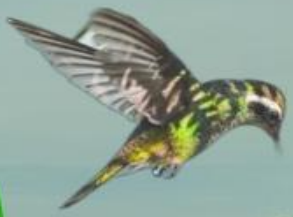
ANALISIS MULTITEMPORAL RESERVA BIOLÓGICA GÜISAYOTE



CRÉDITOS

El Presente informe ha sido elaborado con el aporte financiero del Fondo de Áreas Protegidas y Vida Silvestre (FAPVS) con apoyo técnico de la Región Forestal de Occidente del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Mancomunidad Güisayote y Estudiantes de la carrera de dasonomía de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales UNACIFOR.

Ing Sindy Abigail Villela Acevedo (Técnico Fondo de Áreas Protegidas FAPVS y Coordinadora Logística/Administrativa)

sinabi2019@gmail.com

Ing. Nelson Leonel Rivera Rivera (coordinador Recursos Naturales Mancomunidad Güisayote).

nelsonrivera03@yahoo.es

Das.Gerardina Alverto Deras (Jefe de Oficina Local Forestal Ocotepeque). geralderas@yahoo.es

Das. Mario Rene López Orellana (Coordinador Técnico SIG/Técnico Forestal Región Forestal de Occidente).

mlopez.jpch19@gmail.com

Silvia Leticia Bajurto Cornejo (pasante de la carrera de Dasonomía; UNACIFOR).

leticiabajurto@gmail.com.

Daniela Liseth Pineda Hernández. (pasante de la carrera de Dasonomía UNACIFOR).

lisethpineda387@gmail.com

Gerardo Renato Well Romero. (pasante de la carrera de Dasonomía UNACIFOR).

gerardowell2003@gmail.com

Maynor Daniel Campos cornejo. (pasante de la carrera de Dasonomía UNACIFOR).

mcampos.jpch2022@gmail.com

ACRONIMOS y ABREVIATURAS.

FAPVS: Fondo de Áreas Protegidas y Vida Silvestre

AP: Áreas Protegidas

RBG: Reserva Biológica Güisayote

MG: Mancomunidad Güisayote

ICF: Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal

DAP: Departamento de Áreas Protegidas

UNACIFOR: Universidad Nacional de Ciencias Forestales

SINAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

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

ACP: Análisis de Componentes Principales

IGN: Índice de Ganancia Neta

IEF: Índice de Estabilidad Forestal

Resumen

El presente análisis multitemporal tiene como propósito generar información técnica confiable que respalde la toma de decisiones basadas en la ganancia y perdida de bosque del área protegida en los últimos ocho años (2017-2025); mediante la integración de datos satelitales y el conocimiento de actores locales en Reserva Biológica Güisayote, ubicada en el departamento de Ocotepeque.

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. (V. Ruiz, 2013)

Para el análisis en la Reserva Biológica Güisayote se empleó conocimiento en técnicas de teledetección, mismas que permiten tener información mediante imágenes espaciales obtenidas por satélites, como sentinel. Siendo estas, imágenes de alta resolución, diseñada para monitorizar la superficie de la tierra estudiando la cobertura, agua y usos del suelo.

Así también, se baso en la metodología aplicada en la elaboración del Mapa de Cobertura Forestal y Usos de la tierra, Honduras 2024., el proceso integró datos de teledetección y SIG empleando imágenes ópticas de Sentinel-2 y de radar Sentinel-1 GRD (polarizaciones VV y VH en órbitas ascendentes y descendentes), complementadas con información auxiliar proveniente del Modelo Digital de Elevación SRTM (pendiente y elevación).

El análisis permitió identificar problemáticas como el cambio uso de suelo por la ampliación de la frontera agrícola, ganadería, apertura de caminos, crecimiento poblacional en zona de amortiguamiento y zona núcleo.

Se cuantifico la ganancia de bosque y cambio de uso en los diferentes municipios del área protegida y, en síntesis, los resultados reflejan que Sinuapa mantiene la mayor influencia en la dinámica forestal de la Reserva Biológica Güisayote, acompañada de aportes relevantes de La Labor, San Francisco del Valle y Mercedes. No obstante, se evidencia una tendencia general de disminución del bosque, con una pérdida promedio de 179.2175 hectáreas anuales en la RBG, es decir, el 1.27% del área total, asociada no solo a procesos de deforestación, sino también a cambios de uso sin modificaciones mayores en la cobertura forestal (p.ej. cultivos de café bajo sombra).

Justificación

Históricamente el proceso de creación de áreas protegidas en Honduras se origina en 1952, con la declaratoria de la Reserva Forestal San Juancito como primera área protegida del país (hoy Parque Nacional La Tigra). En 1958 se aprueba el Decreto 13-58 para la protección de los Manglares del Golfo de Fonseca; posteriormente Mediante el Decreto No. 87-87 de 1987 se promulga la Ley de Bosques Nublados que crea 36 áreas protegidas, en su mayoría áreas de bosque nublado (10 parques nacionales, 8 refugios de vida silvestre, 18 reservas biológicas), para las cuales establece la conservación de los recursos naturales y la preservación de los ecosistemas. La Reserva Biológica Güisayote forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Honduras, con una extensión territorial de 14,081.80 hectáreas de las cuales 4,592.50 hectáreas pertenecen a la Zona Núcleo y 9,489.30 hectáreas a la Zona de Amortiguamiento. Está situada en la región de occidente particularmente en el departamento de Ocotepeque en jurisdicción de los municipios de La Labor, San Francisco del Valle, San Marcos, Mercedes, Sinuapa y Fraternidad y es una de las áreas protegidas declaradas a través del Decreto Legislativo No. 87-87, la que no está de acorde a las características adecuadas para dicha categoría, debido que en el área protegida anteriormente a la fecha de declaración existían comunidades, carretera pavimentada e instalación de antenas de radiocomunicación dentro de la zona núcleo. Es importante mencionar que el primer diagnóstico socioeconómico del AP se realizó. (Plan de manejo RBG).

El cambio climático se ha convertido en el mayor desafío ambiental del siglo XXI. En respuesta a esta problemática global, Honduras, junto con 196 países, es miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), comprometiéndose a llevar a cabo acciones para contrarrestar sus efectos. Los bosques desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático, ya que son el único medio eficiente para reducir las emisiones de carbono. Sin embargo, actualmente contribuyen a casi un sexto de las emisiones de carbono mundial debido a la deforestación, la explotación excesiva y la degradación. A pesar de esto, los bosques tienen el potencial de absorber hasta un décimo de las emisiones mundiales de carbono previstas para la primera mitad de este siglo, almacenando carbono en su biomasa, suelos y productos (FAO, 2020) . La representación gráfica y espacial de la cobertura forestal y el uso de la tierra a través de mapas es una herramienta esencial para la planificación, gestión y toma de decisiones en el marco del manejo forestal sostenible. Estos mapas son fundamentales para comprender las características biofísicas y ecosistémicas, y para impulsar decisiones técnicas y políticas en el uso del suelo a nivel nacional, regional y local.

La importancia de la cobertura boscosa en la Reserva biológica Güisayote no se limita únicamente a su riqueza biológica; también sirve como hábitat esencial para numerosas

especies endémicas y migratorias, muchas de las cuales se encuentran en peligro de extinción. Además, estos tipos de bosque desempeñan un papel clave en la regulación del clima local, la protección de fuentes de agua y la promoción de la sostenibilidad de las prácticas agrícolas tradicionales de las comunidades locales.

El análisis Multitemporal que se realiza en la reserva Biológica Güisayote nos lleva a analizar los cambios de coberturas boscosas y no boscosas en una temporalidad de los últimos siete años en once clases propuestas.

Este trabajo resulta fundamental para que los administradores de la Reserva biológica Güisayote puedan tomar decisiones para la protección y conservación del área protegida

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un análisis multitemporal de cobertura forestal y uso del suelo en la Reserva Biológica Güisayote, mediante la integración de datos satelitales y el conocimiento de actores locales, con el propósito de generar información técnica confiable que respalde la toma de decisiones basadas en la ganancia y perdida de bosque del área protegida en los últimos ocho años.

Objetivos específicos

1. Identificar y procesar imágenes satelitales (Sentinel-2) para los periodos 2017- 2025.

2. Entrenar un modelo de clasificación supervisada, a partir de las variables seleccionadas, utilizando el algoritmo Random Forest para la elaboración del análisis multitemporal en la Reserva Biológica Güisayote.

3. Validar la precisión y robustez de la clasificación mediante técnicas de evaluación cruzada.

Área de estudio

La Reserva Biológica Güisayote se localiza en el departamento de Ocotepeque a 12 km al este de la cabecera departamental, siendo jurisdicción de los municipios de La Labor, San Francisco del Valle, San Marcos de Ocotepeque, Mercedes, Sinuapa y Fraternidad; con una extensión territorial de 14,081.80 Hectáreas (ha) de las cuales 4,592.50 ha pertenecen a la zona núcleo e intocable lo que representa el 33% y 9,489.30 ha a la zona de amortiguamiento lo que representa el 67% respectivamente. Su punto más alto, tiene una elevación de 2,310 msnm.

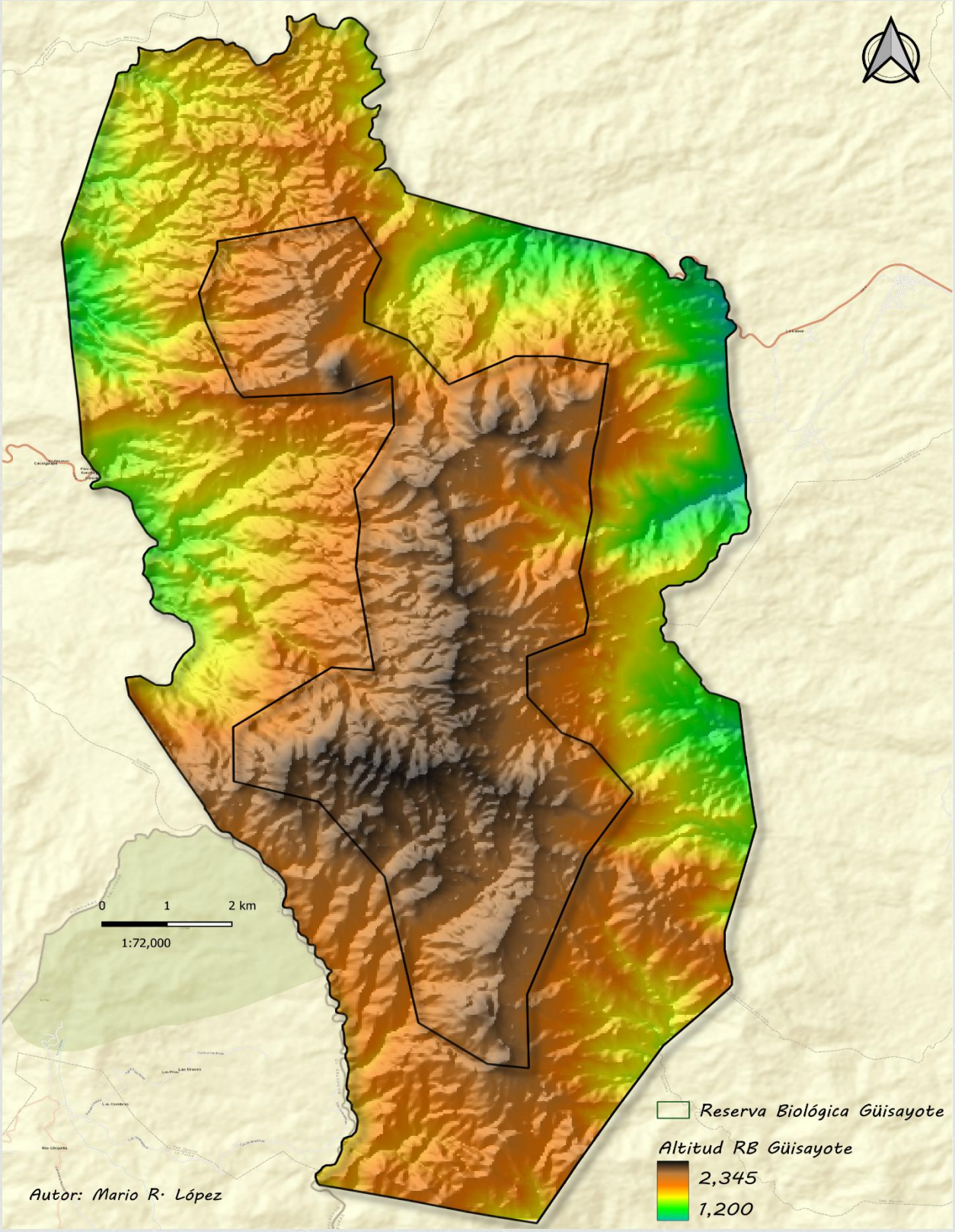
La RBG según demarcación física limita con: Al norte: Con Cerro de Los Ejidos y Cerro El Mecatal, jurisdicción de los municipios de Fraternidad y La Labor Ocotepeque respectivamente; Al Sur: Limita con Quebrada Las Cruces, Cerro La Begoña y San José de Las Lomas en el municipio de Mercedes Ocotepeque; Al Este: Limita con Cerro El Güisayote, Cerro El Chumelo, Cerro El Platanerito y Río Coloal en el municipio de San Francisco del Valle; Al Oeste: Limita con Río Sumpul, comunidad de Plan del Rancho, Quebrada La Danta y Departamento de Chalatenango República de El Salvador.

Reserva Biológica Güisayote cuenta con tres (3) ecosistemas vegetales terrestres según la clasificación de la UNESCO citada por Mejía y House (2006): Bosque tropical siempreverde estacional aciculifoliado, Montano inferior; Bosque tropical siempreverde estacional Latifoliado, Montano superior; Sistemas Productivos Antropogénicos.

Alberga una rica diversidad en flora y fauna, según el inventario de Fauna realizado se registró 591 especies de plantas vasculares, incluyendo árboles, arbustos, hierbas, epífitas, palmas, helechos, cactus, entre otras; distribuidas en 136 familias botánicas en la que se destaca la familia Orchidaceae como la más diversa con 63 especies.

El componente de fauna fue separado en grupos: anfibios se registran 10 especies, peces 2 especies aprovechadas por la población para suplir la alimentación ocasional, reptiles con un registro de 36 especies, aves con un reporte de avistamientos de 131 especies y mamíferos se registran 34 especies incluyendo roedores y voladores.

Mapa de Elevación de la Reserva Biológica Güisayote



Metodología

El análisis multitemporal de la Reserva Biológica Güisayote se basó en la metodología aplicada en la elaboración del Mapa de Cobertura Forestal y Usos de la Tierra 2024, adaptándola a las particularidades del área de estudio. El proceso integró datos de teledetección y SIG, empleando imágenes ópticas de Sentinel-2 y de radar Sentinel-1 GRD (polarizaciones VV y VH en órbitas ascendentes y descendentes), complementadas con información auxiliar proveniente del Modelo Digital de Elevación SRTM (pendiente y elevación).

Con el objetivo de garantizar la representatividad de las clases de cobertura, se generaron puntos de entrenamiento a partir de conocimiento local (de campo) y teledetección, los cuales fueron insumo clave para la implementación de un modelo de clasificación supervisada mediante Random Forest. Este algoritmo, ampliamente reconocido por su robustez y precisión en estudios de cobertura y uso de la tierra, permitió procesar de forma eficiente la información multiespectral, radar e índices espectrales (NDVI, EVI, SAVI, GNDVI, NDWI, MNDWI, NBR, NDRE1 y NDRE2, entre otros). El modelo fue optimizado a través de procesos de hiperparametrización y ajuste fino, asegurando un entrenamiento sólido y una clasificación confiable.

La validación del modelo se efectuó mediante un procedimiento de muestreo estratificado, destinando el 80% de los datos al entrenamiento y el 20% a la evaluación. La precisión fue evaluada mediante matriz de confusión e índice Kappa, complementada con la verificación espacial en plataformas interactivas como leaflet, lo que permitió garantizar tanto la consistencia estadística como la distribución geográfica adecuada de los datos.

Adicional al modelo de predicción espacial, se llevó a cabo un análisis complementario orientado a identificar; mediante la utilización de la calculadora ráster, las áreas de bosque que persisten, las ganancias de bosque, las áreas que han experimentado un cambio de uso y las que con el pasar del tiempo, presenta un no bosque persistente.

Finalmente, el análisis y los resultados obtenidos fueron revisados y validados por la Oficina Local de Ocotepeque y por el equipo de la Mancomunidad Güisayote, lo que respalda la solidez metodológica, la pertinencia institucional y la utilidad práctica del análisis para la toma de decisiones en la reserva biológica.

Definición de las clases y leyenda

Según el Mapa de Cobertura Forestal y Usos de la Tierra, Honduras 2024, se identificaron 10 categorías, agrupadas en dos clases:

MAPA 2018	MAPA 2024	ANÁLISIS
Bosque de Conífera Denso/Ralo	Bosque de Conífera	Bosque
Bosque Latifoliado Deciduo	Bosque Latifoliado Deciduo	
Bosque Latifoliado Húmedo	Bosque Latifoliado Siempre Verde	
Bosque Mixto	Bosque Mixto	
Cafetales	Café	No Bosque
Pastos/Cultivos	Cultivos de Ciclo Corto	
	Pastizales	
Suelo Desnudo Continental	Suelo	
Vegetación Secundaria Decidua/Húmeda	Vegetación Arbustiva/Matorral	
Zona Urbanizada Continua/Discontinua	Asentamientos	

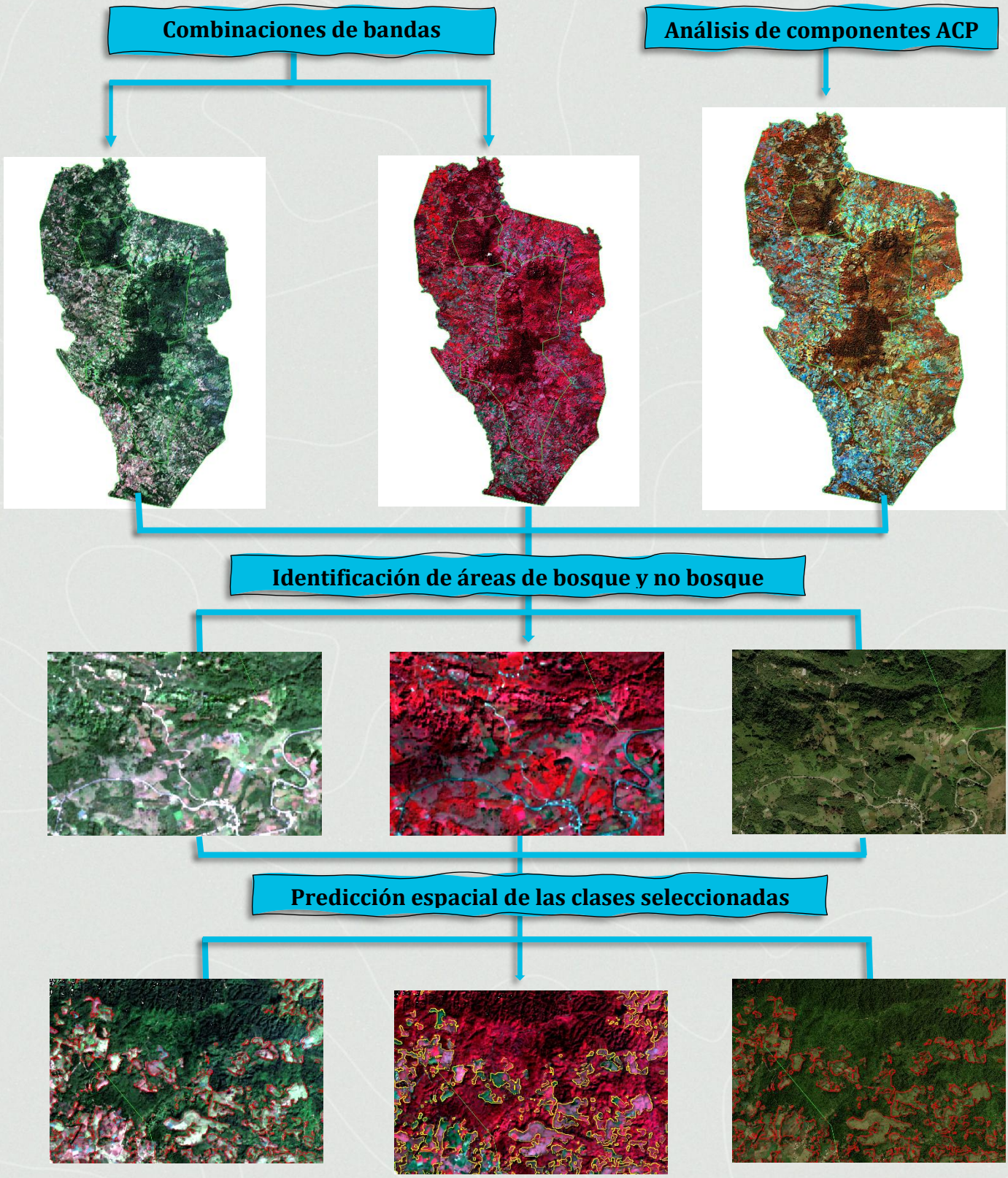
Cuadro de leyenda de las clase bosque y no bosque

Valor	Clase	Color	Código HEX	RGB
0	Bosque	Verde intenso	#2EAE48	(46, 174, 72)
1	No bosque	Rojo oscuro	#B0151A	(176, 21, 26)

Definición de leyenda de los mapas de cambio

Valor	**Clase**	**Color**	**Código HEX**	**RGB**
0	Bosque persistente	Verde oscuro	#006400	(0, 100, 0)
1	**Cambio** de uso	Rojo intenso	#FF0000	(255, 0, 0)
2	**Ganancia** de bosque	verde brillante	#4DAF4A	(77, 175, 74)
3	No bosque persistente	Gris medio	#A9A9A9	(169, 169, 169)

Diagrama de flujo utilizado para la clasificación de coberturas



Fórmulas utilizadas para los cálculos estadísticos

Para procesar los resultados es necesaria la aplicación de formular que se adapten a los datos que se quieren reflejar, en ese sentido, para el presente análisis multitemporal se muestran las formulares empleadas:

1.Fórmula para calcular la ganancia de bosque (%), porcentaje de ganancia de bosque respecto al área total del municipio dentro de la reserva.

$$\boldsymbol{Ganancia\ de\ bosque}(\%) = \left(\frac{Ganancia\ de\ bosque(ha)}{Área\ total\ del\ municipio(ha)}\right) * 100$$

2.Fórmula para calcular el cambio de uso (%), porcentaje del área que cambió de uso respecto al total del municipio dentro de la reserva.

$$\boldsymbol{Cambio\ de\ uso}(\%) = \left(\frac{Cambio\ de\ uso(ha)}{Área\ total\ del\ municipio(ha)}\right) * 100$$

3.Fórmula para calcular el bosque persistente (%), porcentaje del área del municipio que mantiene cobertura boscosa.

$$\boldsymbol{Bosque\ persistente}(\%) = \left(\frac{Bosque\ persistente(ha)}{Área\ total\ del\ municipio(ha)}\right) * 100$$

4.Fórmula para calcular el no bosque persistente (%), Porcentaje del área no boscosa estable.

$$\boldsymbol{No\ bosque\ persistente}(\%) = \left(\frac{No\ bosque\ persistente(ha)}{Área\ total\ del\ municipio(ha)}\right) * 100$$

5.Fórmula para calcular el factor de ponderación, proporción del área municipal respecto al área total dentro de la reserva; útil para ponderar contribuciones.

$$\boldsymbol{Factor\ de\ ponderación(Fp)} = \left(\frac{Área\ total\ del\ municipio(ha)}{Área\ total\ de\ la\ RBG(ha)}\right)$$

6.Fórmula para calcular el índice de ganancia neta, balance neto de ganancia o pérdida de cobertura forestal en relación con el tamaño del municipio.

$$\boldsymbol{\acute{I}ndice\ de\ ganancia\ neta(IGN)} = \left(\frac{Ganancia\ de\ bosque - Cambio\ de\ uso}{\acute{A}rea\ total\ del\ municipio}\right)$$

7.Fórmula para calcular el índice de estabilidad forestal, relación entre áreas estables y áreas que han experimentado un cambio; valores más altos indican mayor estabilidad.

$$\boldsymbol{\acute{I}ndice\ de\ estabilidad\ forestal(IEF)} = \left(\frac{\acute{A}rea\ de\ bosque\ persistente}{\acute{A}rea\ de\ bosque\ persistente + Cambio\ de\ uso}\right)$$

Interpretación de los índices

Interpretación del índice de ganancia

Valor del índice	Significado ecológico	Interpretación
> 0	Ganancia neta de cobertura boscosa	El municipio muestra recuperación forestal neta.
= 0	Equilibrio	La ganancia y pérdida se compensan; no hay tendencia neta.
< 0	Pérdida neta de cobertura boscosa	El municipio tiene más deforestación que regeneración.

Nota: *Este cuadro muestra la forma correcta de interpretar los resultados del índice de ganancia. Cabe recalcar que los municipios con valores negativos requieren medidas/acciones de restauración o control de cambio de uso.*

Interpretación del índice de estabilidad forestal

Valor del índice	Nivel de estabilidad	Interpretación
> 0.8 (80%)	Alta estabilidad	El bosque se ha mantenido en gran proporción.
0.5 – 0.8 (entre 50-80%)	Estabilidad moderada	Hay cierta presión, pero aún se conserva buena parte del bosque.
< 0.5 (menor del 50%)	Baja estabilidad	Alta transformación o pérdida de bosque.

Nota: *Este índice evalúa/resalta la proporción de conservación frente a transformaciones. Refleja la estabilidad de la cobertura forestal, comparando el área que se mantuvo como bosque frente al área que experimentó un cambio de uso.*

Resultados

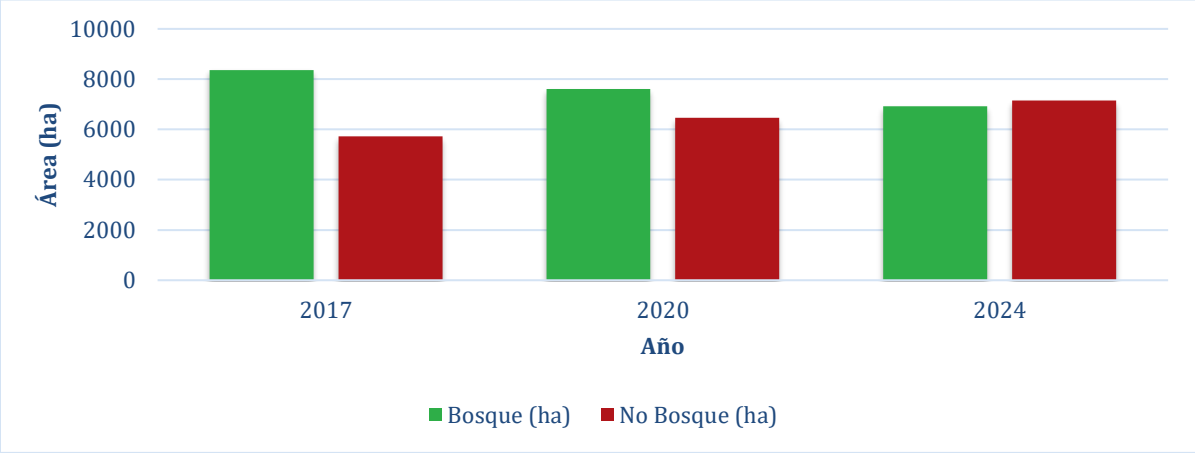
Resultados generales

Cuantificación de coberturas por año

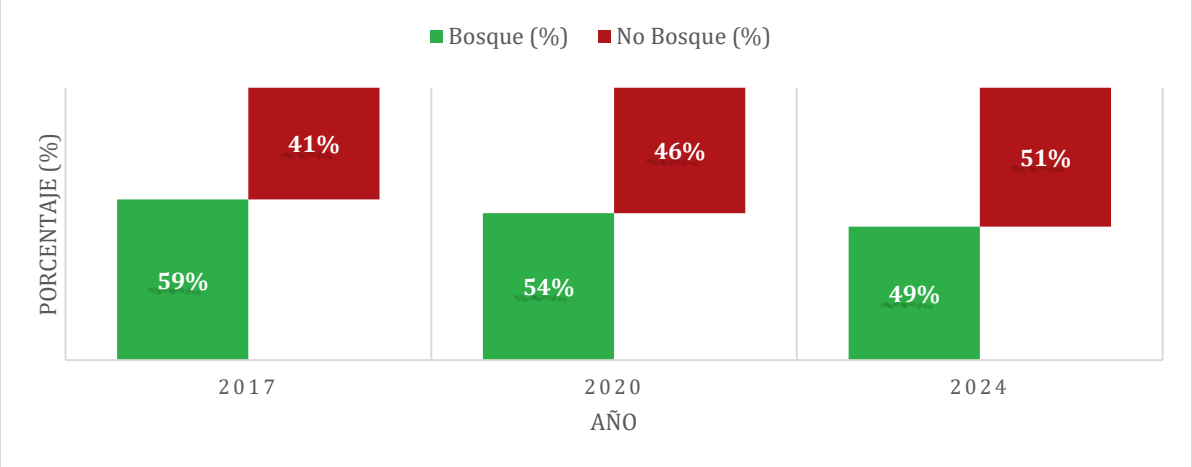
	Uso del suelo 2017		Uso del suelo 2020		Uso del suelo 2024	
Clase	**Área (ha)**	**Porcentaje (%)**	**Área (ha)**	**Porcentaje (%)**	**Área (ha)**	**Porcentaje (%)**
Bosque	8357.62	59%	7612.97	54%	6923.88	49%
No Bosque	5718.07	41%	6462.72	46%	7151.81	51%
Total	14075.69	100%	14075.69	100%	14075.69	100%

Nota: *De forma general se puede observar que hay una relación directa entre ganancia de cobertura forestal o perdidas de esta, mostrando una tendencia en disminución del 5% cada hito (año representado en el análisis), lo que indica una disminución aproximada de 179.2175 hectáreas anuales en la RBG, es decir, el 1.27% del área total. Cabe recalcar que esas pérdidas no representan en su totalidad deforestación, sino también, cambios de uso sin modificaciones mayores en la cobertura forestal (pj. Cultivos de café bajo sombra). Por tanto, el próximo paso en dicho análisis, es la realización de un análisis alterno, el cual explique la curva de respuesta a esas pérdidas o ganancias.*

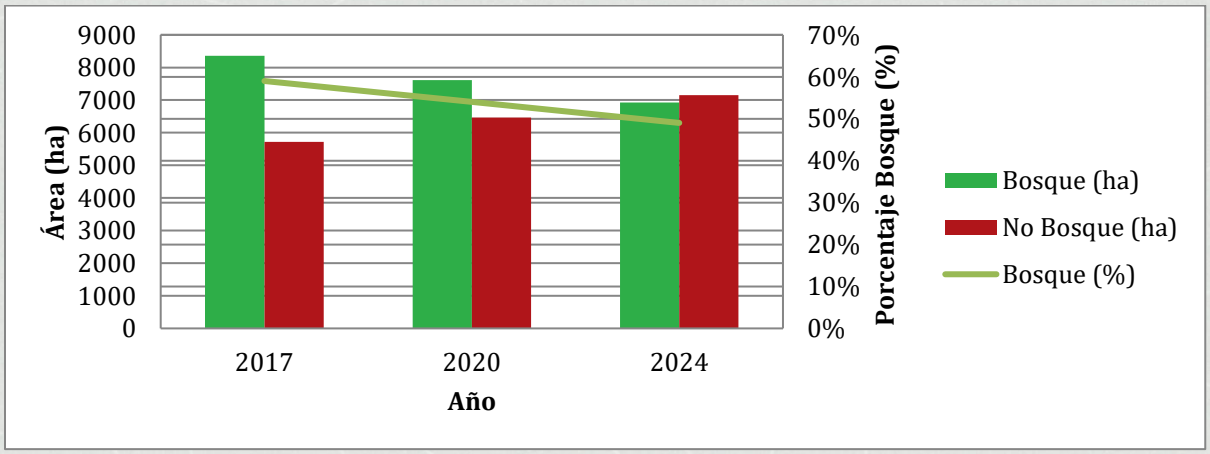
Comparación de superficie de coberturas por año



Distribución porcentual de coberturas por año



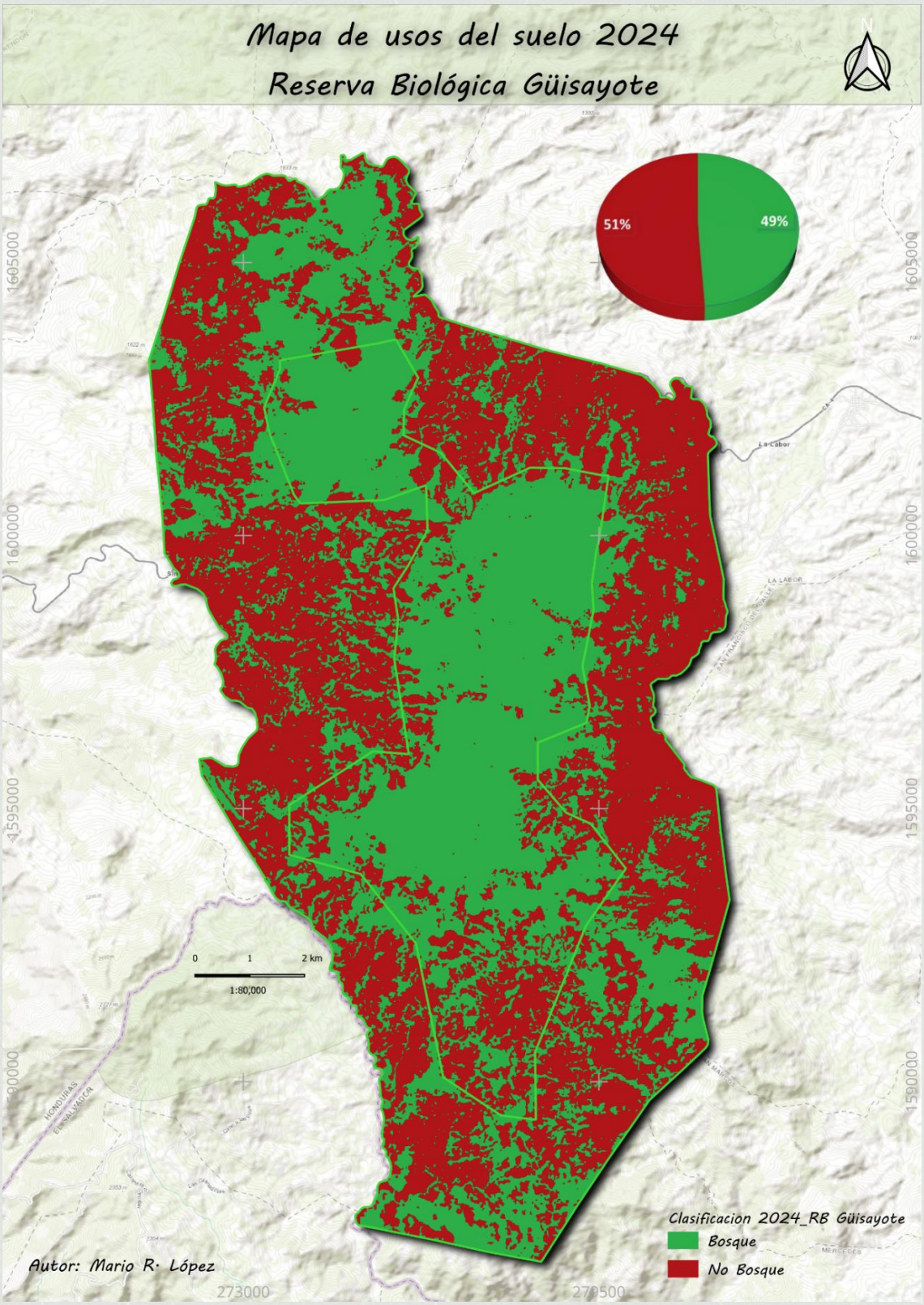
Evolución de las coberturas (bosque y no bosque) en porcentajes y hectáreas



Mapa Usos de Suelo 2017

Mapa Uso de Suelo 2020

Mapa Uso de Suelo 2024



Resultados Específicos

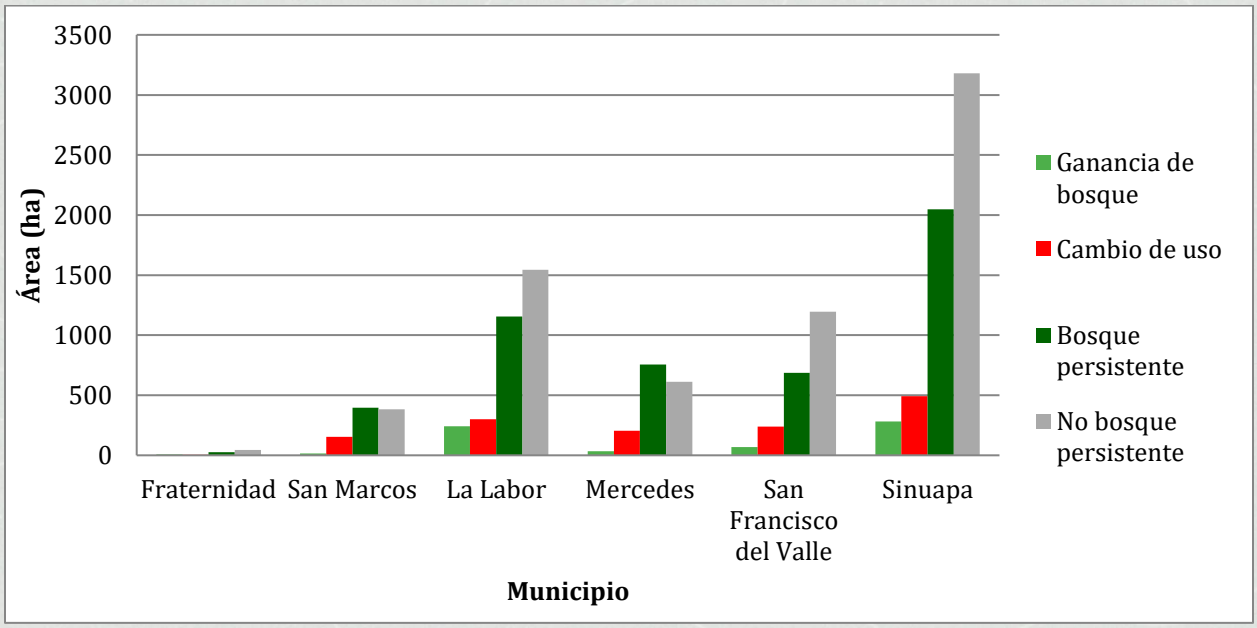
Tablas de interpretaciones estadísticas (2017-2020)

Base de datos multitemporal por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (Comparativo 2017–2020)

Municipio	Ganancia de bosque	Cambio uso	Bosque persistente	No bosque persistente	Total (ha)
Fraternidad	6.582	5.2785	25.5076	45.6173	82.99
San Marcos	16.3237	153.3961	396.2004	383.6261	949.55
La Labor	242.9966	300.9202	1155.8649	1545.532	3245.32
Mercedes	34.401	204.5957	756.3766	612.8669	1608.24
San Francisco del Valle	67.7145	237.794	686.8628	1194.7381	2187.11
Sinuapa	281.1445	491.6782	2047.6075	3180.8196	6001.25

Nota: *Los valores corresponden a los resultados base; derivados del análisis multitemporal en QGIS, utilizando herramientas de estadística group stats por municipio dentro de la RB Güisayote. Representan la superficie (en hectáreas) de las clases ganancia de bosque, cambio de uso, bosque persistente y no bosque persistente, que sirven como base para los cálculos de ponderación e índices de estabilidad y tendencia forestal.*

Cobertura por municipio (2017-2020)

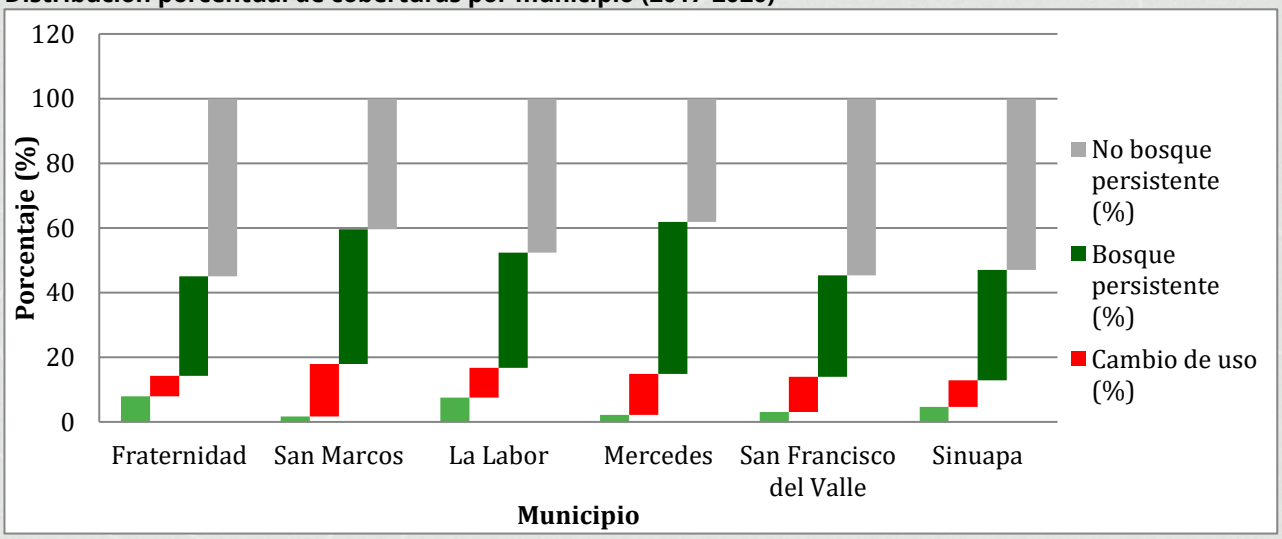


Análisis multitemporal porcentual por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (2017–2020)

Municipio	Total (%)	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente
Fraternidad	1%	7.93	6.360404868	30.7357513	54.96722497
San Marcos	7%	1.72	16.15461008	41.72506977	40.40083197
La Labor	23%	7.49	9.272435384	35.61636141	47.62340848
Mercedes	11%	2.14	12.72171442	47.03132617	38.10792543
San Francisco del Valle	16%	3.10	10.87252127	31.40504136	54.62633795
Sinuapa	43%	4.68	8.192929806	34.1196834	53.00261779

Nota: *El análisis multitemporal porcentual revela una dinámica diferenciada de la cobertura forestal en la RB Güisayote entre 2017 y 2020.* ***Sinuapa*** *y* ***La Labor*** *concentran la mayor proporción territorial del área analizada, manteniendo un equilibrio entre bosque persistente y zonas no boscosas, lo que refleja procesos simultáneos de conservación y presión antrópica. Municipios como* ***Fraternidad*** *y* ***San Francisco del Valle*** *presentan mayores porcentajes de áreas no boscosas, evidenciando mayor transformación del paisaje. En contraste,* ***Mercedes*** *y* ***San Marcos*** *muestran un grado intermedio de estabilidad forestal.*

Distribución porcentual de coberturas por municipio (2017-2020)

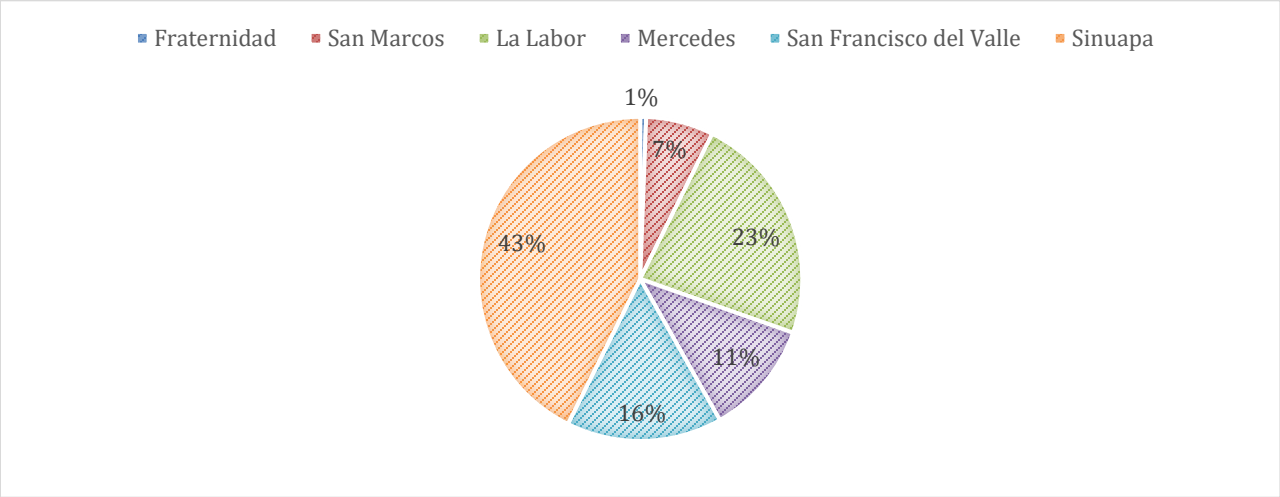


Ponderación del cambio de cobertura forestal por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (2017–2020)

Municipio	Total (ha)	Fact. Ponderación	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente
Fraternidad	82.99	0.005896496	0.038810738	0.031124655	0.150405467	0.268982236
San Marcos	949.55	0.067466176	1.101297622	10.34904833	26.73012605	25.8817861
La Labor	3245.32	0.230582204	56.03069147	69.3868428	266.5218756	356.3721742
Mercedes	1608.24	0.114266551	3.930883618	23.37844497	86.42854526	70.03018682
San Francisco del Valle	2187.11	0.15539566	10.52253942	36.95215556	106.7354981	185.6571155
Sinuapa	6001.25	0.426392913	119.8780224	209.6481	873.0853269	1356.278935

Nota: *El análisis ponderado del cambio de cobertura forestal en la RB Güisayote (2017–2020) evidencia una marcada concentración de la dinámica territorial en los municipios de* ***Sinuapa*** *y* ***La Labor****, que, con los mayores factores de ponderación, aportan más del 65 % de la superficie analizada y reflejan tanto procesos de recuperación forestal como intensas transformaciones por cambio de uso.* ***San Francisco del Valle*** *y* ***Mercedes*** *presentan contribuciones intermedias, con una tendencia mixta entre persistencia boscosa y conversión de suelo. En contraste,* ***Fraternidad*** *y* ***San Marcos*** *poseen una incidencia menor en la variación total, actuando como zonas de estabilidad relativa.*

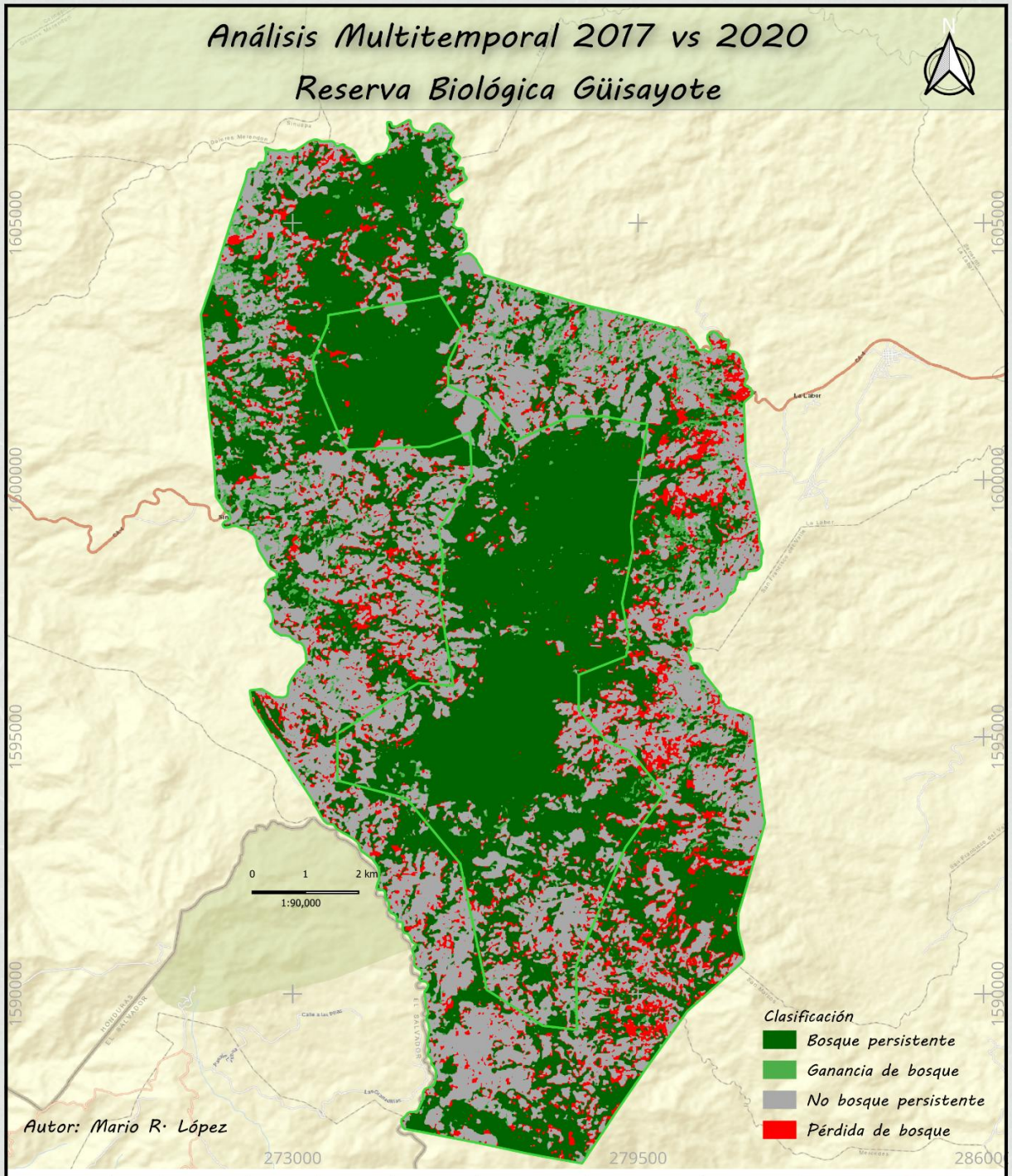
Distribución ponderada de cobertura por municipio



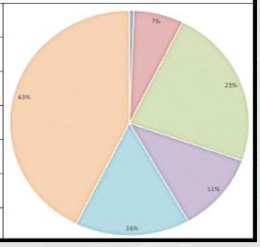
Interpretación de los índices ponderados por municipio (2017-2020) en la Reserva Biológica Güisayote

Municipio	Índice Ganancia/Pérdida Neta	Índice de Estabilidad	Clasificación Estabilidad	Clasificación Tendencia	Interpretación técnica
Fraternidad	0.015706712	0.828542751	Alta estabilidad	Tendencia positiva (ganancia neta)	Presenta alta estabilidad (83%) y una ligera ganancia neta de bosque. Sin embargo, la representatividad tomando en cuenta la representación respecto al área protegida es reducida (1% del total), pero refleja procesos de regeneración y conservación activa
San Marcos	-0.144355116	0.720893237	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Exhibe estabilidad media (72%) y una pérdida neta considerable. Aunque aporta solo el 7% del área total, la reducción de bosque sugiere presiones antrópicas localizadas asociadas al cambio de uso del suelo
La Labor	-0.017848348	0.793435422	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Registra una leve pérdida forestal (−0.018) y estabilidad moderada (79%). Con un 23% del área de análisis, su dinámica influye de forma significativa en el balance general de la reserva
Mercedes	-0.10582668	0.787095112	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Mantiene estabilidad intermedia (79%) pese a una pérdida forestal moderada/moderada. Representa alrededor del 11% del área, con presiones dispersas vinculadas al cambio de uso
San Francisco del Valle	-0.077764493	0.742829988	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Presenta estabilidad moderada (74%) y pérdidas netas leves. Su 16% de participación en el área total de la reserva indica una contribución relevante a la dinámica general del paisaje forestal
Sinuapa	-0.035081641	0.806371453	Alta estabilidad	Tendencia negativa (pérdida neta)	Destaca por su alta estabilidad (81%) y ligera pérdida neta (−0.035). Con más del 42% del área total, es el municipio que más influye en la tendencia global del bosque dentro de la reserva. Siendo este el municipio con más área dentro de la misma

Mapa de cambio 2017-2020



Municipio	Total (ha)	Fact. Ponderación	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente	Indice de Ganancia Neta	Indice de Estabilidad
Fraternidad	82.99	0.005896496	0.038810738	0.031124655	0.150405467	0.268982236	0.015706712	0.828542751
San Marcos	949.55	0.067466176	1.101297622	10.34904833	26.73012605	25.8817861	-0.144355116	0.720893237
La Labor	3245.32	0.230582204	56.03069147	69.3868428	266.5218756	356.3721742	-0.017848348	0.793435422
Mercedes	1608.24	0.114266551	3.930883618	23.37844497	86.42854526	70.03018682	-0.10582668	0.787095112
San Francisco del Valle	2187.11	0.15539566	10.52253942	36.95215556	106.7354981	185.6571155	-0.077764493	0.742829988
Sinuapa	6001.25	0.426392913	119.8780224	209.6481	873.0853269	1356.278935	-0.035081641	0.806371453



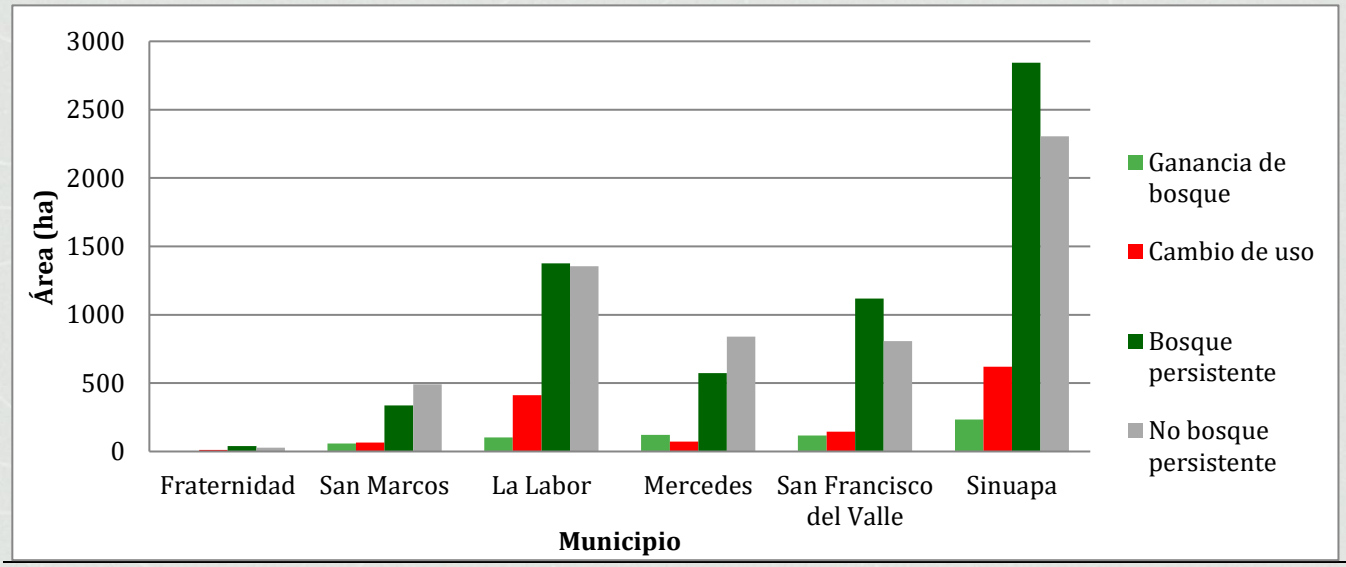
Tablas de interpretaciones estadísticas (2020-2024)

Base de datos multitemporal por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (Comparativo 2020–2024)

Municipio	Ganancia de bosque	Cambio uso	Bosque persistente	No bosque persistente	Total (ha)
Fraternidad	3.0949	11.8384	40.3607	27.6913	82.99
San Marcos	58.6347	64.2137	335.7381	490.9613	949.55
La Labor	101.9394	411.418	1377.1134	1354.8443	3245.32
Mercedes	122.0131	73.2545	574.0172	838.9593	1608.24
San Francisco del Valle	116.9276	144.883	1117.5727	807.7307	2187.11
Sinuapa	233.4203	619.5746	2842.3928	2305.8646	6001.25

Nota: *Los valores corresponden a los resultados brutos derivados del análisis multitemporal en QGIS, utilizando herramientas de estadística group stats por municipio dentro de la RB Güisayote. Representan la superficie (en hectáreas) de las clases ganancia de bosque, cambio de uso, bosque persistente y no bosque persistente, que sirven como base para los cálculos de ponderación e índices de estabilidad y tendencia forestal.*

Cobertura por municipio (2020-2024)

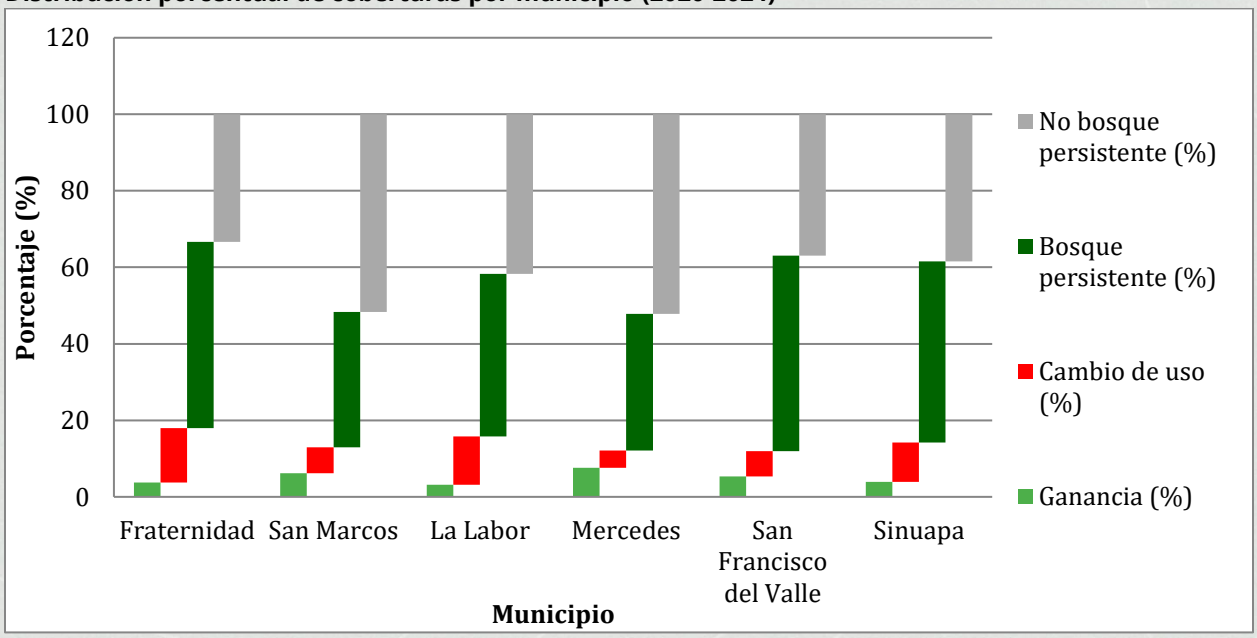


Análisis multitemporal porcentual por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (2020–2024)

Municipio	Total (%)	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente
Fraternidad	1%	3.73	14.26485119	48.63320882	33.36703217
San Marcos	7%	6.17	6.762540151	35.35760097	51.70462851
La Labor	23%	3.14	12.67727065	42.43382471	41.74763352
Mercedes	11%	7.59	4.554948266	35.69225986	52.16629981
San Francisco del Valle	16%	5.35	6.624403894	51.09814778	36.93141634
Sinuapa	43%	3.89	10.32409248	47.36334597	38.42307186

Nota: *Los resultados evidencian una* ***predominancia del bosque persistente*** *en la mayoría de los municipios de la* ***RB Güisayote****, con mayores valores en San Francisco del Valle y Mercedes, que reflejan* ***buenas condiciones de conservación****. En contraste, Fraternidad y La Labor presentan* ***mayores porcentajes de cambio de uso****, asociados a procesos de transformación del paisaje. Sinuapa, por su amplia extensión,* ***incide de forma determinante en la tendencia general****, mostrando una estabilidad intermedia con presiones moderadas.*

Distribución porcentual de coberturas por municipio (2020-2024)

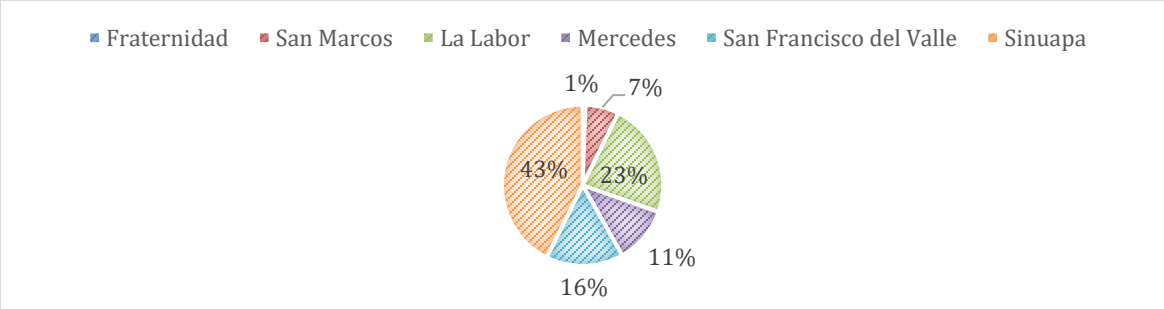


Ponderación del cambio de cobertura forestal por municipio en la Reserva Biológica Güisayote (2020–2024)

Municipio	Total (ha)	Factor de Ponderación	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente
Fraternidad	82.99	0.005896496	0.018249066	0.069805081	0.237986714	0.163281645
San Marcos	949.55	0.067466176	3.955859009	4.332252807	22.65096585	33.12328163
La Labor	3245.32	0.230582204	23.50541148	94.865669	317.5378423	312.4029841
Mercedes	1608.24	0.114266551	13.9420161	8.370539053	65.5909656	95.86498556
San Francisco del Valle	2187.11	0.15539566	18.17004157	22.5141894	173.6659472	125.5178452
Sinuapa	6001.25	0.426392913	99.5287617	264.1822186	1211.976146	983.2043241

Nota: *Los resultados muestran que **Sinuapa** concentra la mayor contribución territorial (42.6%) y, por tanto, ejerce una influencia significativa en la dinámica forestal total. **La Labor y San Francisco del Valle** presentan también aportes relevantes, evidenciando altos valores de bosque persistente, mientras que Mercedes destaca por su equilibrio entre ganancia y conservación. En contraste, **Fraternidad y San Marcos**, aunque de menor medida, reflejan patrones de cambio más localizados.*

Distribución ponderada de cobertura por municipio

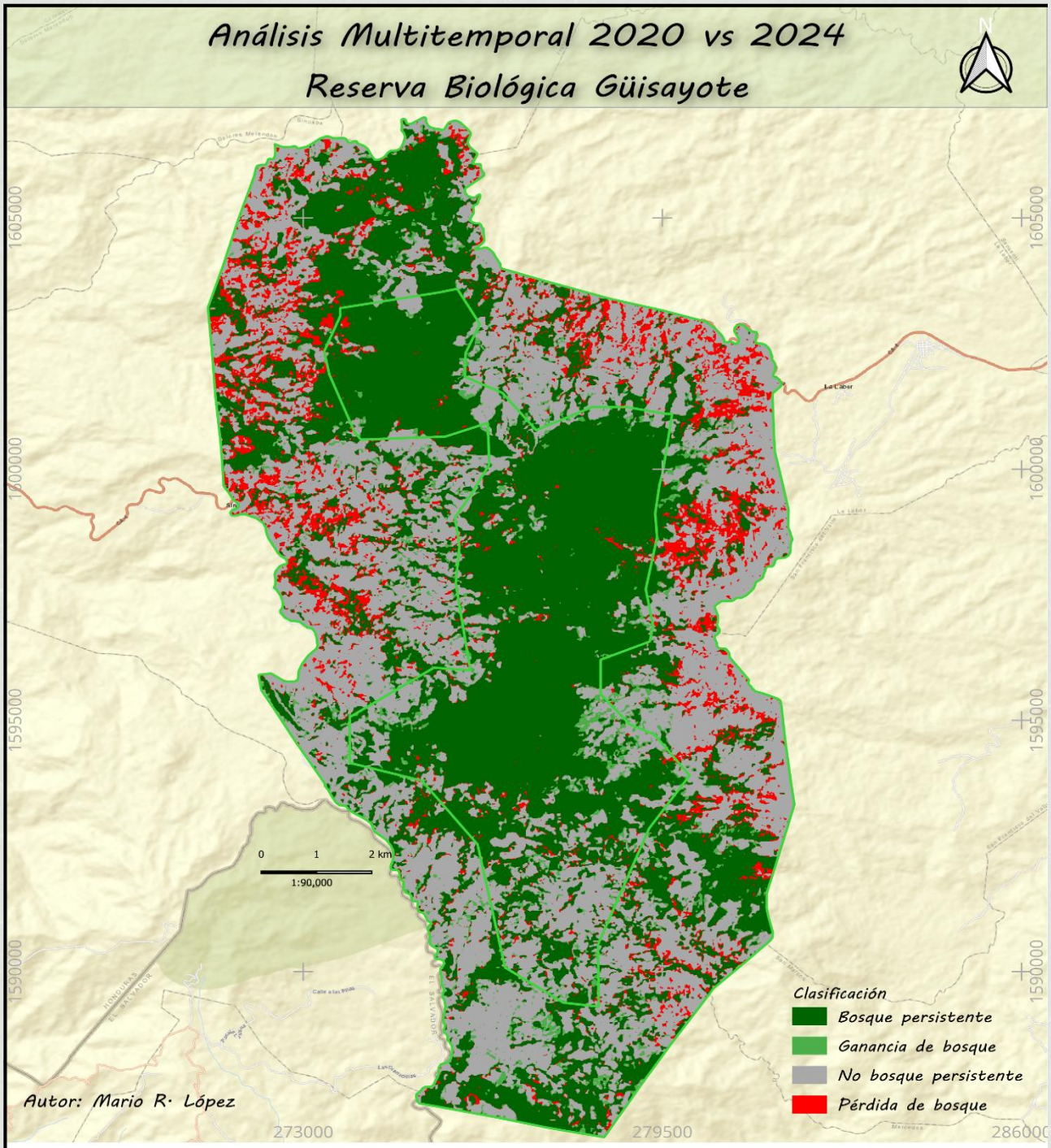


Interpretación de los índices ponderados por municipio (2020-2024) en la Reserva Biológica Güisayote

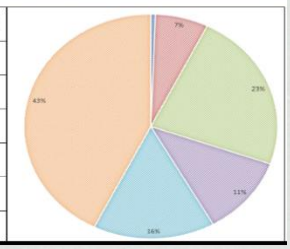
Municipio	Índice ganancia/pérdida neta	Índice de estabilidad	Clasificación Estabilidad	Clasificación Tendencia	Interpretación técnica
Fraternidad	−0.1054	0.7732	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Aunque presenta un nivel de estabilidad intermedio (77%), el valor negativo del índice neto indica que la pérdida de bosque supera la ganancia. Dada su baja superficie (0.6% del total), su aporte al cambio general es bajo, pero proporcionalmente su presión por cambio de uso es alta.
San Marcos	−0.0059	0.8394	Alta estabilidad	Tendencia negativa (pérdida neta)	Presenta buena estabilidad forestal (84%), con un balance neto casi neutro. Su tendencia negativa es leve, lo que sugiere presiones localizadas más que un proceso de deforestación general. Contribuye en un 6.7% al total del área de análisis.
La Labor	−0.0954	0.7700	Estabilidad moderada	Tendencia negativa (pérdida neta)	Registra pérdidas netas significativas, con estabilidad moderada. Aporta más del 23% del área total, lo que convierte a este municipio en uno de los mayores contribuyentes a la deforestación neta de la reserva.
Mercedes	0.0303	0.8868	Alta estabilidad	Tendencia positiva (ganancia neta)	Municipio con mejor desempeño: alta estabilidad (89%) y tendencia positiva. Esto refleja procesos de regeneración o consolidación del bosque, aportando al balance global pese a representar solo el 11% del área total.
San Francisco del Valle	−0.0128	0.8852	Alta estabilidad	Tendencia negativa (pérdida neta)	Muestra alta estabilidad (88%) y pérdidas mínimas (−0.0128). El bosque se mantiene en su mayoría, aunque se observan pequeños focos de transformación. Contribuye en un 15.5% al área total.
Sinuapa	−0.0643	0.8210	Alta estabilidad	Tendencia negativa (pérdida neta)	A pesar de su buena estabilidad (82%), tiene pérdidas netas moderadas (−0.064). Al representar el 42.6% del área total, Sinuapa domina la dinámica forestal de la reserva; las variaciones en su cobertura influyen fuertemente en el balance general.

Nota: *La RB Güisayote mantiene una alta estabilidad forestal general, con procesos de recuperación en Mercedes y presiones de cambio en La Labor y Fraternidad. Sinuapa, por su gran extensión, define la tendencia global, evidenciando pérdidas moderadas que influyen en el balance total del bosque.*

Mapa de cambio (2020-2024)



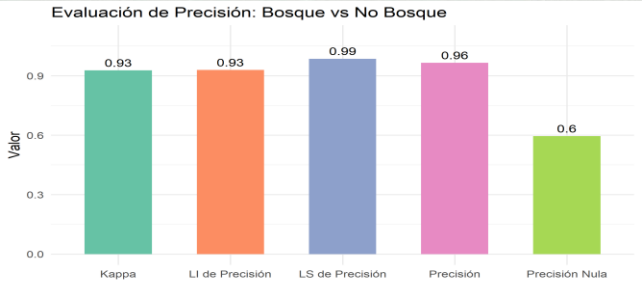
Municipio	Total (ha)	Fact. Ponderación	Ganancia	Cambio de uso	Bosque Persistente	No Bosque Persistente	Indice de Ganancia Neta	Indice de Estabilidad
Fraternidad	82.99	0.005896496	0.018249066	0.069805081	0.237986714	0.163281645	-0.105356067	0.773206818
San Marcos	949.55	0.067466176	3.955859009	4.332252807	22.65096585	33.12328163	-0.005875415	0.839446403
La Labor	3245.32	0.230582204	23.50541148	94.865669	317.5378423	312.4029841	-0.095361505	0.769968814
Mercedes	1608.24	0.114266551	13.9420161	8.370539053	65.5909656	95.86498556	0.030317987	0.886825733
San Francisco del Valle	2187.11	0.15539566	18.17004157	22.5141894	173.6659472	125.5178452	-0.01278189	0.885237161
Sinuapa	6001.25	0.426392913	99.5287617	264.1822186	1211.976146	983.2043241	-0.064345645	0.821033959

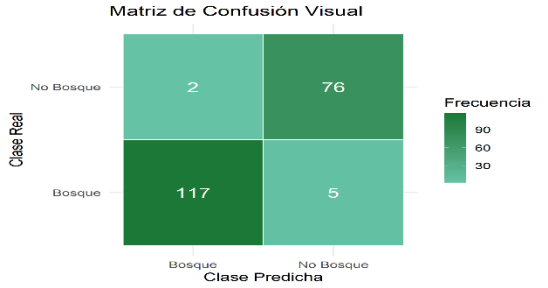


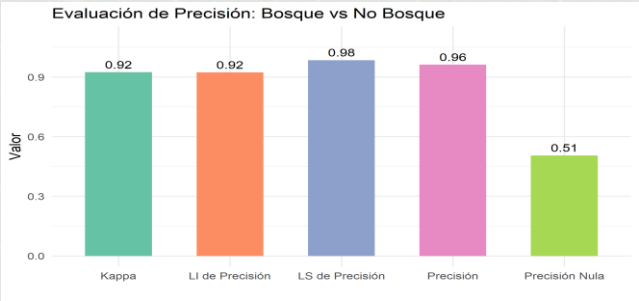
Evaluación del modelo de predicción

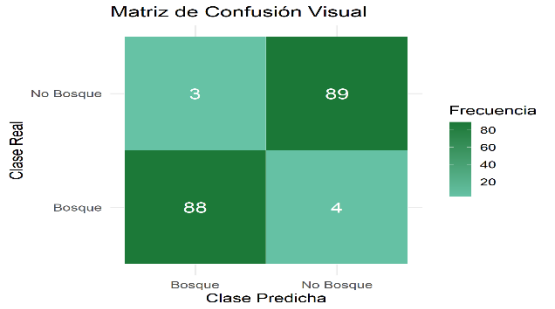
Después de obtener el modelo de predicción, a partir de las observaciones independientes al entrenamiento, se procedió a desarrollar la evaluación del modelo. En la siguiente tabla se presentan los estadísticos para cada clasificación por hito(año):

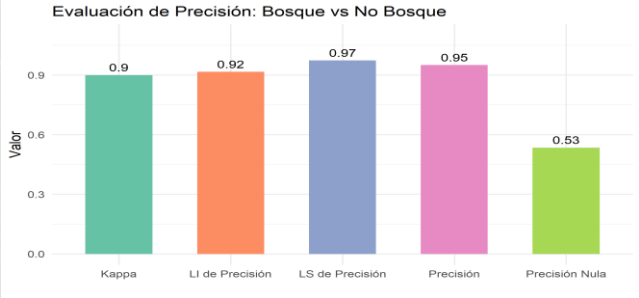
Hito/Año	Precisión	Kappa	p-valor significancia
2017	0.96	0.93	0.00000
2020	0.96	0.92	0.00000
2024	0.95	0.90	0.00000

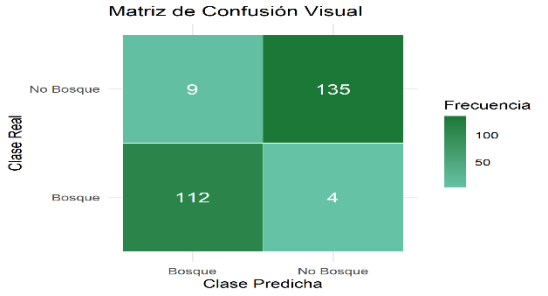












Finalmente, se presenta la tabla de precisión general, la cual muestra la precisión total del modelo de predicción, el valor del índice Kappa obtenido y el p-valor de significancia.

Ubicación	Precisión	Kappa	p-valor significancia
RB Güisayote	0.95	0.92	0.00000

Conclusiones y recomendaciones

1 En 2017 y 2020 los resultados muestran que **Sinuapa** concentra la mayor contribución territorial (42.6%) y, por tanto, ejerce una influencia significativa en la dinámica forestal total. **La Labor y San Francisco del Valle** presentan también aportes relevantes, evidenciando altos valores de bosque persistente, mientras que **Mercedes** destaca por su equilibrio entre ganancia y conservación. En contraste, **Fraternidad y San Marcos**, aunque de menor medida, reflejan patrones de cambio más localizados.

2 La Reserva Biológica Güisayote mantiene una alta estabilidad forestal general; obteniendo un **promedio ponderado en índice de estabilidad de aproximadamente 0.83**. Sin embargo, el índice neto promedio ponderado es negativo (≈ −0.042), evidenciando una considerable pérdida neta de bosque a nivel total, pese a que algunos municipios (como Mercedes) muestran recuperación local.

3 Los municipios de **Sinuapa y La Labor** concentran la mayor contribución al cambio neto negativo, por su gran extensión y mayor presión por cambio de uso. Evidenciando pérdidas moderadas que influyen en el balance total del bosque en la RB Güisayote.

4 De forma general se puede evidenciar la relación directa entre ganancia de cobertura forestal y perdidas de esta. Mostrando una tendencia en disminución de bosque, representando **una pérdida de 179.2175 hectáreas anuales** en la Reserva Biológica Güisayote, es decir, el **1.27%** del área total. Cabe recalcar que esas pérdidas no representan en su totalidad deforestación, sino también, cambios de uso sin modificaciones mayores en la cobertura forestal (p.ej. cultivos de café bajo sombra).

5 El Análisis Multitemporal en la Reserva Biológica Güisayote es una herramienta esencial para la planificación y gestión sostenible de los recursos naturales en dicha área protegida. Este análisis no solo facilita el monitoreo de los cambios de uso y la persistencia del bosque, sino que también, **apoya la toma de decisiones informadas** en el manejo de la reserva biológica, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

6 Es fundamental continuar con la capacitación del personal técnico en el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Fortalecer las capacidades técnicas de los profesionales mejorará las capacidades locales y a su vez, garantizará la sostenibilidad del proyecto y la calidad de los datos generados.

7 Realizar una validación de campo a los puntos de control de prueba utilizados en la evaluación, mismos que representaron el 20% estratificado. Así también, se recomienda una validación interinstitucional en aras de una coordinación efectiva y una validación conjunta entre los comanejantes del área protegida.

Bibliografías

Belda, I. S. (2017). *Análisis comparativo de la fragmentación de zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2.* Universitat Politècnica de València, España.

Condori-Luna Ismael Junior, L.-M. M.-P.-V. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico. *JSARS*, 20.

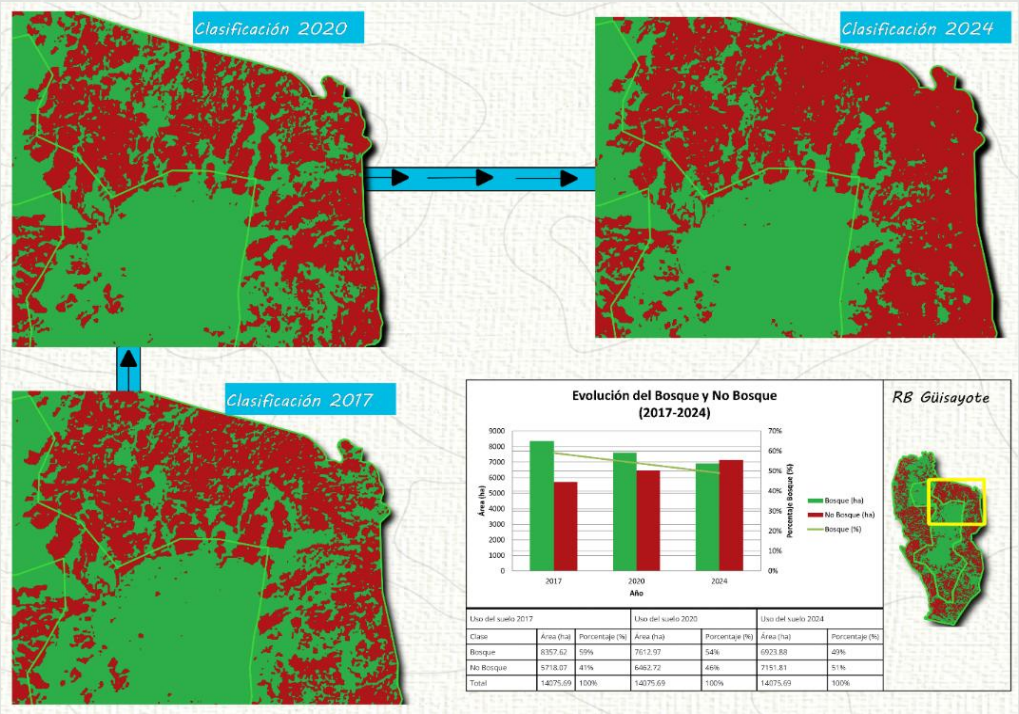
ICF. (2023). *Plan de Manejo Reserva Biológica Güisayote.* Sinuapa, Ocotepeque.

ICF. (2024). *Protocolo Metodológico, Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra, Honduras 2024.* Comayaguela, M.D.C. .

V. Ruiz, R. S. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Asociación Española de Ecologia Terrestre* , 7.

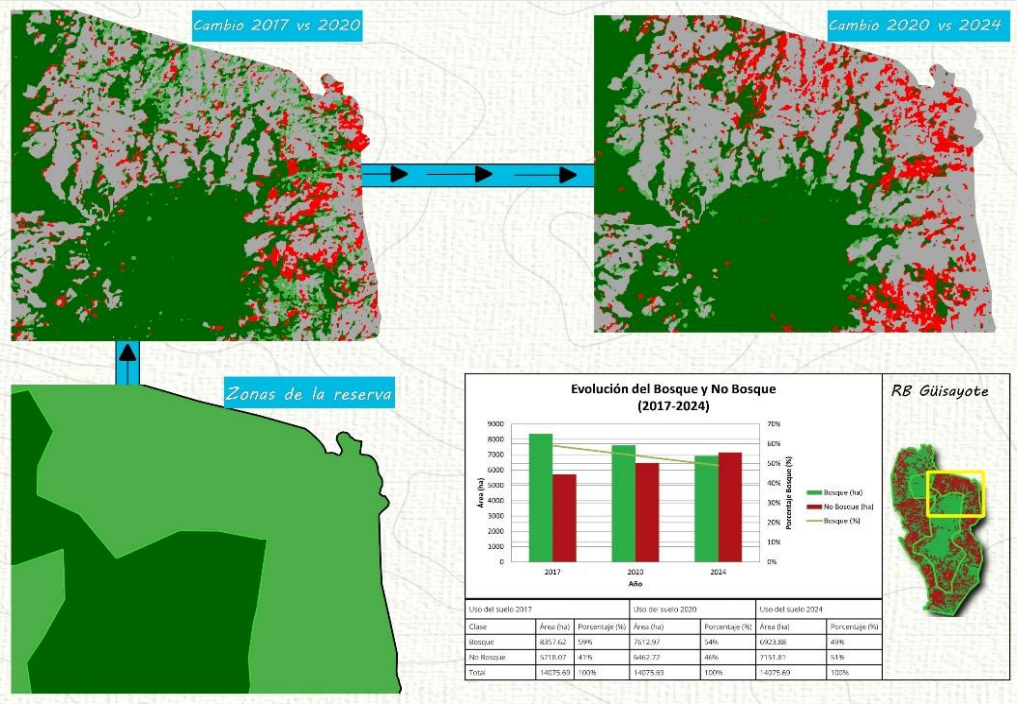
Anexos

Diferencia de evolución de Bosque y No Bosque (2017-2020-2025)



Uso del suelo 2017			Uso del suelo 2020		Uso del suelo 2024	
Clase	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	8357.62	59%	7612.97	54%	6923.88	49%
No Bosque	5718.07	41%	6462.72	46%	7151.81	51%
Total	14075.69	100%	14075.69	100%	14075.69	100%

Cambios de cobertura entre el 2017 y 2024.



Uso del suelo 2017			Uso del suelo 2020		Uso del suelo 2024	
Clase	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	8357.62	59%	7612.97	54%	6923.88	49%
No Bosque	5718.07	41%	6462.72	46%	7151.81	51%
Total	14075.69	100%	14075.69	100%	14075.69	100%

Expresión utilizada en la calculadora ráster para generación del mapa de cambio entre los hitos(años) seleccionados:

IF("Clasificación_3x3_2017_RBGuisayote" 0 AND "Clasificación_3x3_2020_RBGuisayote" = 0, 0,

IF("Clasificación_3x3_2017_RBGuisayote" = 0 AND "Clasificación_3x3_2020_RBGuisayote" = 1, 1,

IF("Clasificación_3x3_2017_RBGuisayote" = 1 AND "Clasificación_3x3_2020_RBGuisayote" = 0, 2,

IF("Clasificación_3x3_2017_RBGuisayote" = 1 AND "Clasificación_3x3_2020_RBGuisayote" = 1, 3,

-1))))

Fotografías del evento de colecta de datos y entrenamiento intensivo

Ilustración 1. Revisión de clasificación inicial para posteriormente aplicar el proceso de ajuste fino.

Ilustración 2. Selección de las clases a trabajar y las características únicas de cada una.

Ilustración 3. Equipo que formó parte del proceso en la construcción del análisis multitemporal.