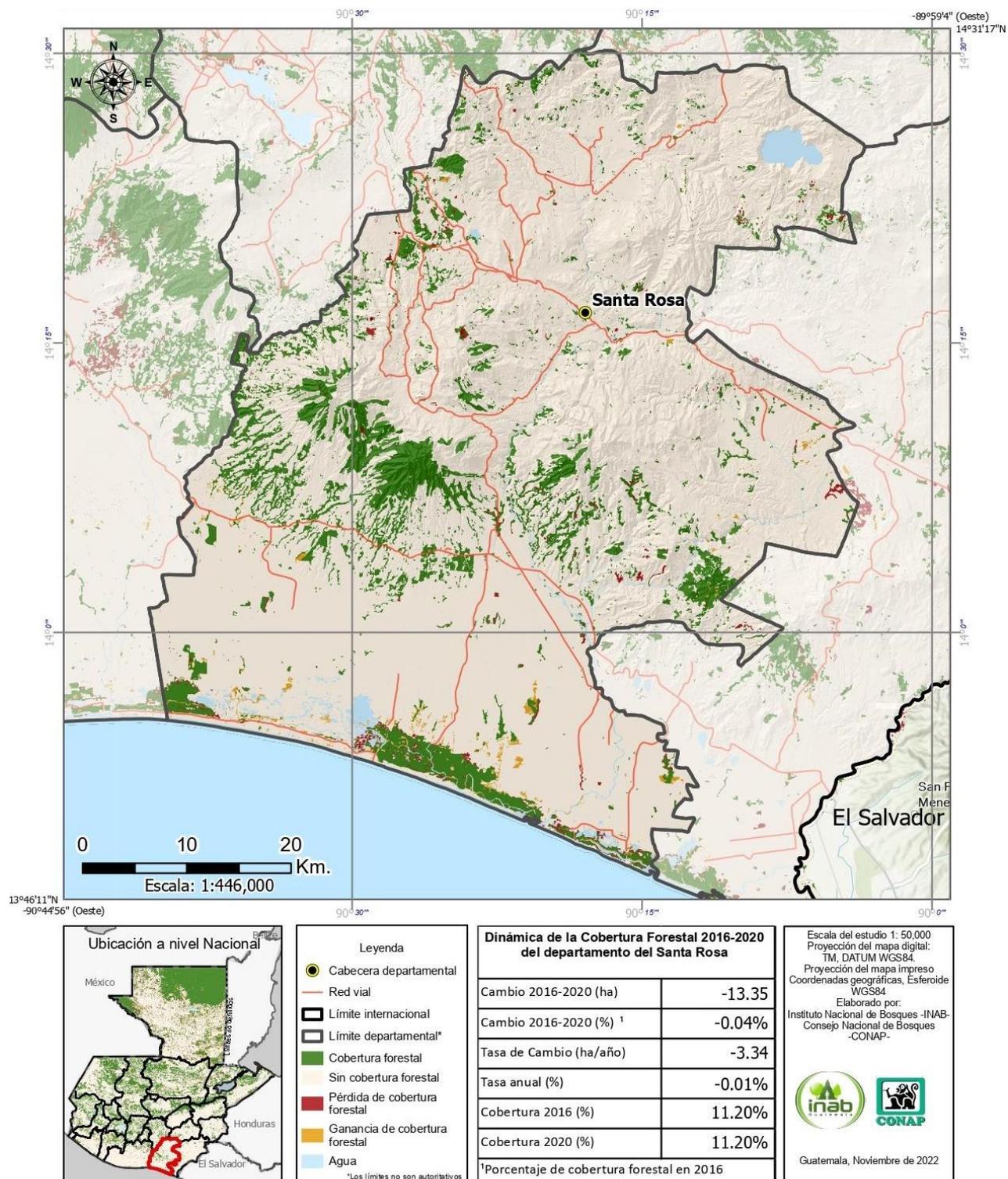
La tasa de pérdida para el departamento de Santa Rosa fue de -3 ha/año, equivalente al -0.01% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 38. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Santa Rosa durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 39. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Santa Rosa, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

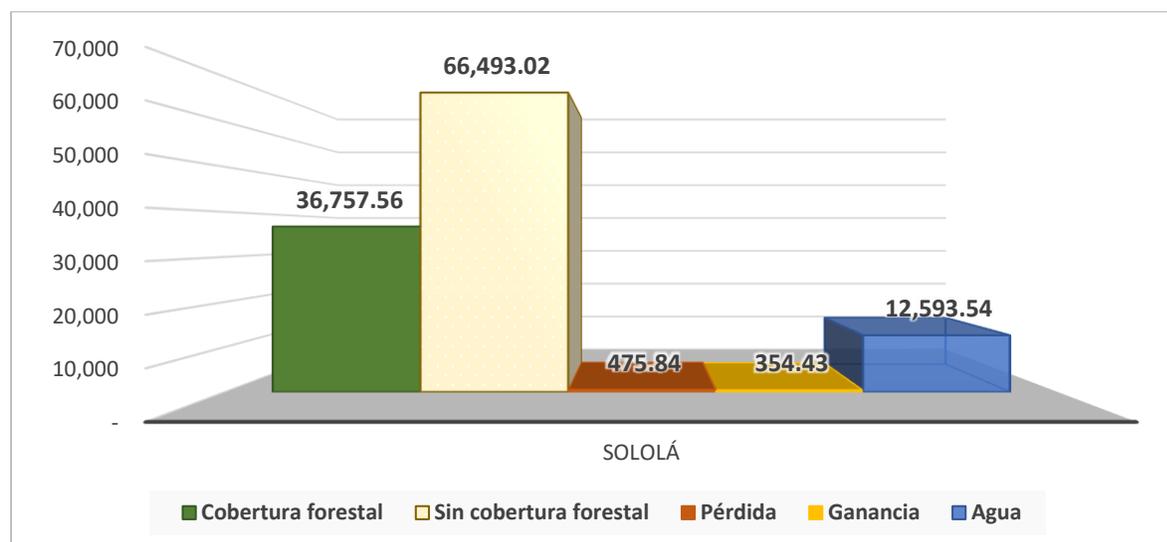
4.11.7 Departamento de Sololá

Para el 2016, el departamento de Sololá contaba con 37,233 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 37,112 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 475.84 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 354.43 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -121.42 ha. de cobertura forestal, que representan el -0.33% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 40 y 41 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Sololá durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

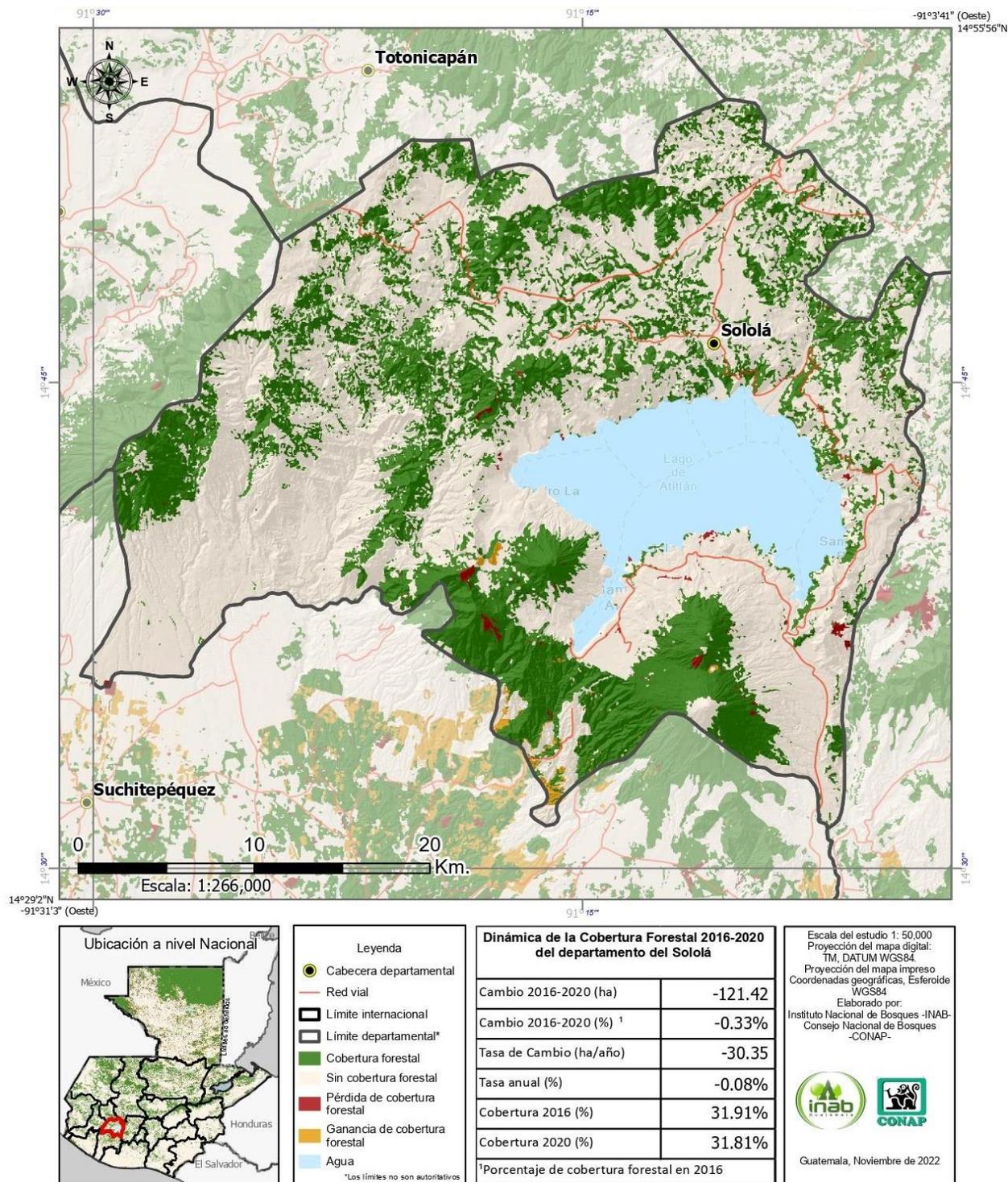
La tasa de pérdida para el departamento de Sololá fue de -30 ha/año, equivalente al -0.08% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 40. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Sololá durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 41. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Sololá, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

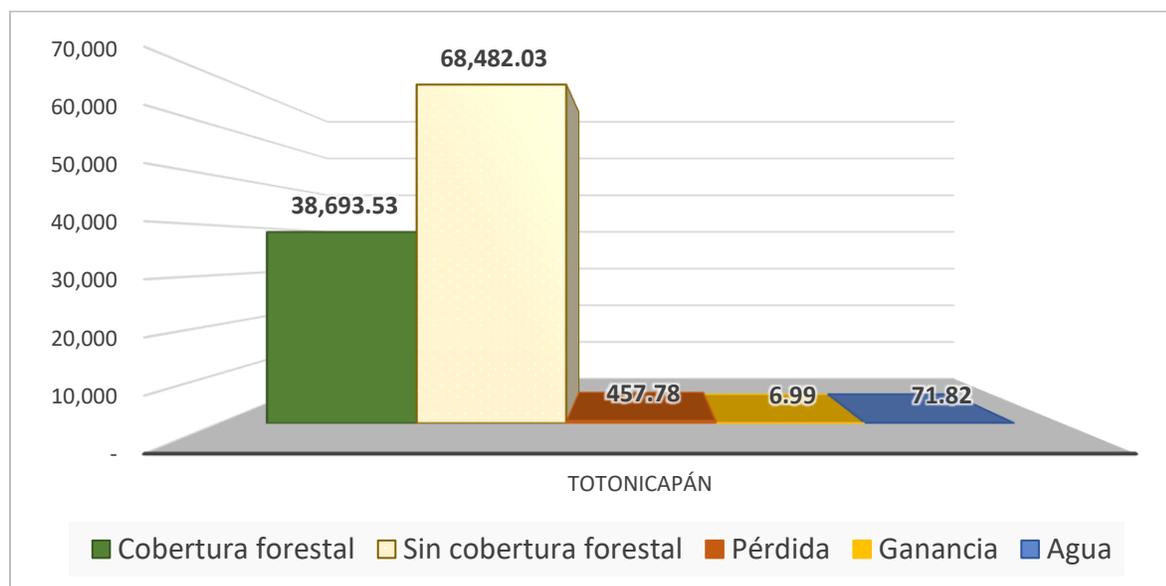
4.11.8 Departamento de Totonicapán

Para el 2016, el departamento de Totonicapán contaba con 39,151 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 38,701 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 457.78 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 6.99 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -450.78 ha de cobertura forestal, que representan el -1.15% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 42 y 43 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Totonicapán durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

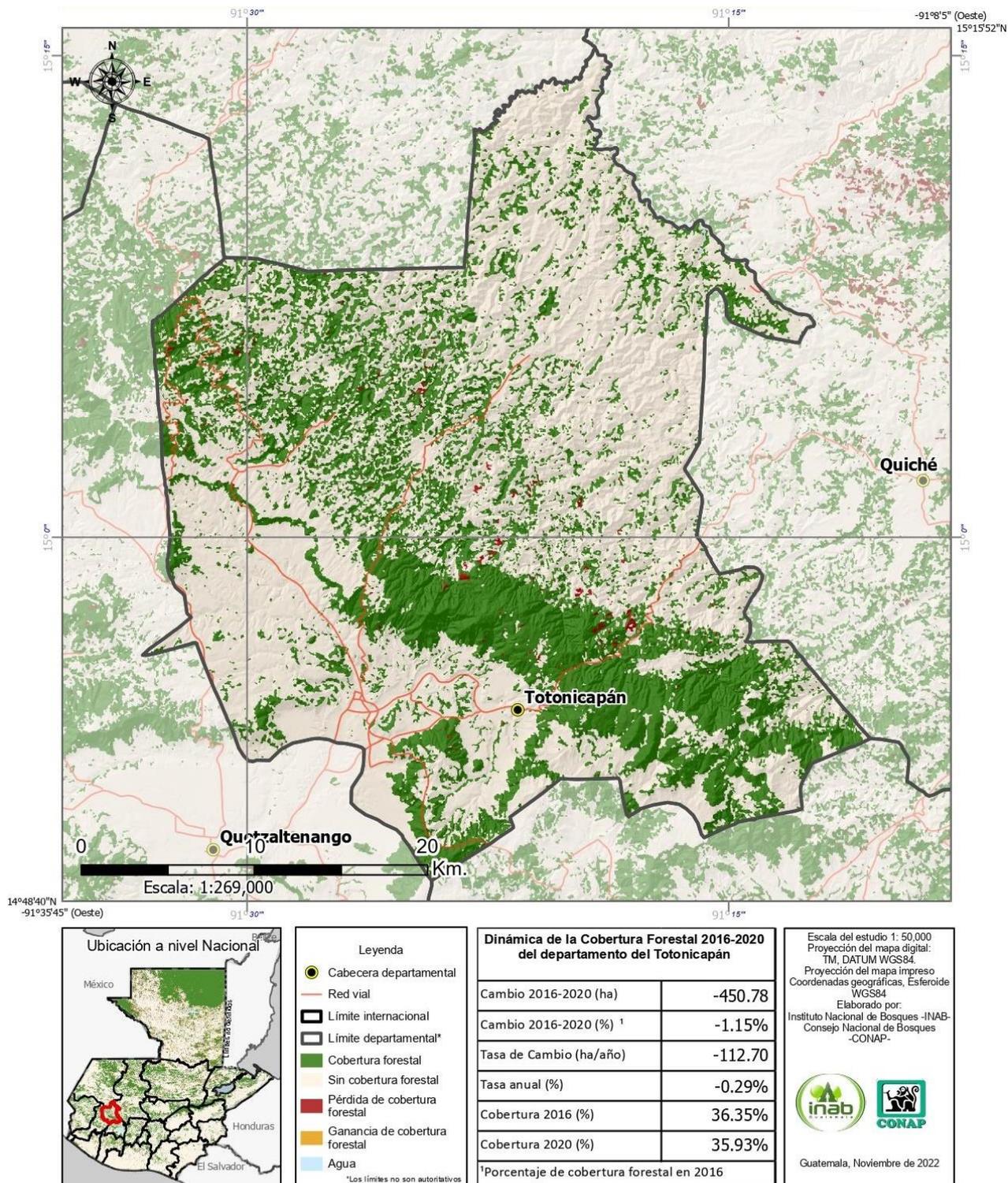
La tasa de pérdida para el departamento de Totonicapán fue de -113 ha/año, equivalente al -0.29% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 42. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Totonicapán durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 43. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Totonicapán, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

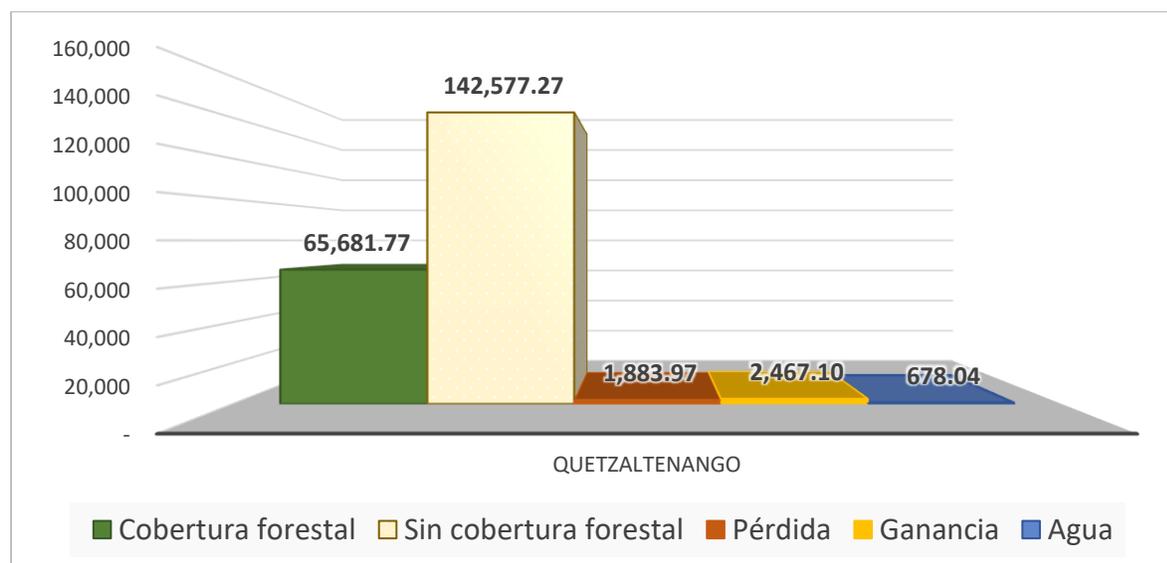
4.11.9 Departamento de Quetzaltenango

Para el 2016, el departamento de Quetzaltenango contaba con 67,566 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 68,149 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,883.97 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 2,467.10 ha.; por lo que la ganancia neta fue de 583.12 ha. de cobertura forestal, que representan el 0.86% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 44 y 45 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Quetzaltenango durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

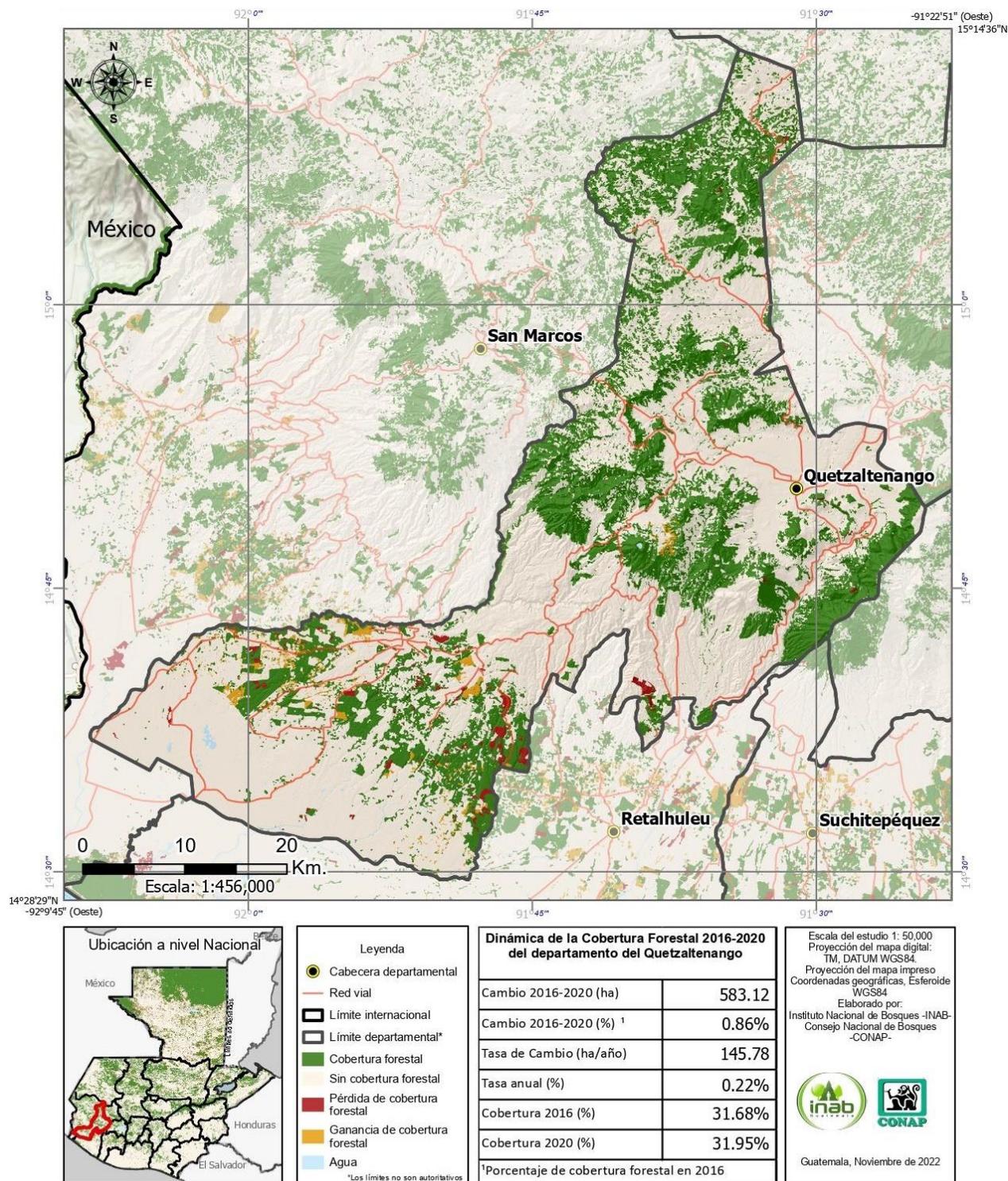
La tasa de ganancia para el departamento de Quetzaltenango fue de 146 ha/año, equivalente al 0.22% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 44. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Quetzaltenango durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Figura 45. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Quetzaltenango, Guatemala



Nota: Elaboración propia

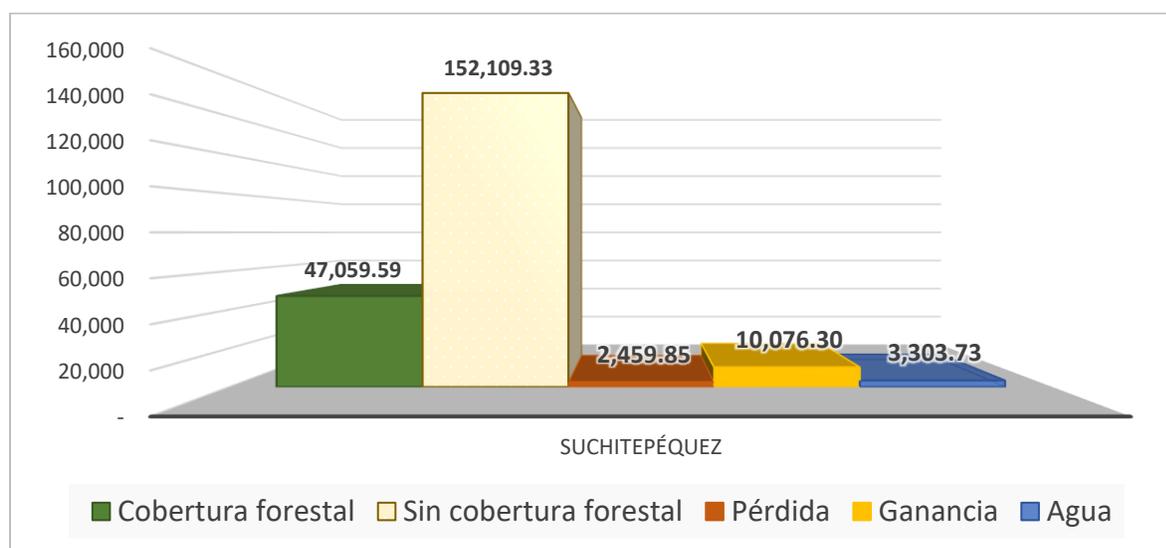
4.11.10 Departamento de Suchitepéquez

Para el 2016, el departamento de Suchitepéquez contaba con 49,519 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 57,136 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 2,459.85 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 10,076.3 ha.; por lo que la ganancia neta fue de 7,616.45 ha. de cobertura forestal, que representan el 15.38% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 46 y 47 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Suchitepéquez durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

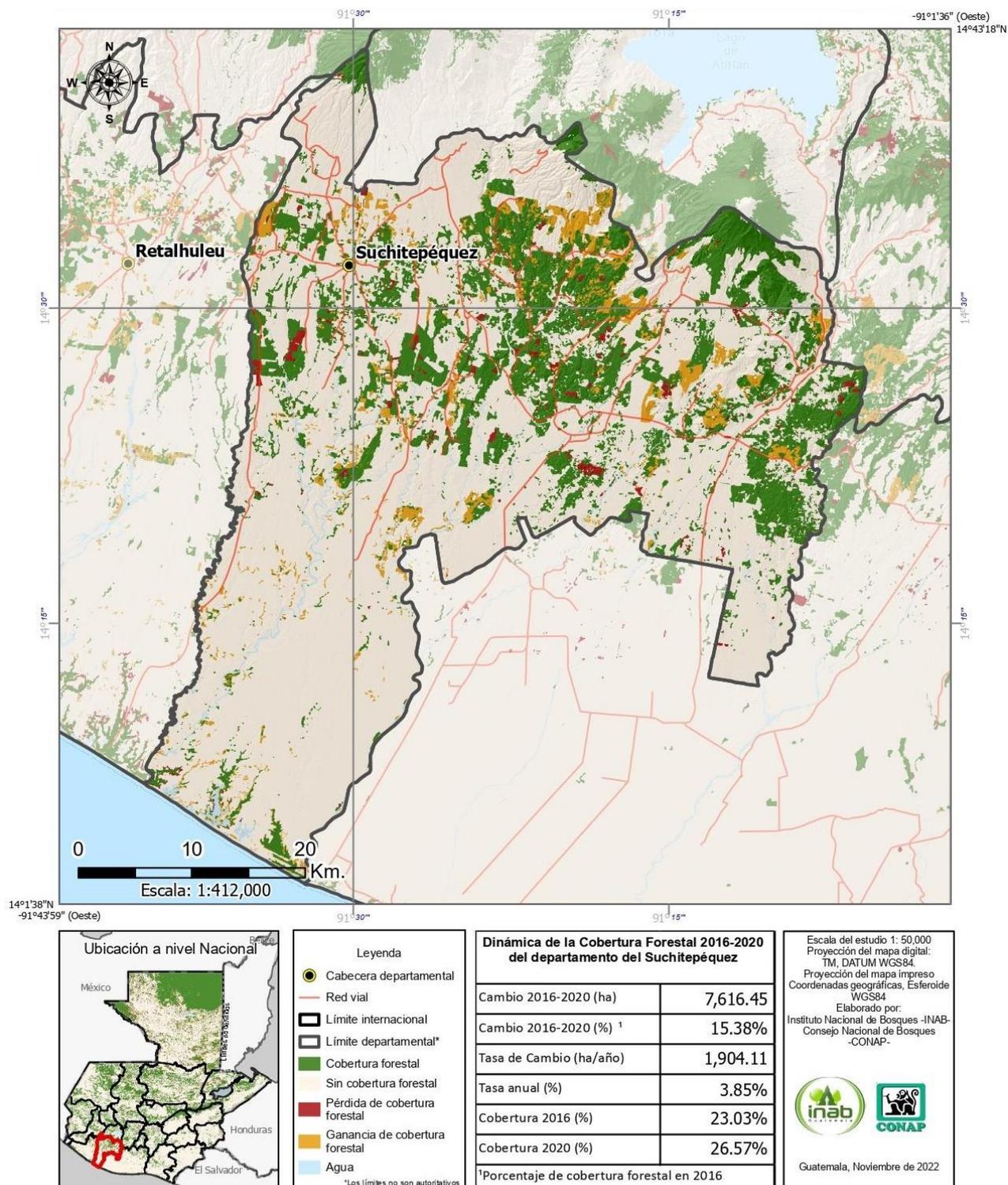
La tasa de ganancia para el departamento de Suchitepéquez fue de 1,904 ha/año, equivalente al 3.85% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 46. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Suchitepéquez durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 47. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Suchitepéquez, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

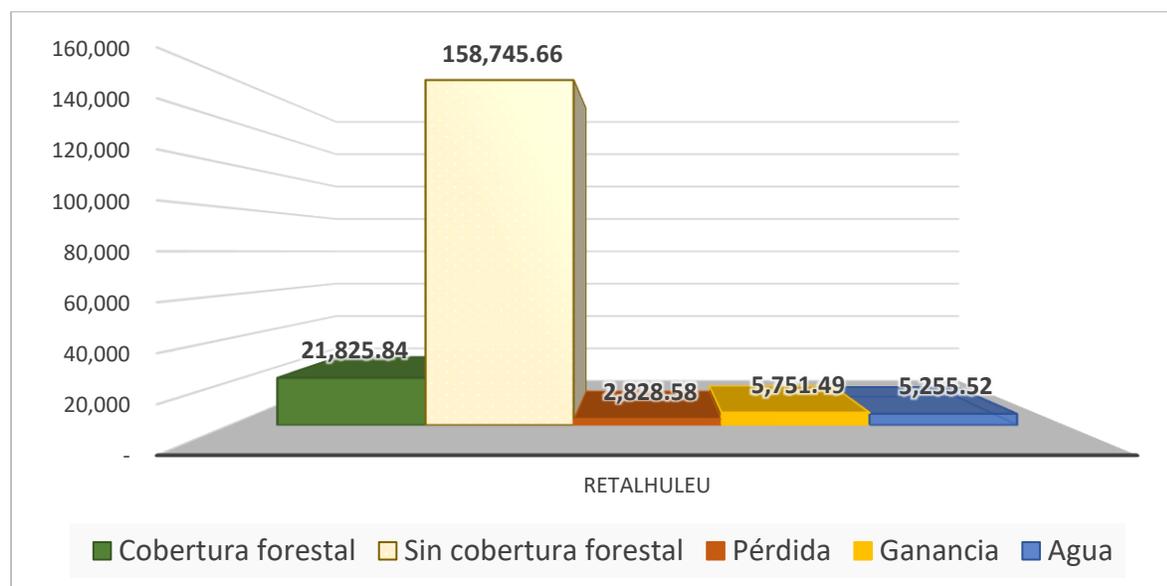
4.11.11 Departamento de Retalhuleu

Para el 2016, el departamento de Retalhuleu contaba con 24,654 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 27,577 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 2,828.58 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 5,751.49 ha.; por lo que la ganancia neta fue de 2,922.91 ha. de cobertura forestal, que representan el 11.86% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 48 y 49 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Retalhuleu durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

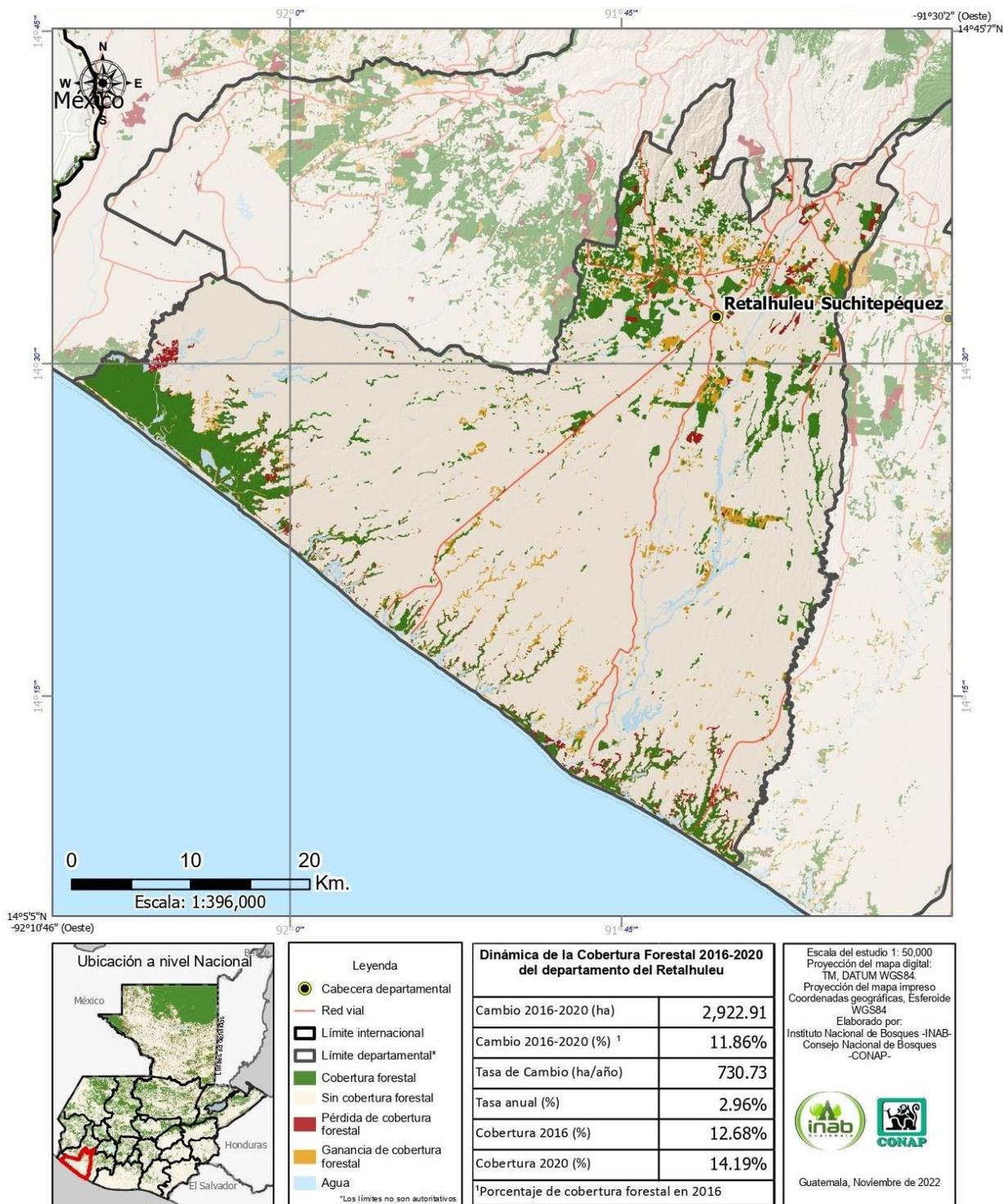
La tasa de ganancia para el departamento de Retalhuleu fue de 731 ha/año, equivalente al 2.96% de cobertura forestal existente en el 2016.1016-020

Figura 48. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Retalhuleu durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 49. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Retalhuleu, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

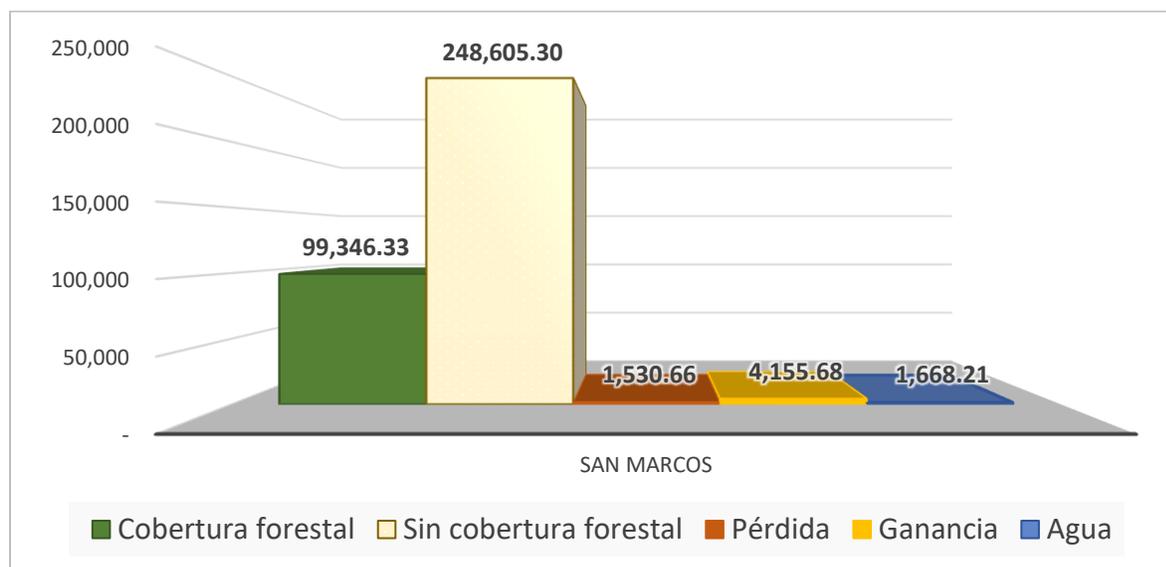
4.11.12 Departamento de San Marcos

Para el 2016, el departamento de San Marcos contaba con 100,877 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 103,502 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,530.66 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 4,155.68 ha.; por lo que la ganancia neta fue de 2,625.02 ha. de cobertura forestal, que representan el 2.60% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 50 y 51 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de San Marcos durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

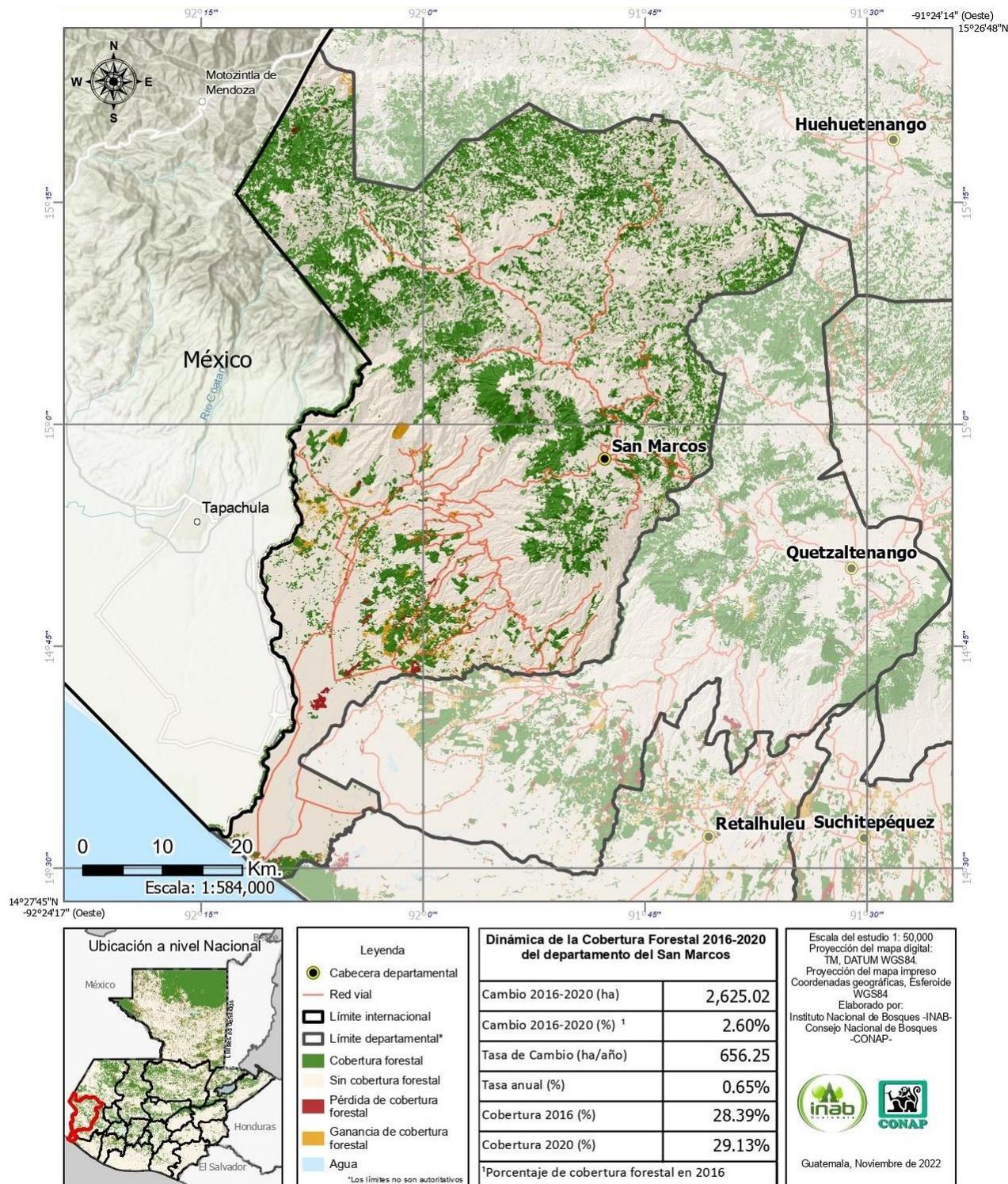
La tasa de ganancia para el departamento de San Marcos fue de 656 ha/año, equivalente al 0.65% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 50. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de San Marcos durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 51. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de San Marcos, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

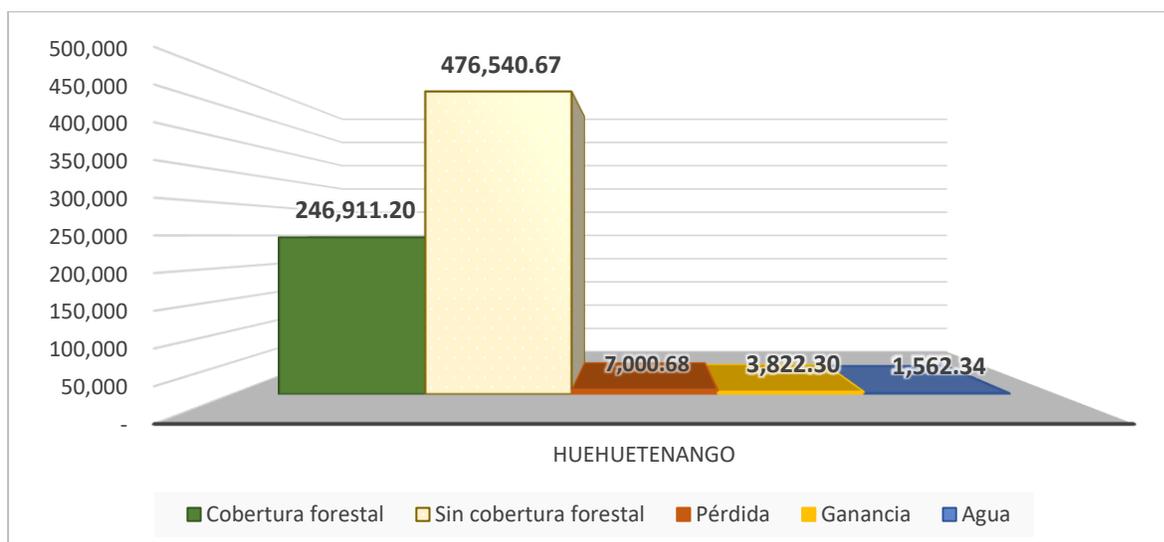
4.11.13 Departamento de Huehuetenango

Para el 2016, el departamento de Huehuetenango contaba con 253,912 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 250,734 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 7,000.68 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 3,822.30 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -3,178.38 ha de cobertura forestal, que representan el -1.25% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 52 y 53 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Huehuetenango durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

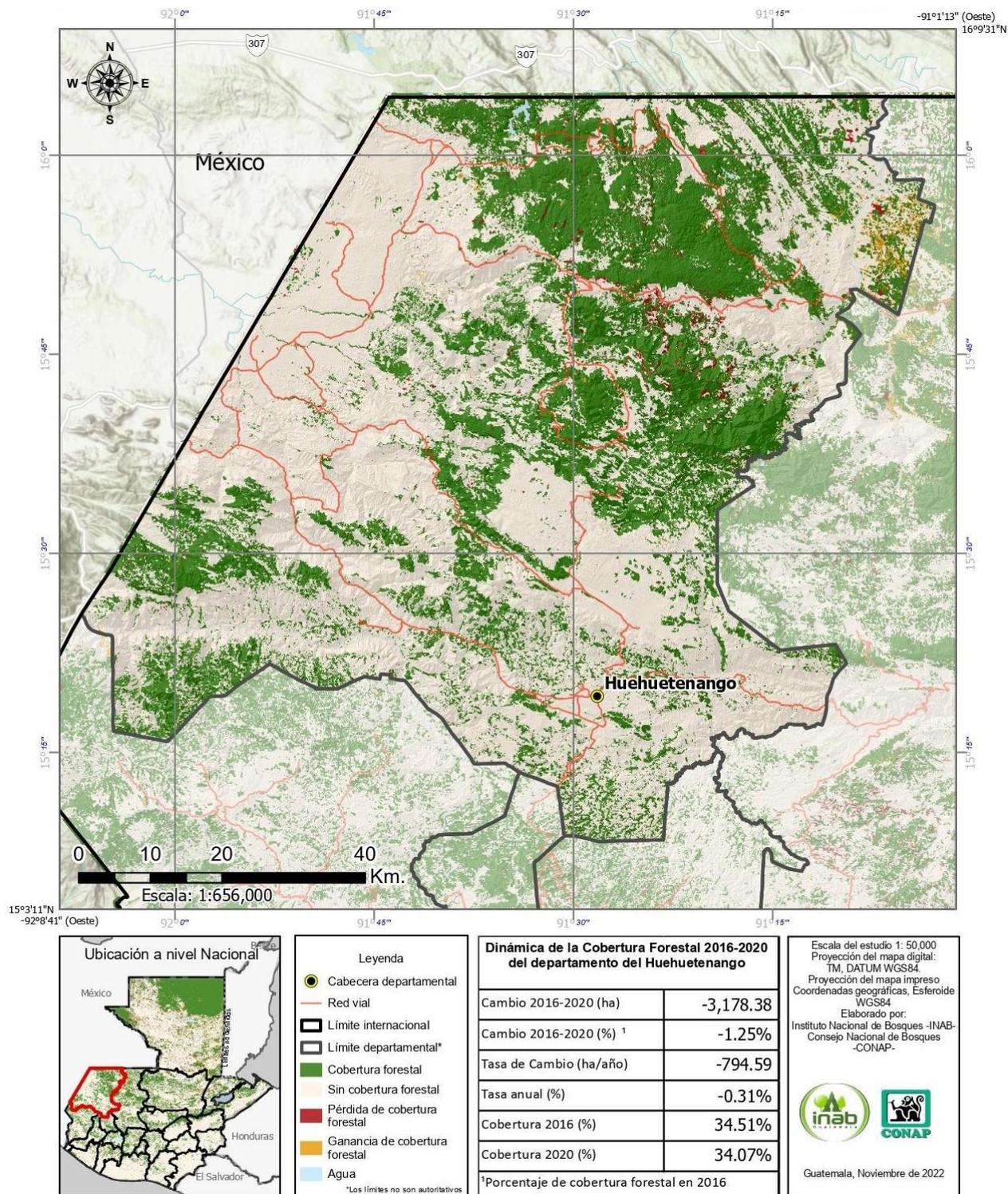
La tasa de pérdida para el departamento de Huehuetenango fue de -795 ha/año, equivalente al -0.31% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 52. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Huehuetenango durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 53. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Huehuetenango, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

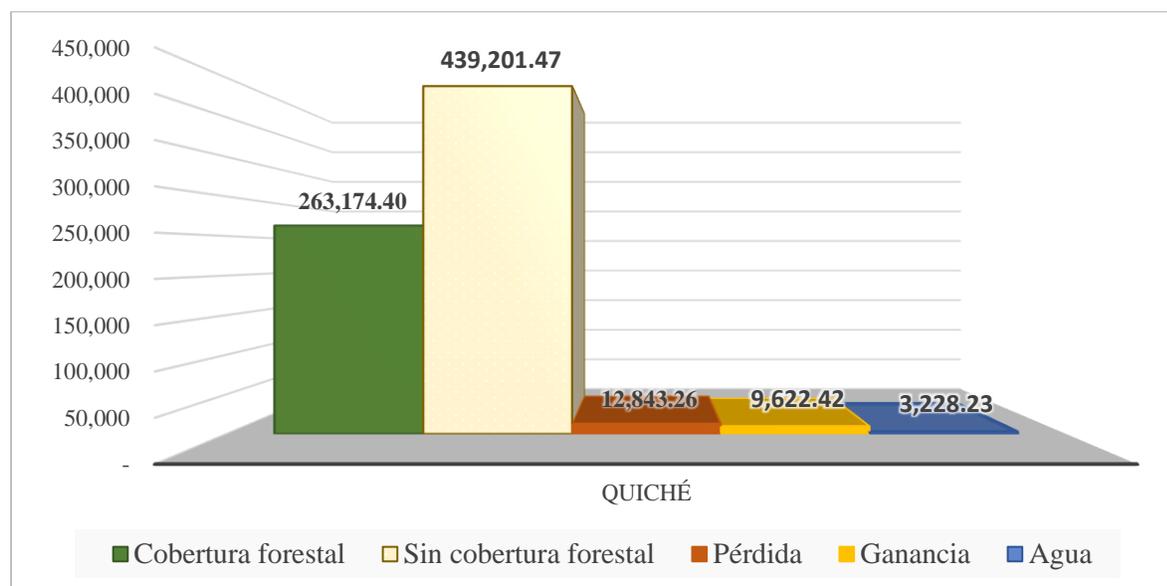
4.11.14 Departamento de Quiché

Para el departamento de Quiché contaba con 276,018 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 272,797 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 12,843.26 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 9,622.42 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -3,220.84 ha. de cobertura forestal, que representan el -1.17% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 54 y 55 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Quiché durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

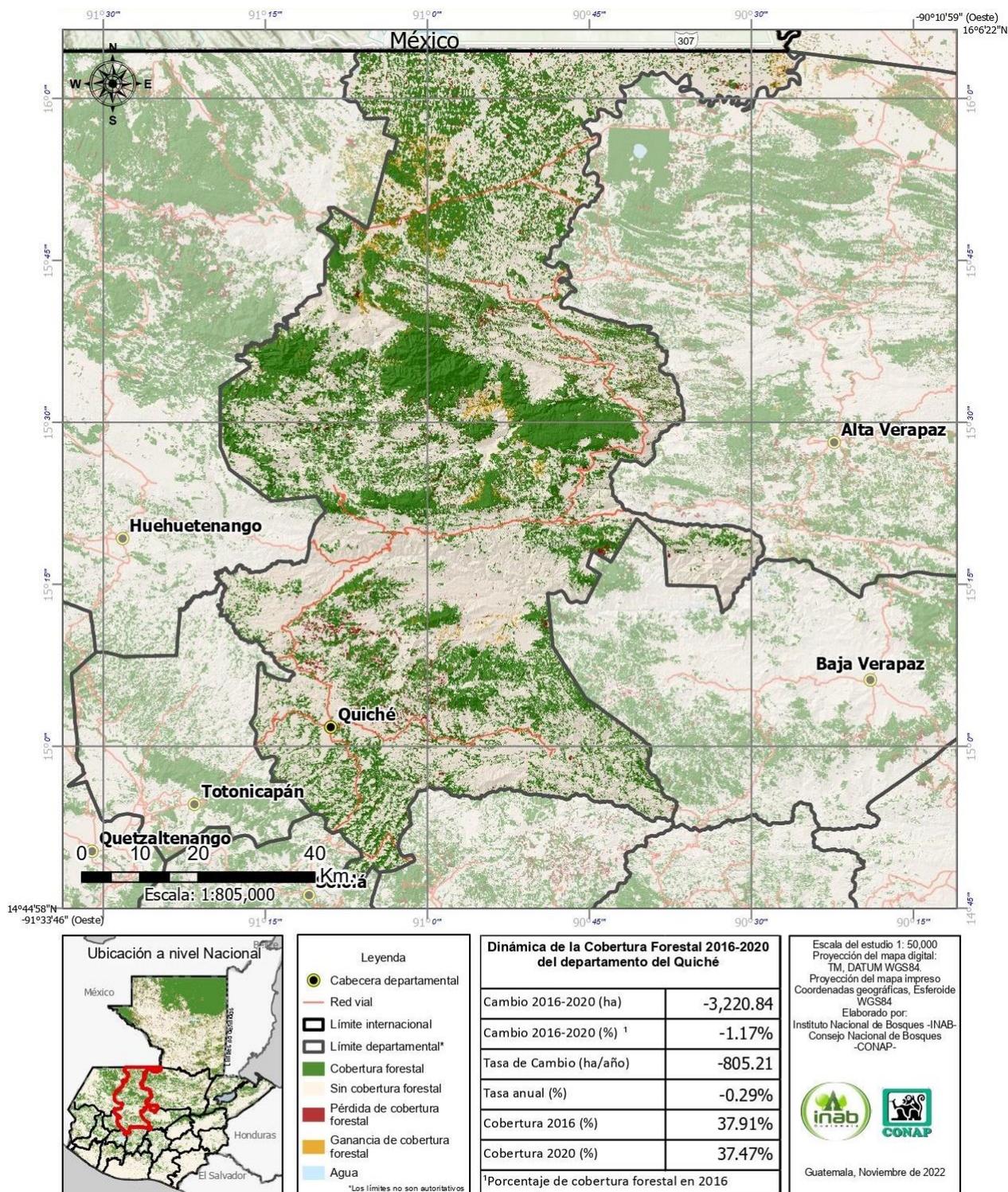
La tasa de pérdida para el departamento de Quiché fue de -805 ha/año, equivalente al -0.29% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 54. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Quiché durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 55. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Quiché, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

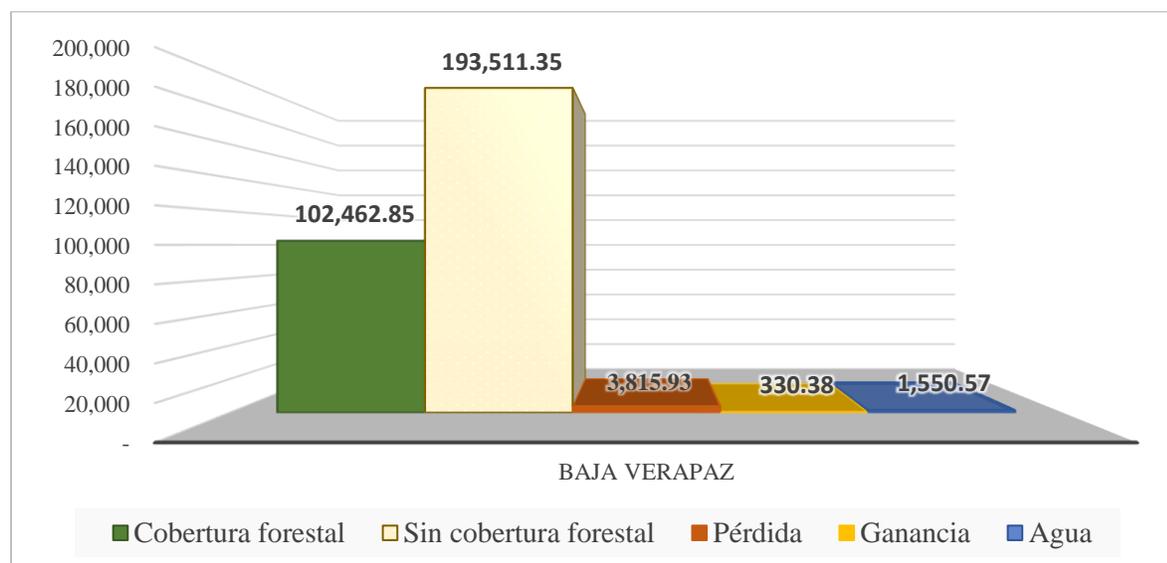
4.11.15 Departamento de Baja Verapaz

Para el departamento de Baja Verapaz contaba con 106,279 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 102,793 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 3,815.93 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 330.38 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -3,485.55 ha. de cobertura forestal, que representan el -3.28% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 56 y 57 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Baja Verapaz durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

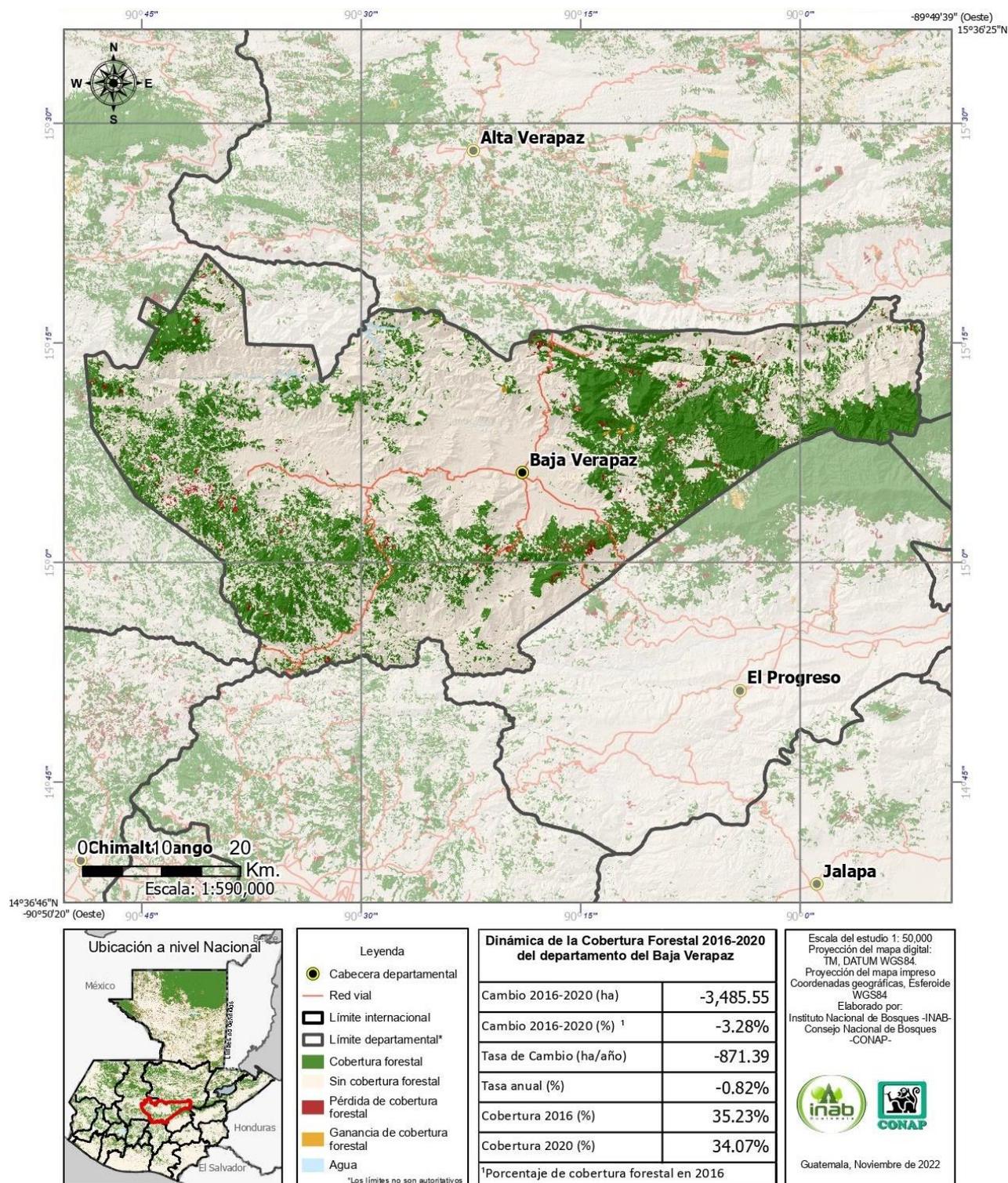
La tasa de pérdida para el departamento de Baja Verapaz fue de -871 ha/año, equivalente al -0.82% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 56. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Baja Verapaz durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 57. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Baja Verapaz, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

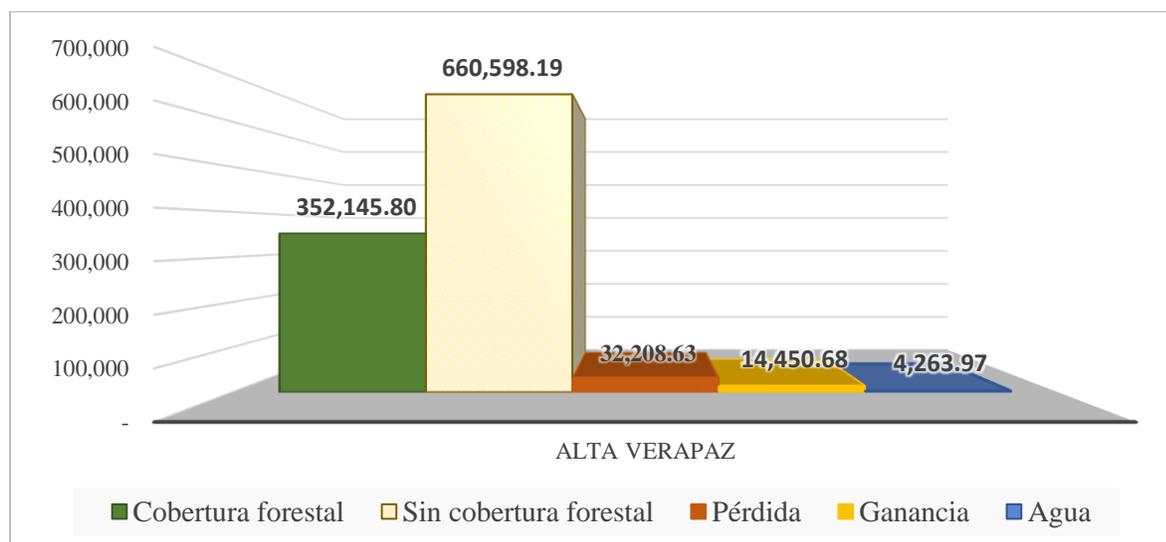
4.11.16 Departamento de Alta Verapaz

Para el departamento de Alta Verapaz contaba con 384,354 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 366,596 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 32,208.63 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 14,450.68 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -17,757.94 ha. de cobertura forestal, que representan el -4.62% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 58 y 59 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Alta Verapaz durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

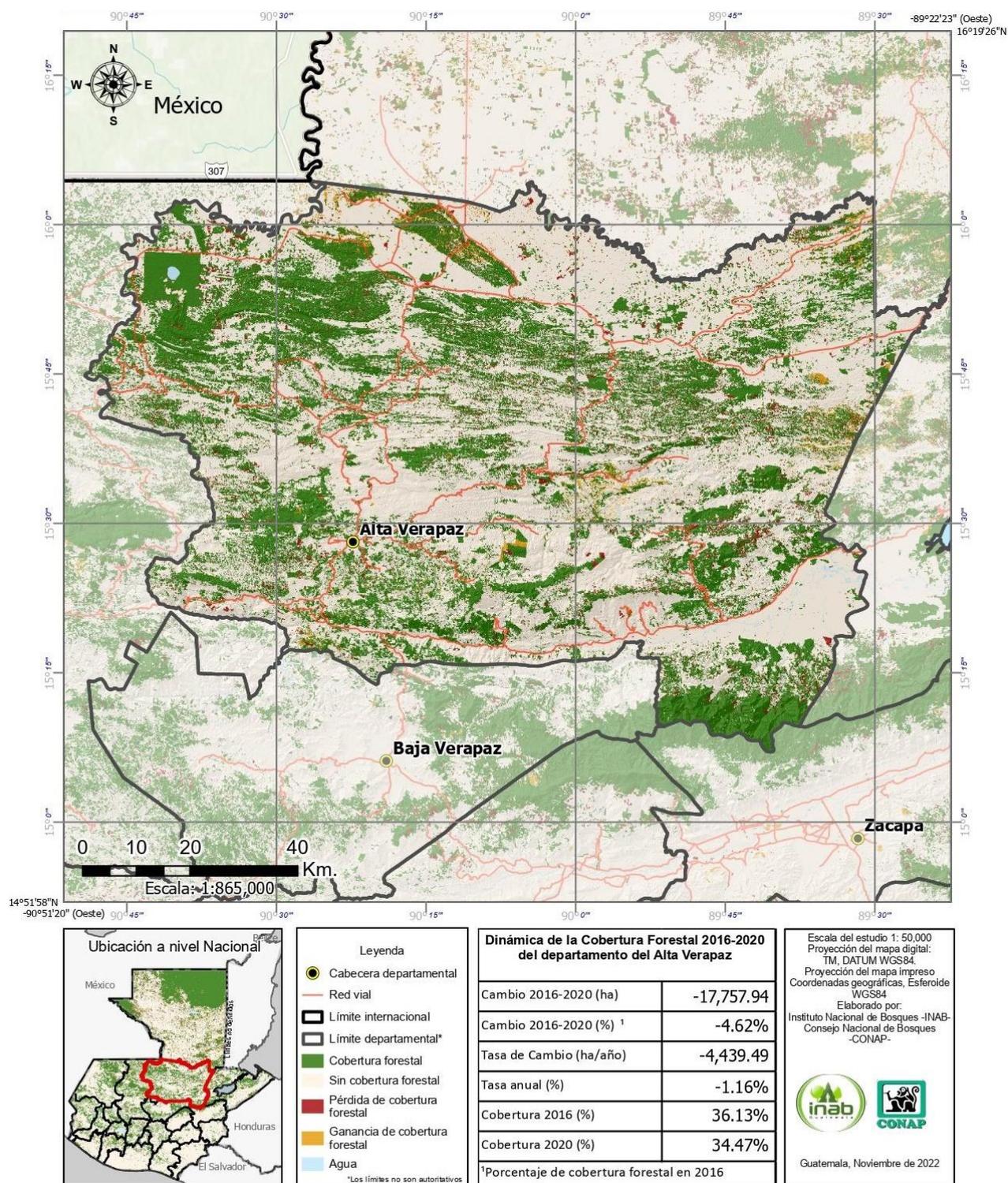
La tasa de pérdida para el departamento de Alta Verapaz fue de -4,439 ha/año, equivalente al -1.16% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 58. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Alta Verapaz durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 59. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Alta Verapaz, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

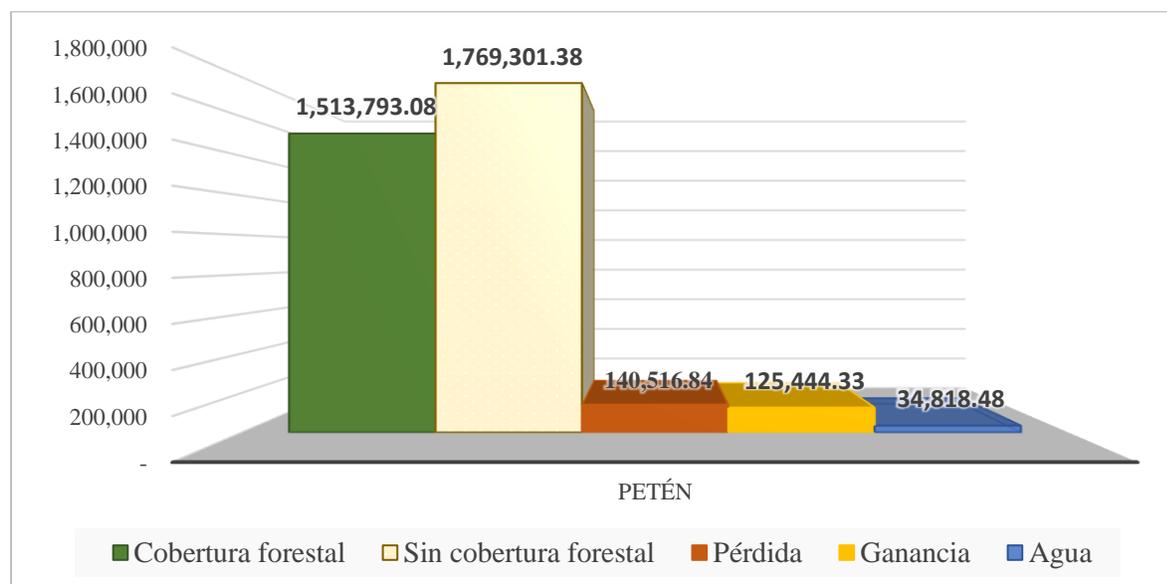
4.11.17 Departamento de Petén

Para el 2016, el departamento de Petén contaba con 1,654,310 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 1,639,237 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 140,516.84 ha de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 125,444.33 ha; por lo que la pérdida neta fue de -15,072.50 ha de cobertura forestal, que representan el -0.91% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 60 y 61 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Petén durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

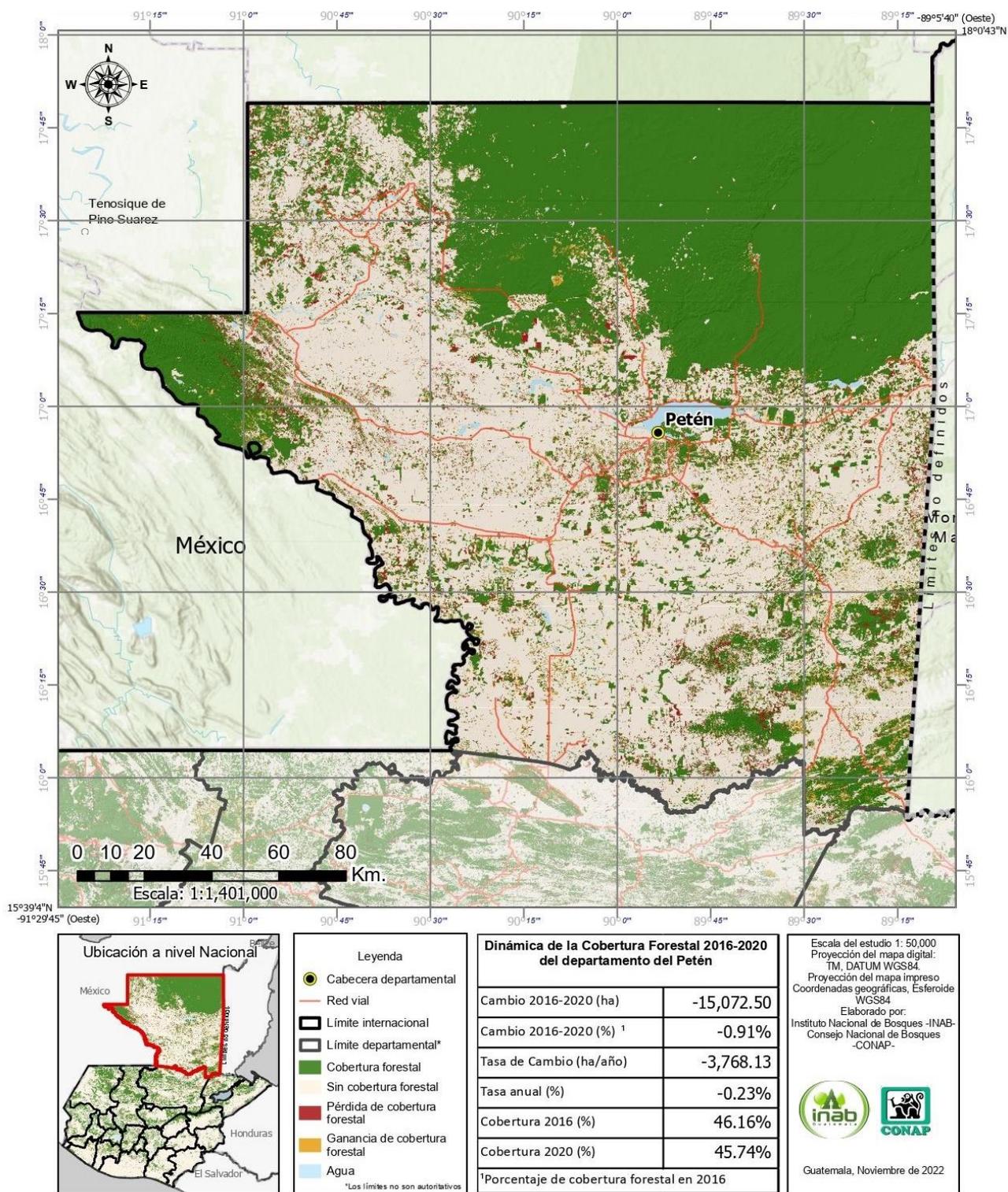
La tasa de pérdida para el departamento de Petén fue de -3,768 ha/año, equivalente al -0.23% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 60. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Petén durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 61. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Petén, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

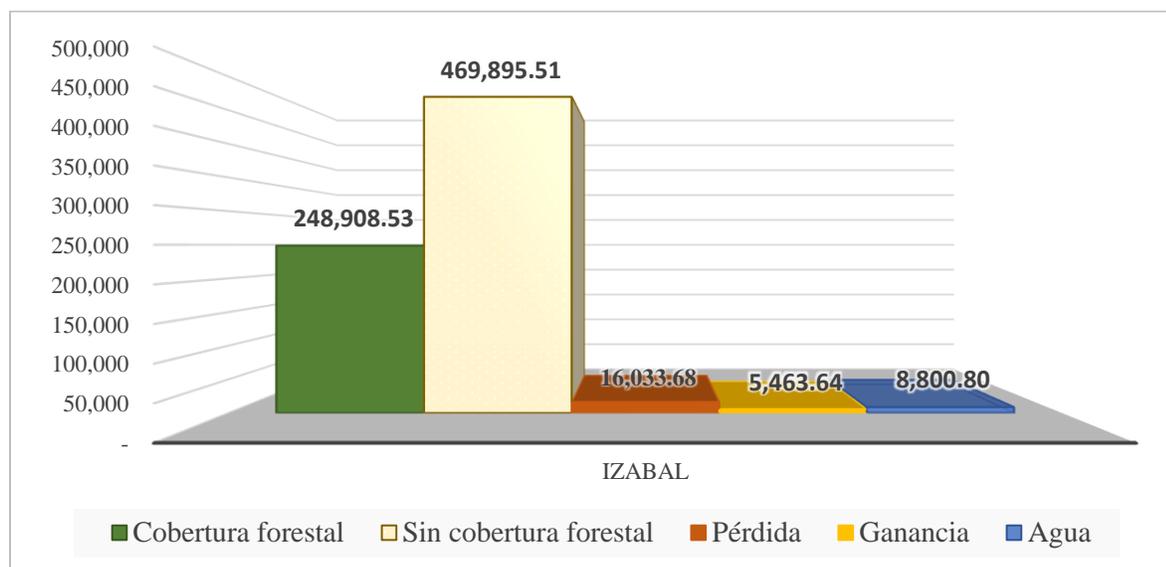
4.11.18 Departamento de Izabal

Para el 2016, el departamento de Izabal contaba con 264,942 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 254,372 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 16,033.68 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 5,463.64 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -10,570.04 ha. de cobertura forestal, que representan el -3.99 % de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 62 y 63 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Izabal durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

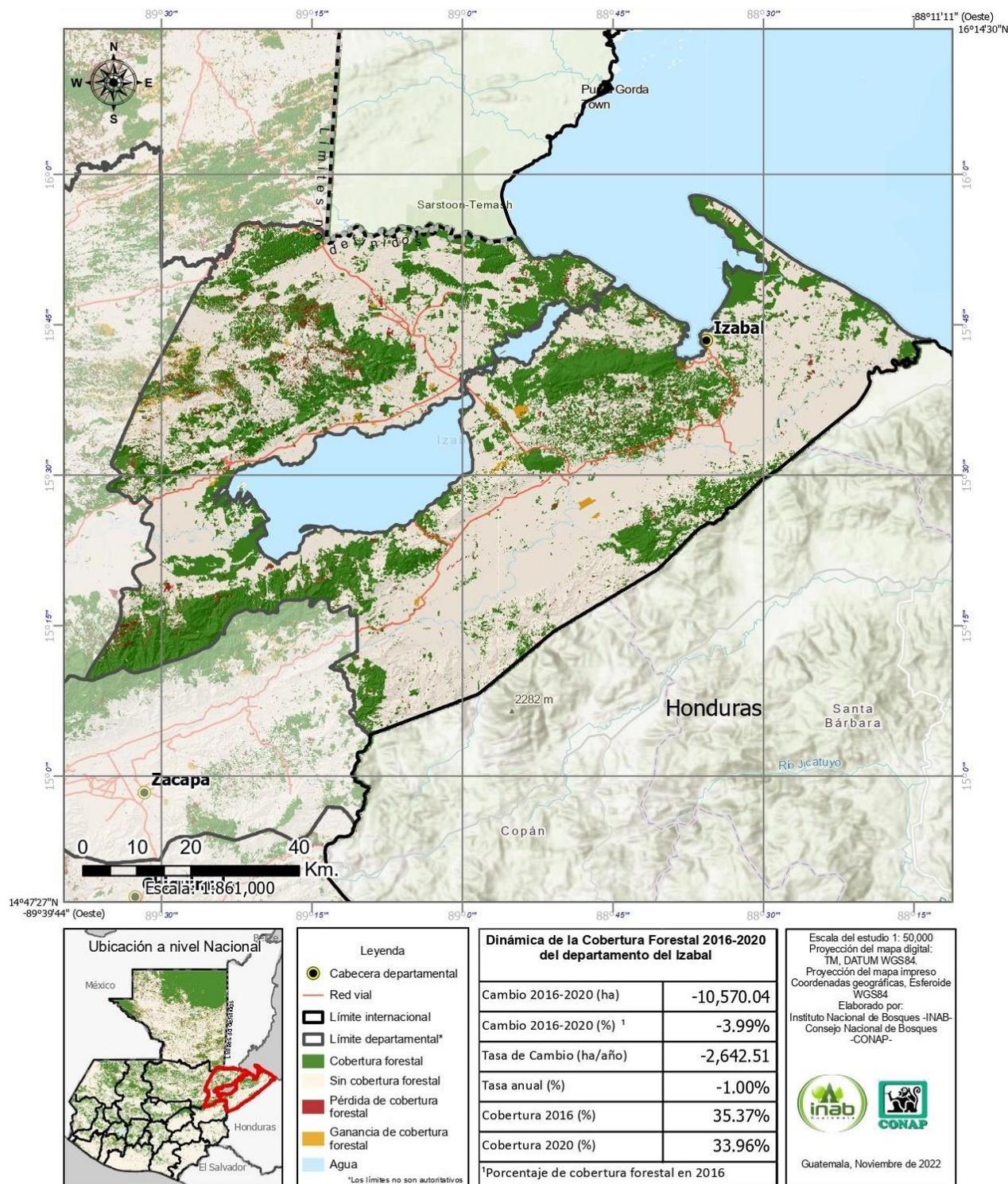
La tasa de pérdida para el departamento de Izabal fue de -2,643 ha/año, equivalente al -1.00% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 62. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Izabal durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 63. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Izabal, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

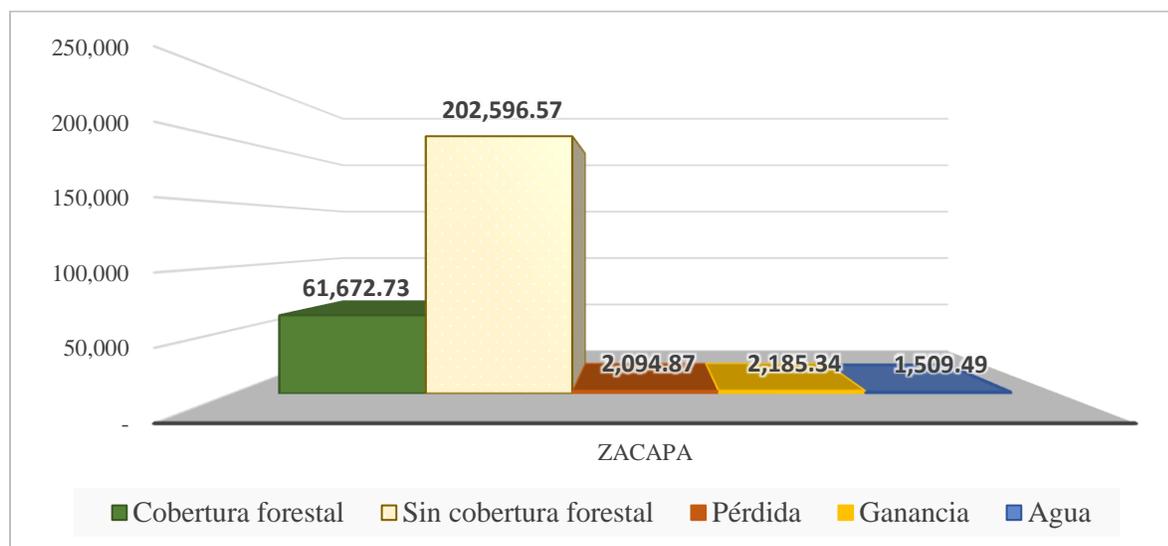
4.11.19 Departamento de Zacapa

Para el 2016, el departamento de Zacapa contaba con 63,768 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 63,858 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 2,094.87 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 2,185.34 ha.; por lo que la ganancia neta fue de 90.47 ha. de cobertura forestal, que representan el 0.14% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 64 y 65 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Zacapa durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

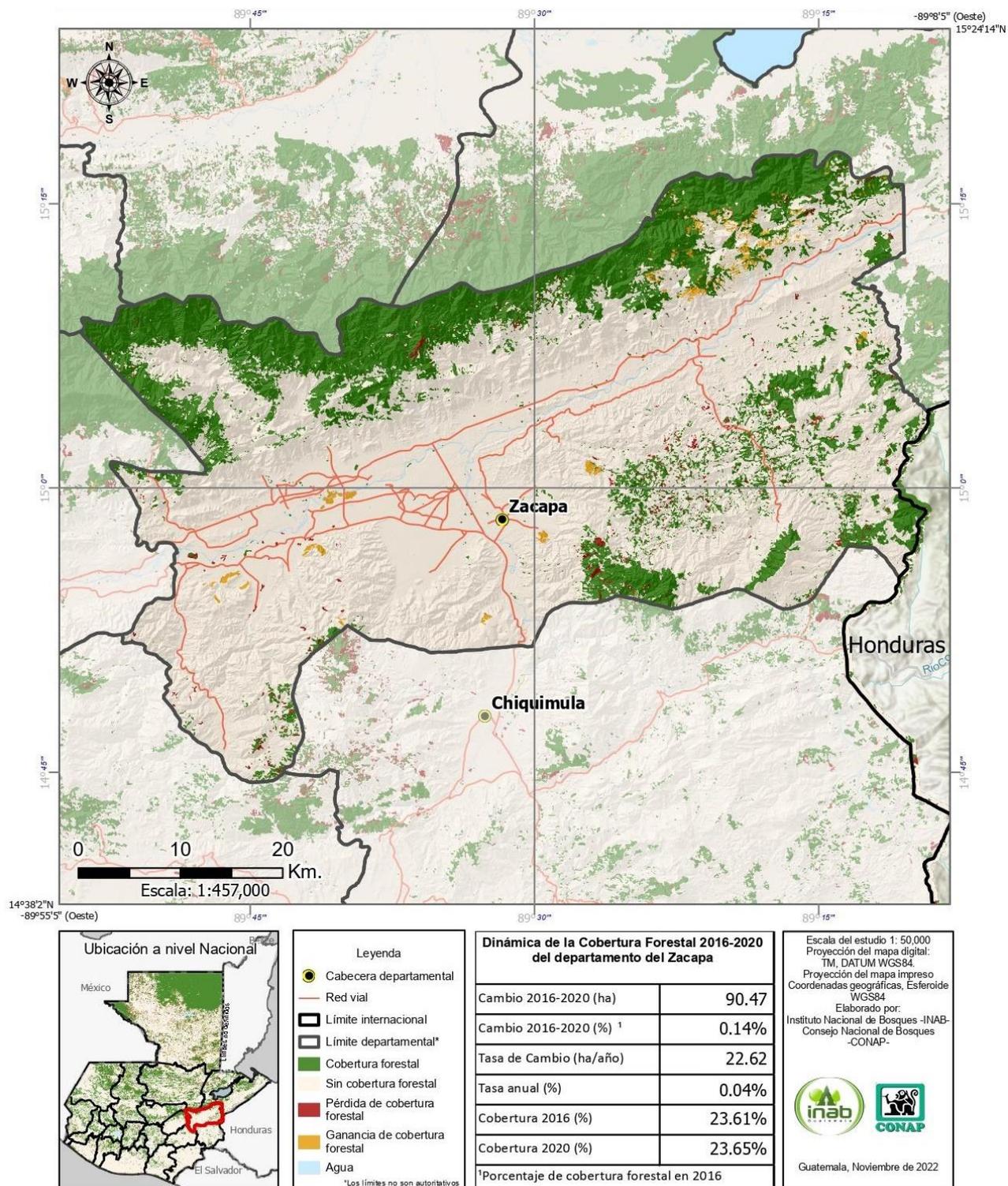
La tasa de ganancia para el departamento de Zacapa fue de 23 ha/año, equivalente al 0.04% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 64. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Zacapa durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 65. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Zacapa, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

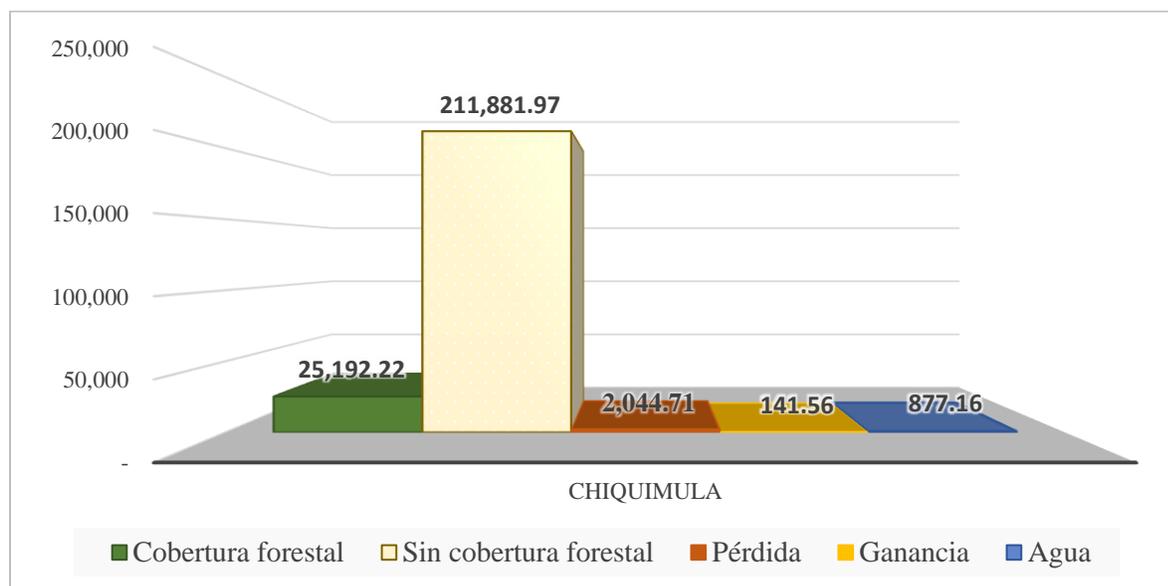
4.11.20 Departamento de Chiquimula

Para el 2016, el departamento de Chiquimula contaba con 27,237 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 25,334 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 2,044.71 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 141.56 ha; por lo que la pérdida neta fue de -1,903.15 ha. de cobertura forestal, que representan el -6.99% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 66 y 67 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Chiquimula durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

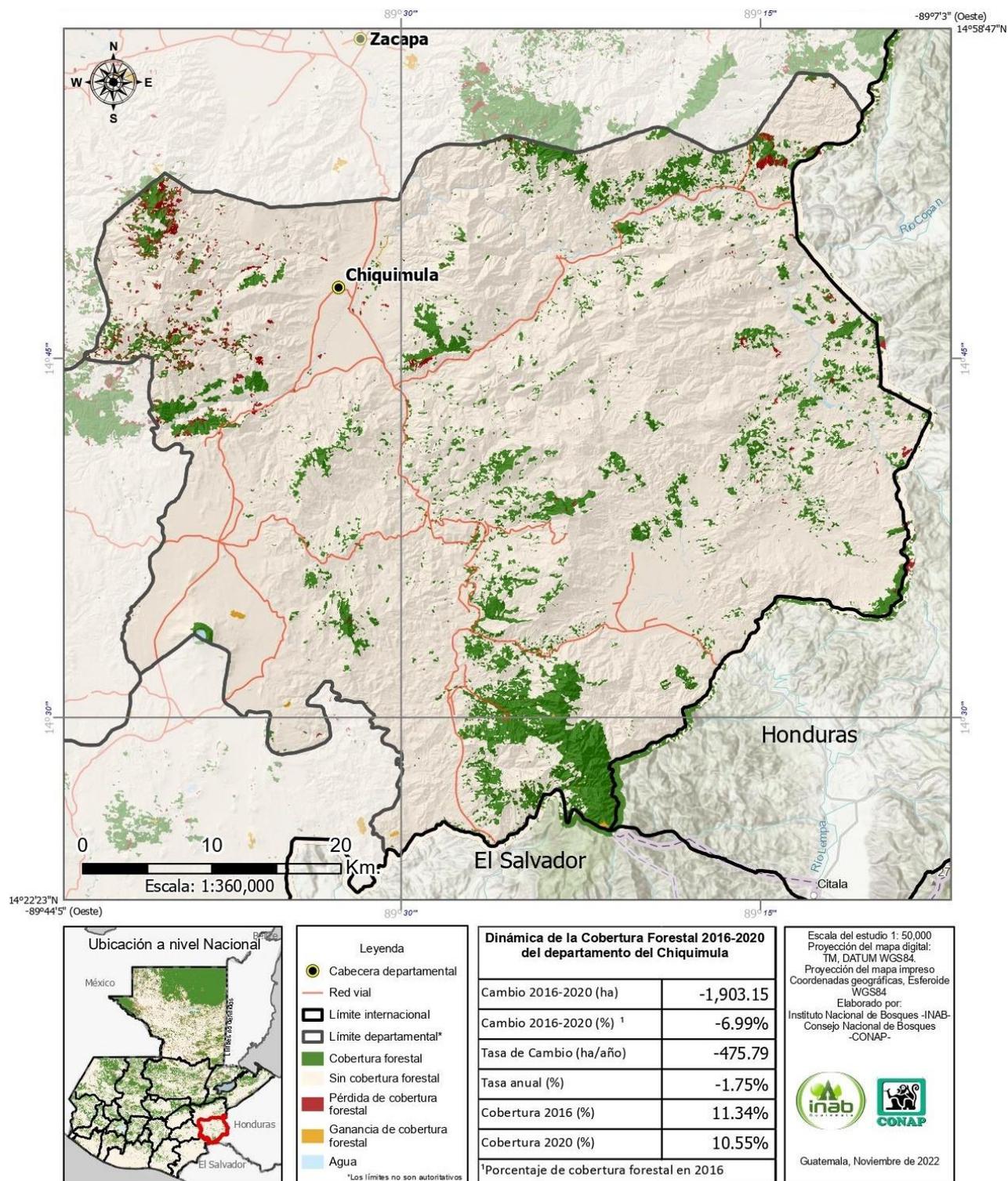
La tasa de pérdida para el departamento de Chiquimula fue de -476 ha/año, equivalente al -1.75% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 66. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Chiquimula durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Figura 67. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Chiquimula, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

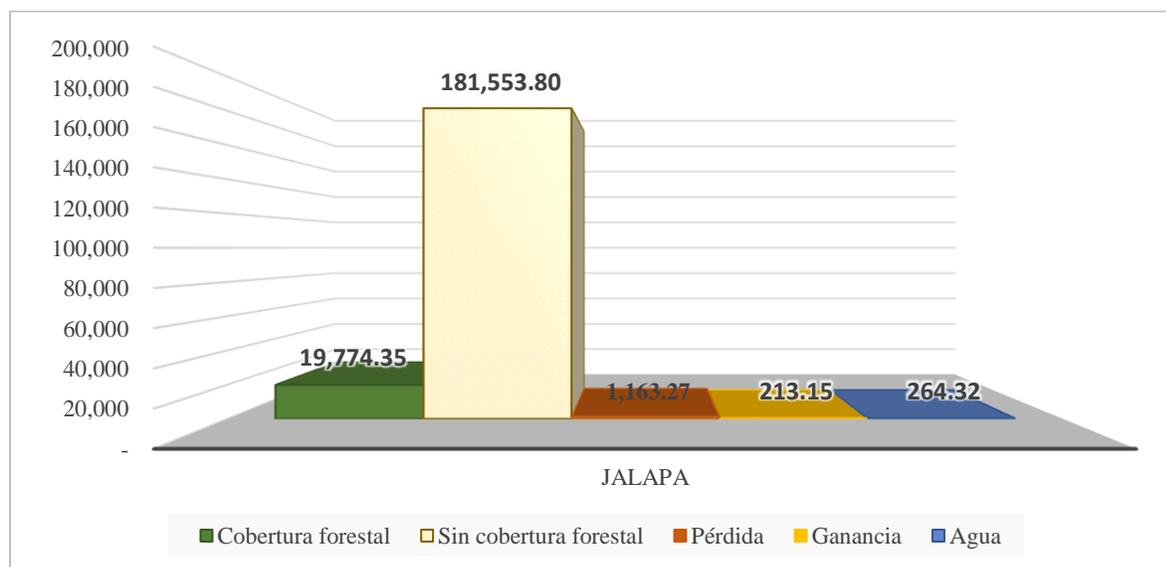
4.11.21 Departamento de Jalapa

Para el 2016, el departamento de Jalapa contaba con 20,938 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 19,987 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,163.27 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 213.15 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -950.12 ha. de cobertura forestal, que representan el -4.54% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 68 y 69 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Jalapa durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

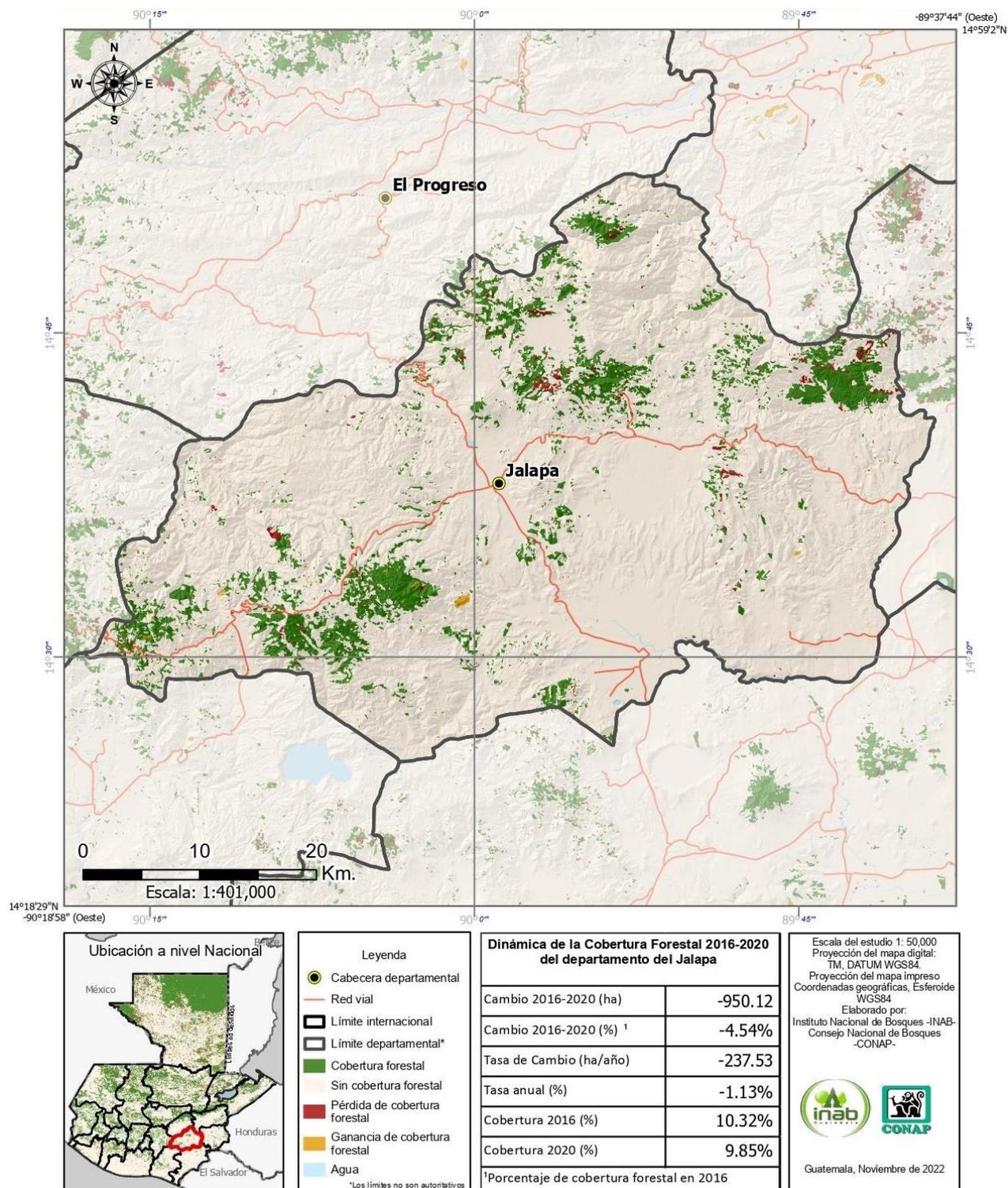
La tasa de pérdida para el departamento de Jalapa fue de -238 ha/año, equivalente al -1.13% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 68. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Jalapa durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia

Figura 69. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Jalapa, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

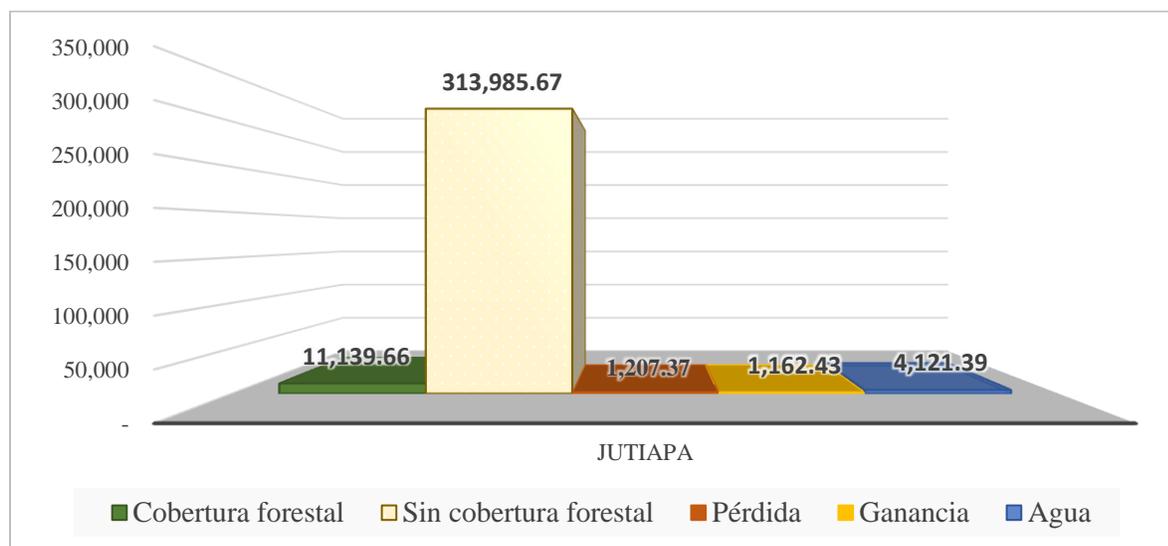
4.11.22 Departamento de Jutiapa

Para el 2016, el departamento de Jutiapa contaba con 12,347 hectáreas de cobertura forestal; mientras que para el año 2020 se reportó una cobertura forestal de 12,302 ha.

Se estima que durante el período 2016-2020, hubo una pérdida de 1,207.37 ha. de cobertura forestal, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 1,162.43 ha.; por lo que la pérdida neta fue de -44.94 ha. de cobertura forestal, que representan el -0.36% de cobertura forestal que existía en el año 2016 en este departamento. Las figuras 70 y 71 muestran la dinámica de la cobertura forestal del departamento de Jutiapa durante el período de estudio, y los cambios detectados de pérdidas y ganancias de cobertura forestal.

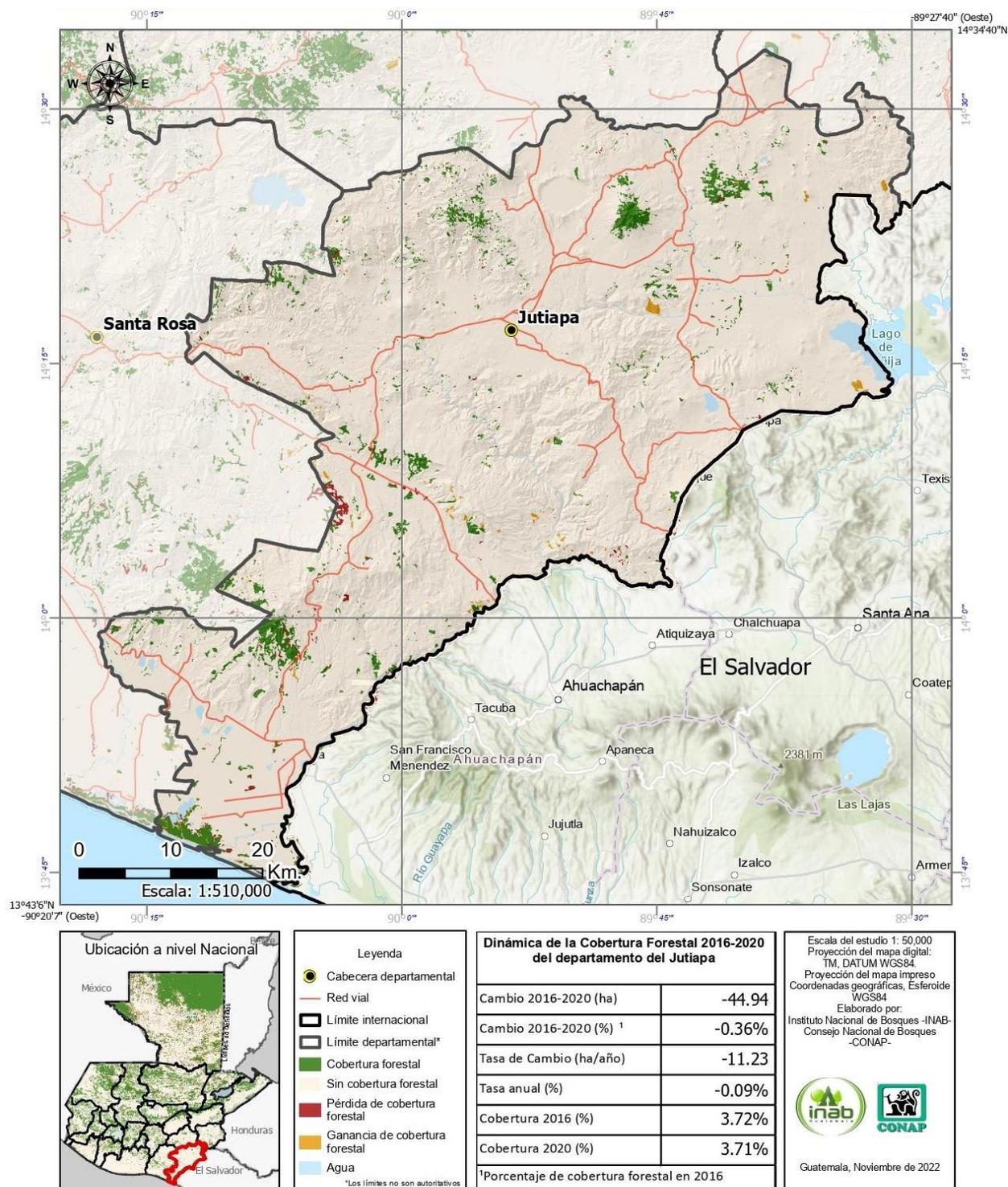
La tasa de pérdida para el departamento de Jutiapa fue de -11 ha/año, equivalente al -0.09% de cobertura forestal existente en el 2016.

Figura 70. Dinámica de la cobertura forestal en el departamento de Jutiapa durante el período de referencia 2016-2020



Nota: Elaboración propia.

Figura 71. Mapa de dinámica de la cobertura forestal 2016-2020 del departamento de Jutiapa, Guatemala



Nota: Elaboración propia.

4.12 Análisis de precisión de los resultados del mapa

Para determinar el tamaño de la muestra a emplear, se utilizó la plataforma SEPAL, mediante los módulos “*Stratified area estimator-design*” y “*Stratified area estimator-análisis*”, con parámetros que permitan alcanzar una confiabilidad del 95%. La estimación se basó en el número de píxeles de cada uno de los estratos.

Para la cantidad de píxeles de cada estrato que componen el mapa resultante de la clasificación supervisada, los resultados del análisis indican que el tamaño (adecuado) de la muestra debiera ser de 1,430 puntos, distribuidos de la forma siguiente: Para la categoría Bosque (clase 1) = 450 muestras, No bosque (Clase 2) = 880 muestras y para la categoría de Agua (Clase 3) = 100 muestras, que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Análisis estadístico en la determinación del número de muestras para evaluar la precisión de la clasificación, por estrato

map code	map_area	map edit	wi	eua	si	wisi	equal	proportional	min	adjprop	adjusted	final
1	42565253	1	0.33238618	0.95	0.21794495	0.07244189	477	475	NA	0.33862413	450	450
2	83135337	2	0.64919237	0.7	0.45825757	0.29749732	477	929	NA	0.66137587	880	880
3	2359044	3	0.01842145	0.7	0.45825757	0.00844177	477	26	100	0.01876717	100	100

Elaboración propia

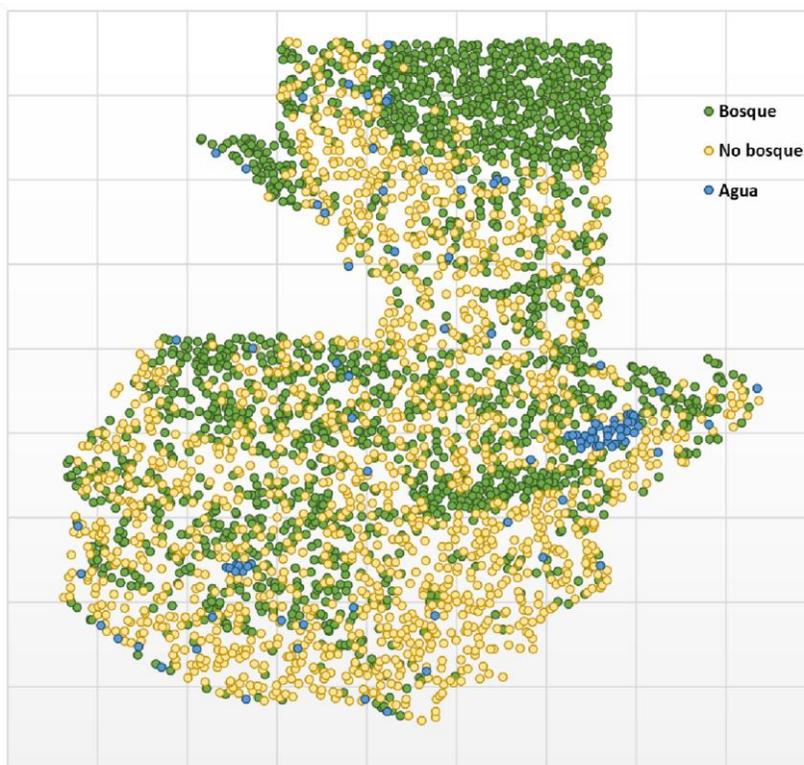
Dada la disponibilidad de información que podía ser utilizada para la muestra, se optó por emplear una muestra compuesta de 5,420, quedando conformada, como se presenta en la tabla 11, distribuidos geográficamente de acuerdo a la figura 72.

Tabla 11. Número de muestras utilizadas para cada estrato del mapa de cobertura forestal

Valor	Categoría	Número de muestras
1	Bosque	3,820
2	No Bosque	1,500
3	Agua	100
Total		5,400

Nota: Elaboración propia.

Figura 72. Distribución de muestras para la validación de la clasificación por categoría



Nota: Elaboración propia

Con base a las muestras seleccionadas en el proceso anterior, de acuerdo a las categorías interpretadas (muestra) y las categorías clasificadas (mapa), se obtuvo la matriz de confusión que se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Matriz de confusión bruta (número de puntos verificados)

Mapa/Muestra	1	2	3
1	3,275	533	12
2	196	1,283	21
3	4	17	79

Referencia (Collect earth para el año 2020)

Nota: Elaboración propia.

Para estimar el área ajustada es necesario asignar pesos a cada categoría del mapa, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. Matriz de confusión ajustada (porción del área)

Bosque	No Bosque	Agua	Total	Píxeles	Wi	Columna1
Bosque	0.28871	0.04699	0.00106	0.33676	43,027.90	33.68%
No bosque	0.08404	0.55014	0.009	0.64319	82,181,049	64.32%
Agua	0.0008	0.00341	0.01584	0.02005	2,561,984	2.01%
Total	0.37356	0.60054	0.0259	1	127,770,936	100.00%

Nota: Elaboración propia

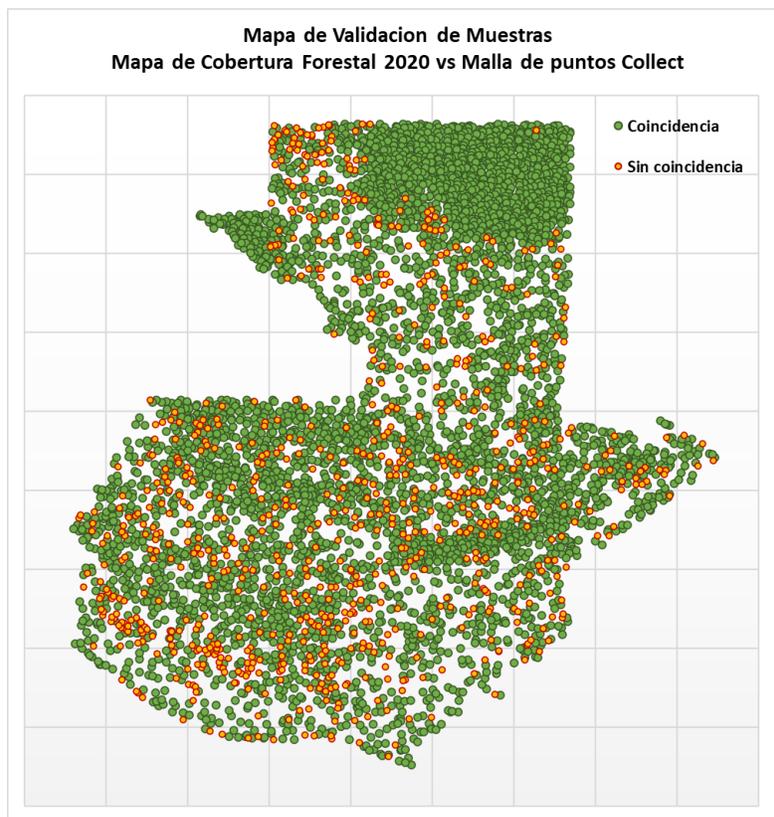
La suma de las proporciones ajustadas el mapa de cobertura forestal tiene una precisión del 85% y en la tabla 14 puede apreciarse las precisiones tanto en el usuario (evaluación) como en el productor (clasificación).

Tabla 14. Estimación de las áreas de cada categoría

Categoría	1	2	3
Área mapa (ha.)	3,872,511	7,396,294	230,579
Área estrato (ha.)	4,295,692	6,905,822	297,870
Error Estándar	0.00593	0.00619	0.00214
Error est (ha.)	68,164.77	71,154.65	24,600.00
CI 95%	133,602.95	139,463.10	48,216.003
Usuario	85.73%	85.53%	79.00%
Productor	77.29%	91.61%	61.15%

Nota: Elaboración propia.

Figura 73. Mapa de resultados de validación de muestras para evaluación de resultados de clasificación temática



5 Conclusiones

Para el año 2020, la cobertura forestal de Guatemala se contabilizó en 3,601,567 hectáreas, equivalente al 33.3 por ciento de la superficie total del territorio del país.

Las pérdidas brutas en el periodo de los años 2016-2020 fueron estimadas en 244,395 hectáreas, en tanto que las ganancias brutas fueron de aproximadamente 191,658 hectáreas.

La cobertura forestal de Guatemala reportó un cambio neto de -52,736 hectáreas en el período 2016-2020, respecto de la cobertura forestal con la que contaba en 2016; lo que se traduce en una tasa de -1.44 por ciento en dicho período de cuatro años.

En términos anuales, el cambio neto fue de 47,615 ha/año, lo que representa una tasa de -0.36 por ciento anual.

Las mayores pérdidas de cobertura forestal en el periodo 2016-2020 se reportaron en los departamentos de Petén, Alta Verapaz, Izabal, Quiché, Huehuetenango, Escuintla, Chimaltenango y Baja Verapaz sumando un total de 222,565 hectáreas que representan el 91% de las pérdidas totales, mismos en los que se reportó una recuperación de la cobertura forestal de 162,544 hectáreas, que representan el 84.81% del total de ganancias.

Los departamentos en los que la cobertura forestal tuvo una recuperación mayor a las pérdidas estimadas son: Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Quetzaltenango y Zacapa, que sumaron 24,636 hectáreas, lo que representan el 12.85 por ciento del total de ganancias, mientras sus pérdidas hacen un total de 10,798 hectáreas que corresponden a un total de 4.42 por ciento del total de pérdidas.

6 Referencias bibliográficas

Banco de Guatemala [BANGUAT]. (2022).

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia CENICANA; Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS. (2012). Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia.

(CENICANA, Ed.) Cali, Valle del Cauca, Colombia: Feriva S. A. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_percepcion_remota/principios-y-aplicaciones_percepcion-remota.pdf

Chuvieco Salinero, E. (1,996). Fundamentos de teledetección espacial (Tercera ed.). Madrid, España: EDICIONES RIALP S. A.

Chuvieco Salinero, E. (2008). Teledetección ambiental (Tercera ed.). Barcelona, Barcelona, España: Editorial Ariel, S. A.

Engine, G. E. (s.f.). Obtenido de <https://earthengine.google.com/>

Espejo Valero, O. J. (2016). Desarrollo de una metodología para estimación de la deforestación mediante el análisis multitemporal de imágenes multiespectrales en un entorno de análisis basado en objetos geográficos (GEOBIA). (Tesis de maestría). Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá D. C., Colombia. Recuperado el 13 de Julio de 2022, de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6515>

FAO, O. d. (23 de septiembre de 2019). www.fao.org. Obtenido de <https://www.fao.org/news/story/es/item/1234678/icode/>

Google Earth Engine [GEE]. (s.f.). Obtenido de <https://earthengine.google.com/>

INAB, CONAP, UVG y URL. (2012). Cobertura forestal de Guatemala 2006 y Dinámica de la cobertura forestal 2006- 2010. INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG, URL. Guatemala: Serviprensa.

INAB, 2022. (borrador) Reporte de monitoreo de reducción de emisiones para el periodo de enero a diciembre de 2020, del Programa de Reducción de Emisiones

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2016). Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena: Editorial del Norte.

MathWorks. (s.f.). Obtenido de https://la.mathworks.com/discovery/machine-learning.html?s_tid=srchtitle.

Olaya Ferrero, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica (Tercera ed.). (V. Olaya Ferrero, Ed.) Obtenido de <https://volaya.github.io/libro-sig/>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s.f.). Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., V., S. S., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 42 - 57.

Olofsson, p., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., Sulla-Menashe, D., Sibley, A. M., Newell, J. D., . . . y Herold, M. (2012). A global land-cover validation data set, part I: fundamental design principles. International Journal of Remote Sensing of Environment, 5768-5788.

Salvia, M. M. (2010). Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos. Tesis Doctoral,

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires. Obtenido de <https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/>

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería (Séptima ed., Vol. 1). (S.R. Cervantes González, Ed., & V. Campos Olgún, Trad.) México D. F., México: Cengage Learning Editores, S. A. de C. V.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Física para ciencias e ingeniería con física moderna (Séptima ed., Vol. 2). (S. R. Cervantes Gonzáles, Ed., & V. Campos Olgún, Trad.)

Soluciones gratuitas de código abierto [Open Foris]. (s.f.). <https://openforis.org/>
Obtenido de The tools: [https://docs-sepal-](https://docs-sepal-io.translate.google.com/translate/en/latest/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sc)
[io.translate.google.com/translate/en/latest/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sc](https://docs-sepal-io.translate.google.com/translate/en/latest/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sc)

The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). (2001). Principles of Remote Sensing (2 ed.). (L. L. Janssen, & G. C. Huurneman, Edits.) Enschede, The Netherlands: ITC.

United States Geological Survey [USGS]. (s.f.). Obtenido de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>

United States Geological Survey [USGS]. (27 de noviembre de 2019). USGS. Obtenido de <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>

United States Geological Survey [USGS]. (23 de junio de 2022). Fifty Years of Landsat: Sharing Earth information for the benefit of all. Obtenido de <https://www.usgs.gov/news/featured-story/fifty-years-landsat-sharing-earth-information-benefit-all>

Universidad de Salamanca. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. (C. Pérez Gutiérrez, & Á. L. Muñoz Nieto, Edits.) Salamanca, España.

Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED. (2015). Cuestiones de teledetección. Madrid, España: UNED.

7 Anexos

Anexo 1. Líneas de código empleadas en GEE para la clasificación supervisada

<https://code.earthengine.google.com/6e6a509b77e0fcc6b4d840f69c8a6ed6>

/*Metodología para la clasificación de imágenes utilizando sensores ópticos y RADAR

Fuente de información con imágenes históricos de LANDSAT (LANDSAT 8), mosaico elaborado en la plataforma de SEPAL-FAO Script adaptado con información de NASA - ARSET en el Mapeo y Monitoreo de los Bosques con Datos SAR <https://arset.gsfc.nasa.gov/land/webinars/bosques-sar> Apoyo del consorcio dentro del marco de la estrategia Nacional REDD+ de Guatemala del CONSORCIO SUD AUSTRAL-GOPA-CALMECAC-FORESTFINEST Objetivo: Clasificar las categorías del IPCC para elaborar el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra del año 2020

COLABORADORES:

Departamento de SIG-INAB [Danger Gómez, Manuel Custodio, Estuardo Fuentes, Byron Villeda, Luciano Silvestre, Anapatriacia Cano] Dirección de Análisis Geoespacial CONAP. [Marlin George, Luis Lima] */

//

```
var AreaEstudio = 'users/INAB-GUATE/cuadrantes/CUADRANTES_COMPLETO_CORREGIDO'; var fechaInicio = '2020-01-01'; var fechaFinal = '2020-12-31'; var periodo = '2020' var Muestras = 'users/inabsigguatemala/COBERTURA_FORESTAL2020/PuntosEntrenamiento_MapCob20_GEO_NORMALES_V4'; var Dirlmagen = 'users/inabsigguatemala/MosaicoL_Guatemala_2020_S' var ColorMuestras = 'red'; var Escala_visual = 10; var cuadrante = 4 var version = 1
```

//Visualización de la imagen óptica

```
var RGB = ['blue','green','red']; var Tierra_agua = ['nir','swir1','blue']; var Falso_color_urbano = ['swir2','swir1','blue']; var Penetracion_atmosferica = ['swir2','swir1','nir'];
```

```
// B2 Blue ----30 meters 0.45 - 0.51 μm b1 blue
```

```
// B3 Green ----30 meters 0.53 - 0.59 μm b2 green
```

```
// B4 Red ----30 meters 0.64 - 0.67 μm b3 red
```

```
// B5 Near infrared ----30 meters 0.85 - 0.88 μm b4 nir
```

```
// B6 Shortwave infrared 1 30 meters 1.57 - 1.65 μm b5 swir1
```

```
// B7 Shortwave infrared 2 b6 swir2
```

```
//codigo de colores [categorías] [Class] var Class1 = '168b00'; //Cobertura forestal [1] var Class2 = 'ffffd1'; //No bosque [2] var Class3 = '215cff'; //Agua [8]
```

```
//Número de clases --PALETA--var Class_max = '3'; var Class_min = '1';
```

/*

```
// Index Name Type Dimensions CRS Nominal Scale *Min*Max
```

```
//0 green signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 -59 2935
```

```
//1 blue signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 -231 2411
```

```
//2 red signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 -44 3196
```

```
//3 nir signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 -71
```

```
5200
```

```
//4 swir1 signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 1 4719 //5
```

```
swir2 signed int16 14944x15201 px EPSG:4326 30.000000000000004 6 4265
```

*/

```
//bandas [green,blue,red, nir,swir1,swir2]
```

```
//seleccionar un área
```

```
var roiGeneral = ee.FeatureCollection(AreaEstudio).geometry();
```

```

Map.addLayer(roiGeneral,{color:'red'},'Area de estudio');
//*****
//Filtrar los Datos de Sentinel-1 *****Imágenes RADAR*****
// Load Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VV, descending) var collectionVV =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
  .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
  .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
  .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
  .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)
  .filterBounds(roiGeneral)
  .select('VV'); print(collectionVV, 'Collection VV');
// Load Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VH, descending) var collectionVH =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
  .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
  .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))
  .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
  .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)
  .filterBounds(roiGeneral)
  .select('VH'); print(collectionVH, 'Collection VH');
//Filter by date
//Filtrar los Datos de Sentinel-1 por fecha var SARVV1 = collectionVV.filterDate(fechalnicio, fechaFinal).mosaic(); var
SARVH1 = collectionVH.filterDate(fechalnicio, fechaFinal).mosaic();
//Cortar mosaico con el límite de estudio imágenes RADAR var SARVV = SARVV1.clip(roiGeneral); var SARVH =
SARVH1.clip(roiGeneral);
// Add the SAR images to "layers" in order to display them
//Agregue las imágenes filtradas al cuadro de capas "layers" para poder visualizarlas // Visualizar las imágenes:
Map.addLayer(SARVV, {min:-15,max:0}, 'SAR VV', 0);
Map.addLayer(SARVH, {min:-25,max:0}, 'SAR VH', 0);
//Apply filter to reduce speckle
//Aplicar un Filtro para Speckle (Moteado) a los Datos SAR
var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var SARVV_filtered = SARVV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters'); var SARVH_filtered =
SARVH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
//Display the SAR filtered images
//Desplegar las imágenes SAR filtradas
Map.addLayer(SARVV_filtered, {min:-15,max:0}, 'SAR VV Filtered',0);
Map.addLayer(SARVH_filtered, {min:-25,max:0}, 'SAR VH Filtered',0);
//*****
// * * * * COMPOSICION E INDICES ESPECTRALES var imagen = ee.Image(Dirlimagen);
var parametros = {"opacity":1,"bands":["nir','swir1','swir2"],"min":-28, "max":4282,"gamma":1};
//Landsat 8
// B1 Coastal aerosol 30 meters 0.43 - 0.45 µm
// B2 Blue ----30 meters0.45 - 0.51 µm b1 blue
// B3 Green ----30 meters 0.53 - 0.59 µm b2 green
// B4 Red ----30 meters0.64 - 0.67 µm b3 red
// B5 Near infrared ----30 meters0.85 - 0.88 µm b4 nir
// B6 Shortwave infrared 1 30 meters 1.57 - 1.65 µm b5 swir1
// B7 Shortwave infrared 2 b6 swir2
//NDWI (Landsat 8) = (B3 - B5) / (B3 + B5)
var ndvi = imagen.normalizedDifference(['nir', 'red']).rename('NDVI'); var ndwbi =
imagen.normalizedDifference(['green', 'nir']).rename('NDWBI'); var ndsi = imagen.normalizedDifference(['green',
'swir1']).rename('NDSI'); var ndwi = imagen.normalizedDifference(['nir', 'swir1']).rename('NDWI'); var nbr =
imagen.normalizedDifference(['nir', 'swir2']).rename('NBR');

```

```

var parNDVI =
{"opacity":1,"bands":["NDVI"],"min":0.2902,"max":0.9186351895332336,"palette":["ff0e0e","ffad66","ffef35","afff56","3bff4a","16c8
0b"]};
var parNDWBI =
{"opacity":1,"bands":["NDWBI"],"min":-0.9136125445365906,"max":-
0.3326819837093353,"palette":["156c17","35d04f","fffb6e","ffb962","ff0000"]}; var parNDSI = {"opacity":1,"bands":["NDSI"],"min":-
0.7200424075126648,"max":0.5472779273986816,"palette":["ff0808","ffca6a","5cff49","31a91b","2a4e1c"]}; var parNDWI =
{"opacity":1,"bands":["NDWI"],"min":-
0.2862706780433655,"max":0.5038144588470459,"palette":["ff0808","ffca6a","5cff49","31a91b","2a4e1c"]}; var parNBR =
{"opacity":1,"bands":["NBR"],"min":-
0.0746944323182106,"max":0.7294272780418396,"palette":["ff0808","ffca6a","5cff49","31a91b","2a4e1c"]};
Map.addLayer(imagen, parametros, 'Landsat'+periodo);
Map.addLayer(ndvi,parNDVI,'Indice NDVI',0);
Map.addLayer(ndwbi,parNDWBI,'Indice NDWBI',0); Map.addLayer(ndsi,parNDSI,'Indice NDSI',0);
Map.addLayer(ndwi,parNDWI,'Indice NDWI',0); Map.addLayer(nbr,parNBR,'Indice NBR',0);
//Composición del mosaico con todas las bandas
var composite1 = ee.Image.cat(imagen,ndvi,ndwbi,ndsi,ndwi,nbr);
//Cortar mosaico con el límite de estudio
//var composite = composite1.clip(roi);
//*****|||
//*****|||
//Indice de imágenes y filtro por cuadrante: var AOI = ee.FeatureCollection(AreaEstudio); var roi=
AOI.filter(ee.Filter.inList('CUADRANTE',[cuadrante]));
Map.addLayer(roi,[],'Cuadrante '+cuadrante); Map.centerObject(roi, Escala_visual);
var PuntosEntrenamiento1 = ee.FeatureCollection(Muestras);
var PuntosEntrenamiento= PuntosEntrenamiento1.filter(ee.Filter.inList('CUADRANTE',[cuadrante]));
Map.addLayer(PuntosEntrenamiento,{color: ColorMuestras},'Puntos de Cuadrante',0);
//*****|||
//*****|||
// * * * * CLASIFICACIÓN CON IMÁGENES RADAR //extraer estadísticas de imagenes RADAR
var final1 = ee.Image.cat(SARVV_filtered,SARVH_filtered); var final = final1.clip(roi) var bands = ['VH','VV'];
var training = final.select(bands).sampleRegions({ collection: PuntosEntrenamiento,
properties: ['Class'], scale: 30 });
//
//Train the classifier //entrenar al clasificador
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({ features: training, classProperty: 'Class',
inputProperties: bands
});
//Ejecutar clasificador
var classified = final.select(bands).classify(classifier);
//Display the Classification
Map.addLayer(classified,
{min: 1, max: 3, palette: [Class1, Class2, Class3] },
'SAR Clasificación',0);
//
// Crear matriz de confusión que represente la precisión de la clasificación. print('RF- SAR Matriz de error: ',
classifier.confusionMatrix());
print('RF- SAR Precisión: ', classifier.confusionMatrix().accuracy());
//
//-----*/
//CLASIFICACIÓN CON IMAGEN OPTICA (Imagen del año 2020, la cual se encuentra almacenada en el ASSETS de
la cuenta) //Definir la imagen a clasificar
//Union de los índices y mosaico a nivel nacional var moss2 = composite1.clip(roi); print('Información del mosaico
OPTICO',moss2); var BandasOp = ['red', 'green', 'blue', 'nir','swir1','swir2', 'NDVI', 'NDWBI', 'NDSI', 'NDWI','NBR'];
var trainingl8 = moss2.select(BandasOp).sampleRegions({ collection: PuntosEntrenamiento,

```

```

    properties: ['Class'], scale: 30
  });
  //Entrenar los puntos al clasificador (algoritmo de Random Forest) var classifierl8 =
ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({ features: trainingl8, classProperty: 'Class',
inputProperties: BandasOp
});
//Run the Classification
var classifiedl8 = moss2.select(BandasOp).classify(classifierl8);
//Display the Classification Map.addLayer(classifiedl8,
{min: 1, max: 3, palette: [Class1, Class2, Class3]},
'Optical Clasificación');
//-----*/
Create a confusion matrix representing resubstitution accuracy. print('Optica-Matriz de error: ', classifierl8.confusionMatrix());
print('Optica precisión: ', classifierl8.confusionMatrix().accuracy());
//-----*/
//
//RADAR Y OPTICA IMAGEN PLANET ENGINE
//Definir los datos de la imagen optica y las imágenes RADAR
var opt_sar1 = ee.Image.cat(composite1, SARVV_filtered, SARVH_filtered); var opt_sar = opt_sar1.clip(roi); var
bands_opt_sar = ['VH','VV','red', 'green', 'blue', 'nir','swir1','swir2', 'NDVI', 'NDWBI', 'NDSI', 'NDWI','NBR'];
var training_opt_sar = opt_sar.select(bands_opt_sar).sampleRegions({ collection: PuntosEntrenamiento,
properties: ['Class'], scale: 30 });
//Train the classifier var classifier_opt_sar =
ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({ features: training_opt_sar, classProperty: 'Class',
inputProperties: bands_opt_sar
});
//Run the Classification
var classifiedboth = opt_sar.select(bands_opt_sar).classify(classifier_opt_sar);
//Display the Classification var mask_o = opt_sar.select(0).neq(1000) var mask_r = SARVV_filtered.neq(1000) var
mask = mask_r.updateMask(mask_o)
Map.addLayer(classifiedboth.updateMask(mask),
{min: 1, max: 3, palette: [Class1, Class2, Class3]}, 'Optica/SAR Clasificación');
//-----*/
// Create a confusion matrix representing resubstitution accuracy.
print('RF-Opt/SAR matriz de error: ', classifier_opt_sar.confusionMatrix()); print('RF-Opt/SAR precisión: ',
classifier_opt_sar.confusionMatrix().accuracy());
//Agregar al mapa los puntos de entrenamiento
Map.addLayer(PuntosEntrenamiento1,{color: ColorMuestras},'Puntos de entrenamiento total',0);
// Exportar RASTER clasificado GeoTIFF.
Export.image.toDrive({ image: classifiedboth,
description: 'Clasificacion'+periodo+'C'+cuadrante+'V'+version, scale: 30, region: roi, fileFormat: 'GeoTIFF', maxPixels:
1e13, formatOptions: {
cloudOptimized: true
}
});
//Exportar imagen LANDSAT de acuerdo al cuadrante seleccionado
var imagenCuadra = imagen.clip(roi);
Export.image.toDrive({ image: imagenCuadra,
description: 'L'+periodo+'C'+cuadrante,
scale: 30, region: roi, fileFormat: 'GeoTIFF', maxPixels: 1e13, formatOptions: {
cloudOptimized: true
}
});
//*****
//*****

```

```
//LEYENDA
var Etiquetas = ['Cobertura forestal', 'No bosque', 'Agua'];
var Titulo = ui.Label({
  value: 'Categorías',
  style: {fontWeight: 'bold', fontSize: '20px', margin: '0px 0px 10px 0px',}});
var Leyenda = ui.Panel({
  style: {position: 'bottom-left', padding: '7px 12px'}}); Leyenda.add(Titulo);
var Simbologia = [Class1, Class2, Class3]; var Simbolos = function(simbolo, texto) { var TextoLeyenda = ui.Label({
  value: texto,
  style: {margin: '4px 3px 4px 10px'}});
  var CajaLeyenda = ui.Label({
  style: {backgroundColor: '#' + simbolo, padding: '12px', margin: '0px 0px 5px 8px'}});
  return ui.Panel({
  widgets: [CajaLeyenda, TextoLeyenda], layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')});}; for (var i = 0; i < 3; i++)
{Leyenda.add(Simbolos(Simbologia[i], Etiquetas[i]));}
GUATEMALA Y SU DINÁMICA
Map.add(Leyenda);
Agenda:
temas Responsables
Presentación de la metodología INAB
Resultados INAB
A nivel nacional INAB
A nivel de AP CONAP
A nivel de la RBM RBM
Presentación de la precisión de los mapas Precisión UVG
```

Anexo 2. Cobertura forestal a nivel municipal

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
101	Guatemala	21,472	4,519	4,435	-83.6	-20.9	-0.46%	-1.85%	21.0%	20.7%
102	Santa Catarina Pinula	6,724	3,193	3,175	-18.3	-4.6	-0.14%	-0.57%	47.5%	47.2%
103	San José Pinula	19,767	7,072	6,895	-176.7	-44.2	-0.62%	-2.50%	35.8%	34.9%
104	San José del Golfo	7,636	1,390	1,390	-0.6	-0.2	-0.01%	-0.04%	18.2%	18.2%
105	Palencia	21,736	2,992	2,929	-62.9	-15.7	-0.53%	-2.10%	13.8%	13.5%
106	Chinautla	6,696	3,153	3,043	-110.3	-27.6	-0.87%	-3.50%	47.1%	45.4%
107	San Pedro Ayampuc	10,667	3,540	3,471	-69.0	-17.3	-0.49%	-1.95%	33.2%	32.5%
108	Mixco	9,021	3,234	3,126	-107.9	-27.0	-0.83%	-3.34%	35.9%	34.7%
109	San Pedro Sacatepéquez	2,884	1,584	1,571	-13.1	-3.3	-0.21%	-0.83%	54.9%	54.5%
110	San Juan Sacatepéquez	27,256	10,605	10,224	-380.5	-95.1	-0.90%	-3.59%	38.9%	37.5%
111	San Raymundo	12,481	3,727	3,482	-245.5	-61.4	-1.65%	-6.59%	29.9%	27.9%
112	Chuarancho	11,780	2,354	2,277	-76.4	-19.1	-0.81%	-3.25%	20.0%	19.3%
113	Fraijanes	11,500	3,087	3,042	-44.4	-11.1	-0.36%	-1.44%	26.8%	26.5%
114	Amatitlán	10,083	1,535	1,513	-22.1	-5.5	-0.36%	-1.44%	15.2%	15.0%
115	Villa Nueva	8,895	1,293	1,236	-57.0	-14.3	-1.10%	-4.41%	14.5%	13.9%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
116	Villa Canales	27,963	2,400	2,350	-49.3	-12.3	-0.51%	-2.05%	8.6%	8.4%
117	Petapa	2,376	206	180	-25.9	-6.5	-3.14%	-12.56%	8.7%	7.6%
201	Guastatoya	21,779	395	391	-3.7	-0.9	-0.23%	-0.94%	1.8%	1.8%
202	Morazán	34,719	11,141	10,819	-321.7	-80.4	-0.72%	-2.89%	32.1%	31.2%
203	San Agustín Acasaguastlán	42,567	19,111	18,499	-612.6	-153.2	-0.80%	-3.21%	44.9%	43.5%
204	San Cristóbal Acasaguastlán	16,449	5,181	5,068	-112.3	-28.1	-0.54%	-2.17%	31.5%	30.8%
205	El Júcaro	11,437	36	34	-1.5	-0.4	-1.08%	-4.31%	0.3%	0.3%
206	Sansare	14,389	509	507	-2.3	-0.6	-0.11%	-0.45%	3.5%	3.5%
207	Sanarate	27,390	1,168	1,117	-50.7	-12.7	-1.09%	-4.34%	4.3%	4.1%
208	San Antonio La Paz	14,725	1,200	1,197	-3.4	-0.8	-0.07%	-0.28%	8.2%	8.1%
301	Antigua Guatemala	6,886	2,863	2,902	38.5	9.6	0.34%	1.34%	41.6%	42.1%
302	Jocotenango	995	147	132	-14.9	-3.7	-2.52%	-10.10%	14.8%	13.3%
303	Pastores	3,916	1,424	1,333	-91.1	-22.8	-1.60%	-6.40%	36.4%	34.0%
304	Sumpango	5,050	1,302	1,227	-75.6	-18.9	-1.45%	-5.81%	25.8%	24.3%
305	Santo Domingo Xenacoj	2,475	1,239	1,180	-58.3	-14.6	-1.18%	-4.71%	50.0%	47.7%
306	Santiago Sacatepéquez	4,044	1,860	1,782	-78.2	-19.6	-1.05%	-4.20%	46.0%	44.1%
307	San Bartolomé Milpas Altas	835	541	540	-0.8	-0.2	-0.04%	-0.16%	64.8%	64.7%
308	San Lucas Sacatepéquez	2,326	1,458	1,426	-31.2	-7.8	-0.54%	-2.14%	62.7%	61.3%
309	Santa Lucía Milpas Altas	919	460	456	-3.7	-0.9	-0.20%	-0.80%	50.1%	49.7%
310	Magdalena Milpas Altas	1,456	981	977	-4.3	-1.1	-0.11%	-0.44%	67.4%	67.1%
311	Santa María de Jesús	6,077	2,810	2,812	2.2	0.5	0.02%	0.08%	46.2%	46.3%
312	Ciudad Vieja	3,571	672	659	-12.8	-3.2	-0.48%	-1.91%	18.8%	18.5%
313	San Miguel Dueñas	4,474	1,642	1,626	-16.3	-4.1	-0.25%	-0.99%	36.7%	36.3%
314	Alotenango	9,006	3,187	3,127	-59.9	-15.0	-0.47%	-1.88%	35.4%	34.7%
315	San Antonio Aguas Calientes	515	197	197	0.0	0.0	0.00%	0.00%	38.2%	38.2%
316	Santa Catarina Barahona	1,054	400	398	-2.1	-0.5	-0.13%	-0.52%	37.9%	37.7%
401	Chimaltenango	4,904	2,340	2,270	-69.1	-17.3	-0.74%	-2.95%	47.7%	46.3%
402	San José Poaquil	9,651	2,571	2,477	-94.0	-23.5	-0.91%	-3.66%	26.6%	25.7%
403	San Martín Jilotepeque	40,970	13,889	11,526	-2,363.0	-590.7	-4.25%	-17.01%	33.9%	28.1%
404	Comalapa	8,568	3,392	3,292	-100.8	-25.2	-0.74%	-2.97%	39.6%	38.4%
405	Santa Apolonia	4,611	1,890	1,751	-139.0	-34.8	-1.84%	-7.36%	41.0%	38.0%
406	Tecpán Guatemala	24,773	10,187	9,804	-383.7	-95.9	-0.94%	-3.77%	41.1%	39.6%
407	Patzún	18,407	8,913	8,267	-645.8	-161.5	-1.81%	-7.25%	48.4%	44.9%
408	Pochuta	12,943	5,109	5,197	88.1	22.0	0.43%	1.72%	39.5%	40.2%
409	Patzicía	6,469	1,659	1,657	-1.4	-0.3	-0.02%	-0.08%	25.6%	25.6%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
410	Santa Cruz Balanyá	1,980	347	340	-7.3	-1.8	-0.53%	-2.10%	17.5%	17.2%
411	Acatenango	13,088	3,374	3,460	85.9	21.5	0.64%	2.55%	25.8%	26.4%
412	Yepocapa	20,532	6,996	7,705	708.6	177.2	2.53%	10.13%	34.1%	37.5%
413	San Andrés Itzapa	6,760	3,228	3,250	21.8	5.4	0.17%	0.67%	47.8%	48.1%
414	Parramos	2,942	780	755	-25.1	-6.3	-0.80%	-3.22%	26.5%	25.7%
415	Zaragoza	5,188	2,078	2,008	-69.6	-17.4	-0.84%	-3.35%	40.1%	38.7%
416	El Tejar	4,552	1,418	1,367	-50.6	-12.7	-0.89%	-3.57%	31.1%	30.0%
501	Escuintla	54,615	13,873	11,472	-2,400.9	-600.2	-4.33%	-17.31%	25.4%	21.0%
502	Santa Lucia Cotzumalguapa	45,457	6,952	6,678	-273.5	-68.4	-0.98%	-3.93%	15.3%	14.7%
503	La Democracia	28,924	579	517	-62.1	-15.5	-2.68%	-10.73%	2.0%	1.8%
504	Siquinalá	18,435	6,069	5,585	-483.3	-120.8	-1.99%	-7.96%	32.9%	30.3%
505	Masagua	47,325	1,317	1,484	167.4	41.9	3.18%	12.71%	2.8%	3.1%
506	Tiquisate	47,154	1,046	1,063	17.5	4.4	0.42%	1.67%	2.2%	2.3%
507	La Gomera	51,554	628	653	24.8	6.2	0.99%	3.94%	1.2%	1.3%
508	Guanagazapa	22,735	3,890	3,896	5.5	1.4	0.04%	0.14%	17.1%	17.1%
509	San José	21,768	1,267	1,432	165.0	41.2	3.25%	13.02%	5.8%	6.6%
510	Iztapa	6,516	882	881	-0.5	-0.1	-0.01%	-0.06%	13.5%	13.5%
511	Palín	11,094	3,860	3,815	-45.0	-11.2	-0.29%	-1.17%	34.8%	34.4%
512	San Vicente Pacaya	14,996	6,969	6,841	-128.1	-32.0	-0.46%	-1.84%	46.5%	45.6%
513	Nueva Concepción	52,395	1,496	1,432	-64.3	-16.1	-1.07%	-4.30%	2.9%	2.7%
514	Sipacate	26,971	2,974	2,361	-613.5	-153.4	-5.16%	-20.63%	11.0%	8.8%
601	Cuilapa	21,357	710	694	-15.7	-3.9	-0.55%	-2.21%	3.3%	3.3%
602	Barberena	22,432	2,868	2,681	-187.6	-46.9	-1.63%	-6.54%	12.8%	12.0%
603	Santa Rosa de Lima	13,398	949	913	-36.7	-9.2	-0.97%	-3.87%	7.1%	6.8%
604	Casillas	20,432	710	638	-71.6	-17.9	-2.52%	-10.08%	3.5%	3.1%
605	San Rafael Las Flores	8,507	80	80	-0.2	0.0	-0.06%	-0.22%	0.9%	0.9%
606	Oratorio	31,006	2,897	2,786	-110.7	-27.7	-0.96%	-3.82%	9.3%	9.0%
607	San Juan Tecuaco	3,362	370	317	-52.7	-13.2	-3.56%	-14.23%	11.0%	9.4%
608	Chiquimulilla	59,994	6,896	7,048	151.8	38.0	0.55%	2.20%	11.5%	11.7%
609	Taxisco	63,969	10,214	10,617	403.9	101.0	0.99%	3.95%	16.0%	16.6%
610	Santa María Ixhuatán	16,461	1,347	1,306	-40.4	-10.1	-0.75%	-3.00%	8.2%	7.9%
611	Guazacapán	10,947	1,803	1,873	70.2	17.5	0.97%	3.89%	16.5%	17.1%
612	Santa Cruz Naranjo	5,842	197	192	-4.2	-1.0	-0.53%	-2.12%	3.4%	3.3%
613	Pueblo Nuevo Viñas	25,032	6,111	5,995	-116.4	-29.1	-0.48%	-1.90%	24.4%	23.9%
614	Nueva Santa Rosa	13,192	236	232	-3.2	-0.8	-0.34%	-1.36%	1.8%	1.8%
701	Sololá	15,130	5,551	5,541	-10.1	-2.5	-0.05%	-0.18%	36.7%	36.6%
702	San José Chacayá	1,578	613	608	-4.7	-1.2	-0.19%	-0.77%	38.8%	38.5%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
703	Santa María Visitación	2,075	1,183	1,183	0.0	0.0	0.00%	0.00%	57.0%	57.0%
704	Santa Lucía Utatlán	5,105	2,316	2,304	-11.7	-2.9	-0.13%	-0.51%	45.4%	45.1%
705	Nahualá	18,619	6,430	6,410	-20.8	-5.2	-0.08%	-0.32%	34.5%	34.4%
706	Santa Catarina Ixtahuacán	18,974	4,577	4,572	-5.5	-1.4	-0.03%	-0.12%	24.1%	24.1%
707	Santa Clara La Laguna	1,435	578	553	-25.9	-6.5	-1.12%	-4.49%	40.3%	38.5%
708	Concepción	1,497	637	630	-7.1	-1.8	-0.28%	-1.11%	42.6%	42.1%
709	San Andrés Semetabaj	5,295	1,816	1,775	-40.8	-10.2	-0.56%	-2.25%	34.3%	33.5%
710	Panajachel	772	272	271	-1.1	-0.3	-0.10%	-0.41%	35.2%	35.1%
711	Santa Catarina Palopó	473	177	178	0.2	0.1	0.04%	0.14%	37.5%	37.6%
712	San Antonio Palopó	2,611	453	423	-29.7	-7.4	-1.64%	-6.55%	17.4%	16.2%
713	San Lucas Tolimán	7,365	1,706	1,637	-69.0	-17.3	-1.01%	-4.05%	23.2%	22.2%
714	Santa Cruz La Laguna	1,126	181	181	0.0	0.0	0.00%	0.00%	16.0%	16.0%
715	San Pablo La Laguna	613	112	111	-0.4	-0.1	-0.10%	-0.39%	18.2%	18.1%
716	San Marcos La Laguna	918	115	112	-3.6	-0.9	-0.79%	-3.16%	12.5%	12.2%
717	San Juan La Laguna	3,717	1,190	1,190	0.0	0.0	0.00%	0.00%	32.0%	32.0%
718	San Pedro La Laguna	5,065	2,997	2,933	-64.2	-16.0	-0.54%	-2.14%	59.2%	57.9%
719	Santiago Atitlán	11,588	6,219	6,401	181.9	45.5	0.73%	2.93%	53.7%	55.2%
801	Totonicapán	24,447	12,566	12,536	-30.1	-7.5	-0.06%	-0.24%	51.4%	51.3%
802	San Cristóbal Totonicapán	4,426	449	449	-0.2	0.0	-0.01%	-0.04%	10.1%	10.1%
803	San Francisco El Alto	7,264	1,493	1,491	-2.3	-0.6	-0.04%	-0.16%	20.6%	20.5%
804	San Andrés Xecul	1,649	337	337	0.0	0.0	0.00%	0.00%	20.4%	20.4%
805	Momostenango	36,002	12,708	12,565	-142.6	-35.7	-0.28%	-1.12%	35.3%	34.9%
806	Santa María Chiquimula	23,744	7,950	7,702	-247.9	-62.0	-0.78%	-3.12%	33.5%	32.4%
807	Santa Lucía La Reforma	4,539	1,199	1,194	-5.4	-1.3	-0.11%	-0.45%	26.4%	26.3%
808	San Bartolo Aguas Calientes	5,640	2,449	2,427	-22.4	-5.6	-0.23%	-0.91%	43.4%	43.0%
901	Quetzaltenango	12,684	2,859	2,819	-40.2	-10.1	-0.35%	-1.41%	22.5%	22.2%
902	Salcajá	1,688	19	19	0.0	0.0	0.00%	0.00%	1.1%	1.1%
903	Olintepeque	3,218	948	948	-0.1	0.0	0.00%	-0.01%	29.5%	29.5%
904	San Carlos Sija	22,656	9,548	9,465	-82.7	-20.7	-0.22%	-0.87%	42.1%	41.8%
905	Sibilia	4,107	1,493	1,493	0.0	0.0	0.00%	0.00%	36.3%	36.3%
906	Cabricán	8,368	4,933	4,932	-1.0	-0.2	0.00%	-0.02%	58.9%	58.9%
907	Cajolá	2,053	964	962	-1.7	-0.4	-0.04%	-0.18%	46.9%	46.9%
908	San Miguel Sigüila	1,713	605	605	0.0	0.0	0.00%	0.00%	35.3%	35.3%
909	San Juan Ostuncalco	10,904	4,818	4,821	3.6	0.9	0.02%	0.07%	44.2%	44.2%
910	San Mateo	1,082	434	434	0.3	0.1	0.01%	0.06%	40.1%	40.1%
911	Concepción Chiquirichapa	2,190	939	939	-0.1	0.0	0.00%	-0.01%	42.9%	42.9%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
912	San Martín Sacatepéquez	14,379	6,915	7,132	217.2	54.3	0.79%	3.14%	48.1%	49.6%
913	Almolonga	1,255	325	312	-12.4	-3.1	-0.95%	-3.81%	25.9%	24.9%
914	Cantel	4,973	1,893	1,892	-1.6	-0.4	-0.02%	-0.09%	38.1%	38.0%
915	Huitán	3,635	1,455	1,455	0.0	0.0	0.00%	0.00%	40.0%	40.0%
916	Zunil	7,746	4,887	4,867	-20.2	-5.1	-0.10%	-0.41%	63.1%	62.8%
917	Colomba	20,573	4,697	4,266	-431.1	-107.8	-2.29%	-9.18%	22.8%	20.7%
918	San Francisco La Unión	1,689	573	573	-0.3	-0.1	-0.01%	-0.05%	33.9%	33.9%
919	El Palmar	17,591	3,465	3,236	-229.1	-57.3	-1.65%	-6.61%	19.7%	18.4%
920	Coatepeque	41,870	7,467	8,422	954.9	238.7	3.20%	12.79%	17.8%	20.1%
921	Génova	16,837	4,197	4,428	230.7	57.7	1.37%	5.50%	24.9%	26.3%
922	Flores Costa Cuca	7,248	2,705	2,702	-2.8	-0.7	-0.03%	-0.11%	37.3%	37.3%
923	La Esperanza	1,225	193	193	-0.2	0.0	-0.02%	-0.09%	15.7%	15.7%
924	Palestina de los Altos	3,603	1,236	1,236	0.0	0.0	0.00%	0.00%	34.3%	34.3%
1001	Mazatenango	6,525	2,020	1,973	-47.0	-11.7	-0.58%	-2.33%	31.0%	30.2%
1002	Cuyotenango	8,865	2,411	2,635	224.1	56.0	2.32%	9.30%	27.2%	29.7%
1003	San Francisco Zapotitlán	4,890	757	841	83.9	21.0	2.77%	11.08%	15.5%	17.2%
1004	San Bernardino	1,431	435	503	68.4	17.1	3.93%	15.72%	30.4%	35.2%
1005	San José El Ídolo	13,772	3,270	4,034	764.9	191.2	5.85%	23.40%	23.7%	29.3%
1006	Santo Domingo Suchitepéquez	23,609	3,008	3,770	762.1	190.5	6.33%	25.34%	12.7%	16.0%
1007	San Lorenzo	28,657	1,787	2,499	712.3	178.1	9.97%	39.86%	6.2%	8.7%
1008	Samayac	2,582	314	657	342.1	85.5	27.21%	108.82%	12.2%	25.4%
1009	San Pablo Jocopila	2,611	22	25	3.1	0.8	3.59%	14.37%	0.8%	0.9%
1010	San Antonio Suchitepéquez	7,501	2,630	2,863	233.4	58.3	2.22%	8.87%	35.1%	38.2%
1011	San Miguel Panán	2,880	1,798	1,963	164.9	41.2	2.29%	9.17%	62.5%	68.2%
1012	San Gabriel	660	332	330	-2.7	-0.7	-0.21%	-0.82%	50.4%	50.0%
1013	Chicacao	21,099	7,960	10,150	2,189.6	547.4	6.88%	27.51%	37.7%	48.1%
1014	Patulul	33,874	10,761	11,070	309.4	77.4	0.72%	2.88%	31.8%	32.7%
1015	Santa Bárbara	17,701	5,785	6,993	1,207.3	301.8	5.22%	20.87%	32.7%	39.5%
1016	San Juan Bautista	3,460	1,103	1,517	414.2	103.5	9.38%	37.54%	31.9%	43.9%
1017	Santo Tomas La Unión	1,248	51	50	-0.6	-0.2	-0.30%	-1.19%	4.1%	4.0%
1018	Zunilito	1,309	6	6	0.0	0.0	0.00%	0.00%	0.4%	0.4%
1019	Pueblo Nuevo	1,852	311	293	-18.0	-4.5	-1.45%	-5.80%	16.8%	15.8%
1020	Río Bravo	15,822	4,486	4,309	-177.6	-44.4	-0.99%	-3.96%	28.4%	27.2%
1021	La Máquina	14,660	271	654	382.7	95.7	35.29%	141.14%	1.8%	4.5%
1101	Retalhuleu	80,868	9,628	10,743	1,115.1	278.8	2.90%	11.58%	11.9%	13.3%
1102	San Sebastián	1,772	342	483	141.1	35.3	10.31%	41.25%	19.3%	27.3%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
1103	Santa Cruz Muluá	12,820	1,652	1,976	323.7	80.9	4.90%	19.59%	12.9%	15.4%
1104	San Martín Zapotitlán	939	105	74	-30.4	-7.6	-7.26%	-29.05%	11.1%	7.9%
1105	San Felipe Retalhuleu	3,662	305	268	-37.5	-9.4	-3.07%	-12.29%	8.3%	7.3%
1106	San Andrés Villa Seca	43,513	5,141	5,419	278.4	69.6	1.35%	5.42%	11.8%	12.5%
1107	Champerico	32,811	2,084	2,691	607.5	151.9	7.29%	29.15%	6.4%	8.2%
1108	Nuevo San Carlos	8,654	1,715	1,930	215.0	53.8	3.13%	12.54%	19.8%	22.3%
1109	El Asintal	9,367	3,682	3,993	310.1	77.5	2.10%	8.42%	39.3%	42.6%
1201	San Marcos	12,060	3,843	3,838	-5.3	-1.3	-0.03%	-0.14%	31.9%	31.8%
1202	San Pedro Sacatepéquez	7,740	2,663	2,655	-8.7	-2.2	-0.08%	-0.33%	34.4%	34.3%
1203	San Antonio Sacatepéquez	4,732	2,206	2,194	-11.7	-2.9	-0.13%	-0.53%	46.6%	46.4%
1204	Comitancillo	13,484	3,496	3,493	-3.0	-0.8	-0.02%	-0.09%	25.9%	25.9%
1205	San Miguel Ixtahuacán	19,621	5,710	5,677	-33.4	-8.4	-0.15%	-0.58%	29.1%	28.9%
1206	Concepción Tutuapa	22,426	11,043	11,021	-22.4	-5.6	-0.05%	-0.20%	49.2%	49.1%
1207	Tacaná	36,221	16,461	16,546	85.1	21.3	0.13%	0.52%	45.4%	45.7%
1208	Sibinal	10,441	5,335	5,359	24.1	6.0	0.11%	0.45%	51.1%	51.3%
1209	Tajumulco	25,154	8,214	8,199	-15.0	-3.8	-0.05%	-0.18%	32.7%	32.6%
1210	Tejutla	14,307	3,057	3,054	-2.8	-0.7	-0.02%	-0.09%	21.4%	21.3%
1211	San Rafael Pie de la Cuesta	4,523	78	78	0.0	0.0	0.00%	0.00%	1.7%	1.7%
1212	Nuevo Progreso	14,049	2,369	2,779	410.0	102.5	4.33%	17.31%	16.9%	19.8%
1213	El Tumbador	16,581	4,066	4,224	158.9	39.7	0.98%	3.91%	24.5%	25.5%
1214	El Rodeo	5,174	1,216	1,258	42.2	10.5	0.87%	3.47%	23.5%	24.3%
1215	Malacatán	21,258	2,806	3,752	945.7	236.4	8.43%	33.71%	13.2%	17.6%
1216	Catarina	8,147	1,280	1,499	219.4	54.9	4.29%	17.15%	15.7%	18.4%
1217	Ayutla	11,875	586	555	-30.8	-7.7	-1.31%	-5.25%	4.9%	4.7%
1218	Ocós	5,328	314	351	37.4	9.4	2.98%	11.92%	5.9%	6.6%
1219	San Pablo	13,932	2,857	3,225	367.2	91.8	3.21%	12.85%	20.5%	23.1%
1220	El Quetzal	8,751	929	965	35.4	8.9	0.95%	3.81%	10.6%	11.0%
1221	La Reforma	7,416	1,634	1,655	21.0	5.2	0.32%	1.28%	22.0%	22.3%
1222	Pajapita	13,123	3,685	4,102	417.3	104.3	2.83%	11.32%	28.1%	31.3%
1223	Ixchiguán	10,450	2,962	2,972	10.4	2.6	0.09%	0.35%	28.3%	28.4%
1224	San José Ojetenam	7,867	2,184	2,179	-5.1	-1.3	-0.06%	-0.23%	27.8%	27.7%
1225	San Cristóbal Cucho	2,972	336	336	0.0	0.0	0.00%	0.00%	11.3%	11.3%
1226	Sipacapa	15,144	5,019	5,018	-1.6	-0.4	-0.01%	-0.03%	33.1%	33.1%
1227	Esquipulas Palo Gordo	5,054	2,363	2,364	1.1	0.3	0.01%	0.05%	46.7%	46.8%
1228	Río Blanco	3,120	1,588	1,588	-0.3	-0.1	0.00%	-0.02%	50.9%	50.9%
1229	San Lorenzo	4,484	1,499	1,461	-38.3	-9.6	-0.64%	-2.55%	33.4%	32.6%
1230	La Blanca	9,872	1,080	1,108	28.0	7.0	0.65%	2.59%	10.9%	11.2%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
1301	Huehuetenango	23,531	3,948	3,932	-15.5	-3.9	-0.10%	-0.39%	16.8%	16.7%
1302	Chiantla	41,309	9,089	9,070	-18.6	-4.7	-0.05%	-0.20%	22.0%	22.0%
1303	Malacatancito	25,681	6,673	6,628	-45.1	-11.3	-0.17%	-0.68%	26.0%	25.8%
1304	Cuilco	45,397	17,883	17,793	-90.4	-22.6	-0.13%	-0.51%	39.4%	39.2%
1305	Nentón	76,641	15,654	15,325	-328.4	-82.1	-0.52%	-2.10%	20.4%	20.0%
1306	San Pedro Néctá	13,290	2,128	2,133	4.9	1.2	0.06%	0.23%	16.0%	16.0%
1307	Jacaltenango	20,702	2,658	2,580	-77.7	-19.4	-0.73%	-2.92%	12.8%	12.5%
1308	San Pedro Soloma	26,297	18,711	18,630	-81.5	-20.4	-0.11%	-0.44%	71.2%	70.8%
1309	San Idelfonso Ixtahuacán	18,555	4,743	4,739	-4.3	-1.1	-0.02%	-0.09%	25.6%	25.5%
1310	Santa Bárbara	15,008	2,210	2,203	-6.8	-1.7	-0.08%	-0.31%	14.7%	14.7%
1311	La Libertad	21,714	8,155	8,127	-28.3	-7.1	-0.09%	-0.35%	37.6%	37.4%
1312	La Democracia	16,900	261	256	-4.9	-1.2	-0.47%	-1.88%	1.5%	1.5%
1313	San Miguel Acatán	17,586	6,067	6,030	-37.1	-9.3	-0.15%	-0.61%	34.5%	34.3%
1314	San Rafael La Independencia	5,658	3,922	3,933	11.1	2.8	0.07%	0.28%	69.3%	69.5%
1315	Todos Santos Cuchumatán	26,922	7,623	7,606	-17.4	-4.3	-0.06%	-0.23%	28.3%	28.3%
1316	San Juan Atitán	5,797	2,110	2,097	-13.3	-3.3	-0.16%	-0.63%	36.4%	36.2%
1317	Santa Eulalia	25,064	16,072	15,138	-933.5	-233.4	-1.45%	-5.81%	64.1%	60.4%
1318	San Mateo Ixtatán	58,336	35,792	34,548	-1,244.6	-311.2	-0.87%	-3.48%	61.4%	59.2%
1319	Colotenango	6,183	935	938	3.0	0.8	0.08%	0.33%	15.1%	15.2%
1320	San Sebastián Huehuetenango	9,035	3,034	3,032	-1.7	-0.4	-0.01%	-0.06%	33.6%	33.6%
1321	Tectitán	7,260	3,216	3,210	-6.4	-1.6	-0.05%	-0.20%	44.3%	44.2%
1322	Concepción Huista	8,604	3,857	3,821	-36.0	-9.0	-0.23%	-0.93%	44.8%	44.4%
1323	San Juan Ixcoy	21,070	10,520	10,465	-55.4	-13.9	-0.13%	-0.53%	49.9%	49.7%
1324	San Antonio Huista	6,496	246	244	-2.4	-0.6	-0.24%	-0.98%	3.8%	3.8%
1325	San Sebastián Coatán	15,669	6,329	6,332	3.1	0.8	0.01%	0.05%	40.4%	40.4%
1326	Barillas	116,527	54,070	53,976	-93.9	-23.5	-0.04%	-0.17%	46.4%	46.3%
1327	Aguacatán	32,509	5,067	5,038	-28.8	-7.2	-0.14%	-0.57%	15.6%	15.5%
1328	San Rafael Pétzal	2,517	913	908	-4.2	-1.0	-0.11%	-0.46%	36.3%	36.1%
1329	San Gaspar Ixchil	3,545	440	436	-3.6	-0.9	-0.20%	-0.82%	12.4%	12.3%
1330	Santiago Chimaltenango	3,938	1,110	1,108	-1.9	-0.5	-0.04%	-0.17%	28.2%	28.1%
1331	Santa Ana Huista	11,714	382	373	-9.3	-2.3	-0.61%	-2.43%	3.3%	3.2%
1332	Unión Cantinil	4,705	71	62	-8.8	-2.2	-3.10%	-12.40%	1.5%	1.3%
1333	Petatán	1,677	22	21	-0.6	-0.2	-0.70%	-2.81%	1.3%	1.3%
1401	Santa Cruz del Quiché	11,220	3,840	3,581	-258.8	-64.7	-1.68%	-6.74%	34.2%	31.9%
1402	Chiché	11,575	3,292	2,916	-375.9	-94.0	-2.86%	-11.42%	28.4%	25.2%
1403	Chinique	6,117	2,330	1,863	-466.3	-116.6	-5.00%	-20.01%	38.1%	30.5%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
1404	Zacualpa	24,751	12,797	12,601	-196.0	-49.0	-0.38%	-1.53%	51.7%	50.9%
1405	Chajul	52,545	29,960	30,951	991.0	247.7	0.83%	3.31%	57.0%	58.9%
1406	Chichicastenango	24,570	11,119	10,993	-126.1	-31.5	-0.28%	-1.13%	45.3%	44.7%
1407	Patzitè	5,316	1,656	1,633	-22.5	-5.6	-0.34%	-1.36%	31.1%	30.7%
1408	San Antonio Iitenango	13,866	2,699	2,673	-25.8	-6.5	-0.24%	-0.96%	19.5%	19.3%
1409	San Pedro Jocopilas	29,480	9,948	8,446	-1,501.7	-375.4	-3.77%	-15.10%	33.7%	28.7%
1410	Cunén	22,587	10,081	10,099	18.0	4.5	0.04%	0.18%	44.6%	44.7%
1411	San Juan Cotzal	16,292	7,625	7,408	-216.6	-54.2	-0.71%	-2.84%	46.8%	45.5%
1412	Joyabaj	47,240	12,808	12,606	-202.0	-50.5	-0.39%	-1.58%	27.1%	26.7%
1413	Nebaj	85,270	40,302	40,621	319.3	79.8	0.20%	0.79%	47.3%	47.6%
1414	San Andrés Sajcabajá	16,925	2,644	2,599	-45.3	-11.3	-0.43%	-1.71%	15.6%	15.4%
1415	Uspantán	83,652	31,522	30,279	-1,242.5	-310.6	-0.99%	-3.94%	37.7%	36.2%
1416	Sacapulas	36,963	5,903	5,812	-91.5	-22.9	-0.39%	-1.55%	16.0%	15.7%
1417	San Bartolomé Jocotenango	10,337	3,722	3,547	-174.9	-43.7	-1.17%	-4.70%	36.0%	34.3%
1418	Canillá	10,205	2,028	2,263	235.5	58.9	2.90%	11.61%	19.9%	22.2%
1419	Chicamán	56,601	20,025	19,221	-804.8	-201.2	-1.00%	-4.02%	35.4%	34.0%
1420	Ixcán	158,379	60,658	61,630	972.8	243.2	0.40%	1.60%	38.3%	38.9%
1421	Pachalum	4,178	1,059	1,053	-6.6	-1.6	-0.16%	-0.62%	25.4%	25.2%
1501	Salamá	67,475	22,549	21,900	-650.0	-162.5	-0.72%	-2.88%	33.4%	32.5%
1502	San Miguel Chicaj	32,694	5,042	5,028	-13.8	-3.5	-0.07%	-0.27%	15.4%	15.4%
1503	Rabinal	31,171	6,704	6,566	-137.8	-34.5	-0.51%	-2.06%	21.5%	21.1%
1504	Cubulco	69,124	26,490	25,478	-1,012.1	-253.0	-0.96%	-3.82%	38.3%	36.9%
1505	Granados	15,450	7,918	7,771	-147.1	-36.8	-0.46%	-1.86%	51.3%	50.3%
1506	El Chól	11,914	4,474	4,440	-33.9	-8.5	-0.19%	-0.76%	37.5%	37.3%
1507	San Jerónimo	22,163	10,762	10,109	-653.6	-163.4	-1.52%	-6.07%	48.6%	45.6%
1508	Purulhá	51,681	22,340	21,502	-837.2	-209.3	-0.94%	-3.75%	43.2%	41.6%
1601	Cobán	226,595	104,107	98,425	-5,681.9	-1,420.5	-1.36%	-5.46%	45.9%	43.4%
1602	Santa Cruz Verapaz	7,800	3,074	3,278	203.7	50.9	1.66%	6.63%	39.4%	42.0%
1603	San Cristóbal Verapaz	38,418	11,983	11,176	-807.3	-201.8	-1.68%	-6.74%	31.2%	29.1%
1604	Tactic	11,636	4,689	4,572	-116.3	-29.1	-0.62%	-2.48%	40.3%	39.3%
1605	Tamahú	6,988	3,019	2,921	-98.5	-24.6	-0.82%	-3.26%	43.2%	41.8%
1606	Tucurú	21,901	5,324	5,019	-305.1	-76.3	-1.43%	-5.73%	24.3%	22.9%
1607	Panzós	72,890	28,704	26,778	-1,926.6	-481.6	-1.68%	-6.71%	39.4%	36.7%
1608	Senahú	70,526	25,935	22,795	-3,140.2	-785.1	-3.03%	-12.11%	36.8%	32.3%
1609	San Pedro Carchá	131,397	34,942	32,750	-2,192.1	-548.0	-1.57%	-6.27%	26.6%	24.9%
1610	San Juan Chamelco	18,686	7,122	7,240	117.7	29.4	0.41%	1.65%	38.1%	38.7%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
1611	Lanquín	23,609	6,305	7,261	955.5	238.9	3.79%	15.15%	26.7%	30.8%
1612	Cahabón	76,026	25,639	23,994	-1,644.8	-411.2	-1.60%	-6.42%	33.7%	31.6%
1613	Chisec	109,863	47,259	47,117	-141.7	-35.4	-0.07%	-0.30%	43.0%	42.9%
1614	Chahal	46,045	12,914	12,582	-332.8	-83.2	-0.64%	-2.58%	28.0%	27.3%
1615	Fray Bartolomé de las Casas	121,298	36,065	34,541	-1,523.7	-380.9	-1.06%	-4.22%	29.7%	28.5%
1616	Santa Catalina la Tinta	19,724	9,326	8,864	-462.0	-115.5	-1.24%	-4.95%	47.3%	44.9%
1617	Raxruhá	60,266	17,948	17,286	-661.8	-165.5	-0.92%	-3.69%	29.8%	28.7%
1701	Flores	434,751	361,237	362,226	988.8	247.2	0.07%	0.27%	83.1%	83.3%
1702	San José	202,138	176,261	175,684	-577.0	-144.2	-0.08%	-0.33%	87.2%	86.9%
1703	San Benito	20,672	2,444	2,852	407.8	101.9	4.17%	16.68%	11.8%	13.8%
1704	San Andrés	827,329	475,318	466,152	-9,166.0	-2,291.5	-0.48%	-1.93%	57.5%	56.3%
1705	La Libertad	528,497	142,710	134,586	-8,124.2	-2,031.0	-1.42%	-5.69%	27.0%	25.5%
1706	San Francisco	50,091	12,555	12,059	-495.4	-123.9	-0.99%	-3.95%	25.1%	24.1%
1707	Santa Ana	93,362	17,987	19,614	1,626.8	406.7	2.26%	9.04%	19.3%	21.0%
1708	Dolores	139,656	42,098	45,284	3,185.1	796.3	1.89%	7.57%	30.1%	32.4%
1709	San Luis	238,379	82,286	83,305	1,018.8	254.7	0.31%	1.24%	34.5%	34.9%
1710	Sayaxché	362,606	50,060	51,824	1,763.5	440.9	0.88%	3.52%	13.8%	14.3%
1711	Melchor de Mencos	244,994	164,572	162,843	-1,729.3	-432.3	-0.26%	-1.05%	67.2%	66.5%
1712	Poptún	168,734	57,592	54,758	-2,833.9	-708.5	-1.23%	-4.92%	34.1%	32.5%
1713	Las Cruces	176,905	54,668	53,792	-876.1	-219.0	-0.40%	-1.60%	30.9%	30.4%
1714	El Chal	95,762	14,521	14,259	-261.3	-65.3	-0.45%	-1.80%	15.2%	14.9%
1801	Puerto Barrios	119,675	36,606	34,690	-1,915.3	-478.8	-1.31%	-5.23%	30.6%	29.0%
1802	Livingston	235,338	101,677	96,578	-5,099.6	-1,274.9	-1.25%	-5.02%	43.2%	41.0%
1803	El Estor	157,378	75,142	72,286	-2,855.9	-714.0	-0.95%	-3.80%	47.7%	45.9%
1804	Morales	132,484	28,288	28,073	-215.3	-53.8	-0.19%	-0.76%	21.4%	21.2%
1805	Los Amates	104,226	23,228	22,744	-483.9	-121.0	-0.52%	-2.08%	22.3%	21.8%
1901	Zacapa	42,485	5,477	5,137	-339.9	-85.0	-1.55%	-6.21%	12.9%	12.1%
1902	Estanzuela	9,462	24	67	43.3	10.8	45.36%	181.46%	0.3%	0.7%
1903	Río Hondo	45,685	17,640	17,481	-159.1	-39.8	-0.23%	-0.90%	38.6%	38.3%
1904	Gualán	78,109	22,956	23,771	814.9	203.7	0.89%	3.55%	29.4%	30.4%
1905	Teculután	21,174	9,041	9,051	9.1	2.3	0.03%	0.10%	42.7%	42.7%
1906	Usumatlán	10,811	2,125	2,109	-15.4	-3.9	-0.18%	-0.73%	19.7%	19.5%
1907	Cabañas	13,843	122	208	86.0	21.5	17.58%	70.33%	0.9%	1.5%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
1908	San Diego	10,340	1,024	834	-190.4	-47.6	-4.65%	-18.60%	9.9%	8.1%
1909	La Unión	21,450	5,007	4,820	-187.3	-46.8	-0.94%	-3.74%	23.3%	22.5%
1910	Huité	8,471	301	332	30.5	7.6	2.53%	10.11%	3.6%	3.9%
1911	San Jorge	8,229	49	48	-1.1	-0.3	-0.57%	-2.29%	0.6%	0.6%
2001	Chiquimula	35,155	3,842	2,645	-1,197.0	-299.3	-7.79%	-31.15%	10.9%	7.5%
2002	San José La Arada	11,530	1,864	1,542	-322.2	-80.6	-4.32%	-17.29%	16.2%	13.4%
2003	San Juan la Ermita	8,048	306	304	-2.3	-0.6	-0.19%	-0.76%	3.8%	3.8%
2004	Jocotán	25,099	1,607	1,527	-79.9	-20.0	-1.24%	-4.97%	6.4%	6.1%
2005	Camotán	23,039	3,251	3,026	-225.1	-56.3	-1.73%	-6.93%	14.1%	13.1%
2006	Olopa	11,210	567	566	-1.4	-0.3	-0.06%	-0.24%	5.1%	5.0%
2007	Esquipulas	50,059	6,173	6,037	-135.5	-33.9	-0.55%	-2.19%	12.3%	12.1%
2008	Concepción Las Minas	21,480	5,666	5,697	30.5	7.6	0.13%	0.54%	26.4%	26.5%
2009	Quezaltepeque	24,445	3,124	3,098	-26.6	-6.6	-0.21%	-0.85%	12.8%	12.7%
2010	San Jacinto	7,074	507	507	0.0	0.0	0.00%	0.00%	7.2%	7.2%
2011	Ipala	22,998	329	386	56.4	14.1	4.28%	17.12%	1.4%	1.7%
2101	Jalapa	68,493	7,503	7,257	-246.1	-61.5	-0.82%	-3.28%	11.0%	10.6%
2102	San Pedro Pinula	53,056	4,803	4,555	-247.6	-61.9	-1.29%	-5.16%	9.1%	8.6%
2103	San Luis Jilotepeque	20,993	2,800	2,510	-290.4	-72.6	-2.59%	-10.37%	13.3%	12.0%
2104	San Manuel Chaparrón	12,870	141	123	-17.6	-4.4	-3.12%	-12.49%	1.1%	1.0%
2105	San Carlos Alzate	8,976	1,166	1,160	-6.6	-1.6	-0.14%	-0.56%	13.0%	12.9%
2106	Monjas	14,802	454	444	-9.7	-2.4	-0.53%	-2.13%	3.1%	3.0%
2107	Mataquescuintla	23,778	4,071	3,938	-132.2	-33.0	-0.81%	-3.25%	17.1%	16.6%
2201	Jutiapa	62,432	1,736	1,643	-92.8	-23.2	-1.34%	-5.35%	2.8%	2.6%
2202	El Progreso	9,942	8	8	0.0	0.0	0.00%	0.00%	0.1%	0.1%
2203	Santa Catarina Mita	20,210	1,541	1,529	-12.5	-3.1	-0.20%	-0.81%	7.6%	7.6%
2204	Agua Blanca	23,859	457	526	68.7	17.2	3.76%	15.03%	1.9%	2.2%
2205	Asunción Mita	50,248	1,131	1,367	235.8	59.0	5.21%	20.84%	2.3%	2.7%
2206	Yupiltepeque	5,554	11	11	0.0	0.0	0.00%	0.00%	0.2%	0.2%
2207	Atescatempa	8,555	5	7	1.9	0.5	9.59%	38.37%	0.1%	0.1%
2208	Jerez	5,226	197	157	-39.3	-9.8	-5.00%	-19.99%	3.8%	3.0%
2209	El Adelanto	2,973	54	74	19.5	4.9	8.97%	35.89%	1.8%	2.5%
2210	Zapotitlán	7,848	29	81	51.9	13.0	44.58%	178.33%	0.4%	1.0%
2211	Comapa	17,373	239	379	140.5	35.1	14.71%	58.83%	1.4%	2.2%
2212	Jalpatagua	22,858	1,536	1,366	-170.5	-42.6	-2.77%	-11.10%	6.7%	6.0%
2213	Conguaco	13,219	392	348	-43.6	-10.9	-2.78%	-11.11%	3.0%	2.6%
2214	Moyuta	41,229	3,355	3,188	-167.3	-41.8	-1.25%	-4.99%	8.1%	7.7%
2215	Pasaco	14,880	877	896	18.6	4.7	0.53%	2.12%	5.9%	6.0%

<i>Código</i>	<i>Municipio</i>	<i>Total (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2016 (ha)</i>	<i>Cobertura Forestal 2020 (ha)</i>	<i>Cambio Neto 2016-2020 (ha)</i>	<i>Cambio anual neto (ha/año)</i>	<i>Tasa anual (%)</i>	<i>Cambio 2016-2020 (%)</i>	<i>Cob2016 %</i>	<i>Cob2020 %</i>
2216	San José Acatempa	11,236	360	324	-36.2	-9.1	-2.51%	-10.05%	3.2%	2.9%
2217	Quesada	13,975	417	397	-19.9	-5.0	-1.19%	-4.77%	3.0%	2.8%