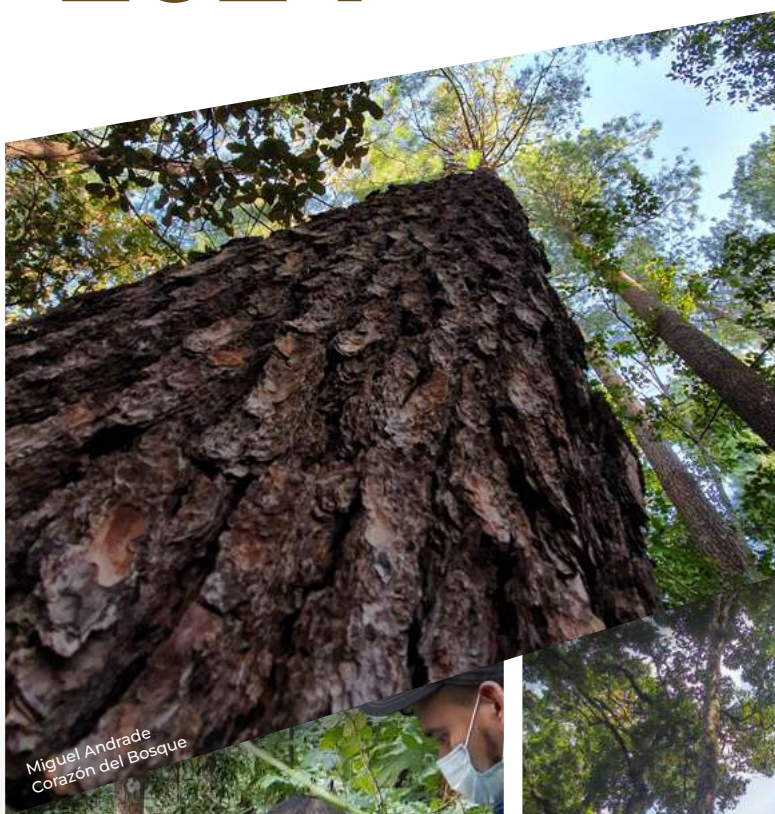




SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL 2021- 2024



Dulce Mejía
Unidad de Muestreo SAF



Miguel Andrade
Corazón del Bosque



Dulce Mejía
Toma de coordenada, ubicación UM



José López
Muestreo en bosque mixto



Aracely Méndez
Montaña Aq'qoma

Con el apoyo técnico y financiero de:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Citar este documento como:

INAB, & CONAP. (2025). Segundo Inventario Forestal Nacional -IFN- 2021 - 2024 de Guatemala, resultados (p. 228). Instituto Nacional de Bosques y Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas

5a. Avenida & 6a. Calle, Ciudad de Guatemala, Guatemala
<https://conap.gob.gt/>

Instituto Nacional de Bosques

7 Avenida 6-80 zona 13, Ciudad de Guatemala, Guatemala
<https://www.inab.gob.gt/>

Elaborado en el marco del programa a nivel global “Programa acelerando la innovación del monitoreo forestal” (AIM4Forests, por sus siglas en inglés) específicamente bajo la implementación del proyecto UNJP/GLO/795/UNJ BABY 09 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, un programa cuyo objetivo es apoyar el monitoreo forestal basado en modernas tecnologías de monitoreo e innovación técnica, así como en el uso de datos espaciales y teledetección.

Equipo técnico de Inventarios Forestales de Guatemala

Instituto Nacional de Bosques -INAB-

Responsables del Inventario Forestal

Dulce María Mejía
Wyllsson Martínez

Integrantes del Comité Directivo y Técnico

Luis Francisco Hilton Guardado
Adelso Revolorio
Nery Sandoval
Hugo Flores
Danger Gómez
María Miguel
Rosa Sunum
Luis Calmo
Andrea Meoño

Colaboradores y suplentes

Tony Leal
José Luis Morán
Carlo Paredes
Víctor Zamora
Lenny Montejó
Gabriela Gómez
Juan José Cambranes
Mariano Martínez
Manuel Custodio

Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-

Integrantes del Comité Técnico

Adrian Gálvez
Erik Alvarado
Daavid Contreras
Edson Hernández
Marlin George
Sergio Balán
Julian Zetina
Lilian Perea

Diseño y diagramación

Jennyfer Ambrosio
*Dirección de Educación para el Desarrollo
Sostenible*

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

Asesora regional de inventarios forestales nacionales

Carla Ramírez Zea

Coordinador nacional del programa Aim4forests

Eliseo Gálvez Ramírez

Especialista en mapeo digital e inventario forestal nacional

José López Par

Especialista estadístico de inventarios forestales nacionales

Walter Bardales

Asesor internacional de inventarios forestales nacionales

Jorge Eduardo Morfín Ríos



Agradecimientos

El segundo Inventario Forestal Nacional de Guatemala se realizó entre los años 2021 y 2024, fue desarrollado por el Instituto Nacional de Bosques -INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, con el apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación -FAO- a través del Programa acelerando la Innovación del Monitoreo Forestal -AIM4Forests- y otros cooperantes, pueblos indígenas, comunidades locales, sector privado y academia.

Extendemos el agradecimiento a las siguientes organizaciones e instituciones:

Al personal técnico de las regiones del Instituto Nacional de Bosques -INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-,
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala -MARN-,
Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad -CEAB- de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-,
Fundación Patrimonio Cultural y Natural Maya -PACUNAM-,
Asociación de Comunidades Forestales de Petén -ACOFOP-,
Fundación Defensores de la Naturaleza -FDN-,
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-,
Proyecto Promoviendo Territorios Sostenibles y Resilientes en Paisajes de la Cadena Volcánica Central en Guatemala del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-,
Cooperación Técnica Alemana -GIZ-
Consorcio integrado por Sud Austral Consulting S.p.A., CALMECAC, Forest Finest y GOPA,
Consejo Nacional de Estándares de Manejo Forestal Sostenible para Guatemala -CONESFORGUA
Asociación de Organizaciones de Los Cuchumatanes -ASOCUCH-,
Rainforest Alliance -RA-,
Consultores Joaquín y Asdrúbal Calderón del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América.

Presentación

Los recursos forestales de Guatemala constituyen un patrimonio invaluable para el bienestar de la población, la conservación del ambiente y el desarrollo sostenible del país. Su adecuada gestión es esencial para asegurar su permanencia y para que continúen brindando bienes y servicios a las generaciones presentes y futuras.

El Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN) representa un esfuerzo conjunto del Instituto Nacional de Bosques (INAB) y del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), con el apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Este trabajo refleja el compromiso del Estado de Guatemala con la generación de información confiable y actualizada sobre el estado de sus bosques y árboles en otros usos de la tierra, indispensable para orientar políticas, estrategias y acciones que promuevan su conservación y manejo sostenible.

La actualización de la información sobre los recursos forestales era una necesidad prioritaria desde la publicación del primer IFN en 2003. Atendiendo a sus respectivas atribuciones, el INAB, como autoridad en materia forestal fuera de áreas protegidas y el CONAP, responsable de los recursos forestales dentro de las Áreas Protegidas y la diversidad biológica a nivel nacional, unieron esfuerzos para llevar a cabo este inventario de carácter multipropósito, desarrollado entre los años 2021 y 2024.

Se presentan los objetivos, la vinculación e importancia, metodología, así como los resultados de los procesos de cálculo y análisis de las variables. Incluye estimaciones sobre la extensión y estado de la cobertura forestal, los árboles en otros usos de la tierra, la diversidad y uso de las especies, volumen, área basal y densidad, así como el contenido de biomasa y carbono en diferentes reservorios. Cada etapa del trabajo, desde la recolección de datos en campo hasta el control de calidad en gabinete, fue realizada con rigurosidad técnica, asegurando la integridad y confiabilidad de la información.

El INAB y el CONAP ponen a disposición de las instituciones, comunidades, profesionales y público en general el segundo Inventario Forestal Nacional de Guatemala, confiamos en que este aporte contribuye a una mejor toma de decisiones sobre la gestión de los ecosistemas boscosos y los recursos forestales de Guatemala.

Ing. Bruno Enrique Arias Rivas
INAB

MSc. Igor Adolfo Estuardo de la Roca Cuellar
CONAP

Junta Directiva del Instituto Nacional de Bosques

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-

María Fernanda del Rosario Rivera Dávila, Representante Titular

José Antonio López Leonardo, Representante Suplente

Ministerio de Finanzas Públicas -MINFIN-

Walter Orlando Figueroa Chávez, Representante Titular

Jorge Guillermo Escobar Paz, Representante Suplente

Asociación Nacional de Municipalidades de la República de Guatemala -ANAM-

Luis Alfredo Herrera Amado, Representante Titular

Filomeno Hernández Herrera, Representante Suplente

Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA-

Virgilio Morataya Orellana, Representante Titular

Federico Ramón Morales y Morales, Representante Suplente

Cámara de la Industria, Gremial Forestal de Guatemala

Jorge Enrique Calderón Rodas, Representante Titular

Adolfo Ronny Villatoro González, Representante Suplente

Asociación Nacional de Organizaciones No Gubernamentales de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente -ASOREMA-

Francisco Khalil De León Barrios, Representante Titular

Luis Fernando Castillo Reyes, Representante Suplente

Representante de Universidades

Francisco José Olivet Torres, Representante Titular

Juan Pablo Castañeda Sánchez, Representante Suplente

Instituto Nacional de Bosques -INAB-

Bruno Enrique Arias Rivas

Gerente y Secretario de Junta Directiva

Miembros del Consejo Nacional de Áreas Protegidas

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-

Licenciada Ana Patricia Orantes Thomas, Ministra de Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniero José Rodrigo Rodas, Viceministro de Ambiente y Recursos Naturales

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-

Doctora Mayra Motta Padilla, Viceministra de Sanidad Agropecuaria
Señor Manuel Alberto Henry Ruiz, Asesor

Instituto Nacional de Antropología e Historia -IDAEH-

Arquitecta Laura Jazmín Cotí Lux, Viceministra de Patrimonio Cultural y Natural
Licenciada Mónica Claudina Urquizú, Directora Técnica

Instituto Guatemalteco de Turismo -INGUAT-

Licenciada Bianka Roxana Esposito Macdonald, Subdirectora III
Licenciado Jorge Mario Samayoa López, Profesional I

Centro de Estudios Conservacionistas de la USAC -CECON-

Licenciado Carlos Manuel Maldonado-Aguilera, Director
Licenciada Mercedes Violeta Barrios Ruiz, Coordinadora del Centro de Datos para la Conservación

Organizaciones Conservacionistas de la Naturaleza

Licenciada Carmen Raquel Torselli Bech, Fundación Solar
Señor Erick Rolando Cuellar Oliva, ACOFOP

Asociación Nacional de Municipalidades -ANAM-

Ingeniero Sebastián Siero Asturias, alcalde de Santa Catarina Pinula, Guatemala
Señor. José Elías Herrera Guerra, alcalde de Guastatoya, El Progreso

Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Áreas Protegidas

MSc. Igor Adolfo Estuardo De la Roca Cuellar, Secretario Ejecutivo
Ingeniero Gerardo Paiz Schwartz, Subsecretario Ejecutivo

Abreviaturas, siglas y acrónimos

Abreviaturas, siglas y acrónimos	Descripción
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (por sus siglas en inglés)
ANAM	Asociación Nacional de Municipalidades
ASOREMA	Asociación Nacional de Organizaciones No Gubernamentales de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente
BTR	Informes Bienales de Transparencia (por sus siglas en inglés)
CE	Collect Earth
CEAB	Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad
CECON	Centro de Estudios Conservacionistas
CN	Comunicación Nacional
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
DAP	Diámetro normalizado a la altura del pecho (1.3 m)
ENCA	Escuela Nacional Central de Agricultura
ENREDD+	Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques
FAO	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FRA	Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (por sus siglas en inglés)
GEI	Gases Efecto Invernadero
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Mapeo de Bosques y Usos de la Tierra
GTM	Guatemala Transversa de Mercator
IC	Intervalo de confianza
IDAEH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
IFN	Inventario Forestal Nacional
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INE	Instituto Nacional de Estadística
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IVI	Índice de valor de importancia
Ley PROBOSQUE	Ley de Fomento al Establecimiento, Restauración, Manejo, Producción y Protección de los Bosques de Guatemala
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MINFIN	Ministerio de Finanzas Públicas

NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (por sus siglas en inglés)
NREF	Nivel de referencia de emisiones del sector forestal
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONG	Organizaciones no gubernamentales
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
UM	Unidad de muestreo
URL	Universidad Rafael Landívar
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USFS	Servicio Forestal de Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
UVG	Universidad del Valle de Guatemala
VRTAcc	Volumen en Rollo Total Árbol con corteza

Tabla de contenido

1. Resumen ejecutivo	01
2. Antecedentes	04
3. Términos y definiciones	06
4. Importancia y vinculación del segundo inventario forestal nacional	10
5. Objetivos	12
5.1 Objetivo general	13
5.2 Objetivos específicos	13
6. Marco Metodológico	14
6.1 Enfoque del IFN	15
6.2 Indicadores, variables y criterios del IFN	15
6.3 Ámbito geográfico y población de interés	17
6.4 Diseño del muestreo	18
6.5 Tamaño y selección de la muestra	19
6.6 Diseño de la UM	20
7. Proceso de desarrollo del segundo IFN	22
7.1 Fase de planeación	23
7.2 Fase de levantamiento de datos en campo	28
7.3 Fase de integración, consolidación y control de calidad de la base de datos	30
8. Resultados	42
8.1 Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra	47
8.2 Familias y especies de árboles identificadas en el segundo IFN	51
8.3 Existencias forestales en formación	69
8.4 Existencias de biomasa aérea, subterránea, madera muerta y hojarasca	85
8.5 Existencia de carbono aéreo y subterráneo, madera muerta, hojarasca y en el suelo	93
8.6 Productos y servicios vinculados a los bosques y árboles en otros usos de la tierra	103
8.7 Condición fitosanitaria de las especies arbóreas.	124
8.8 Regeneración natural.	125
8.9 Atributos de los bosques.	126
8.10 Perturbaciones naturales y antropogénicos.	135
8.11 Características de las poblaciones cercanas a las UM	137

9. Conclusiones	140
10. Recomendaciones	143
11. Referencias	145
12. Anexos	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores, variables y criterios que responde el segundo IFN	16
Tabla 2. Distribución de las UM por región y subregiones INAB	25
Tabla 3. Distribución de las UM en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SIGAP)	26
Tabla 4. Variables revisadas en el proceso de control de calidad	31
Tabla 5. Componente evaluado, variables cuantitativas de interés	35
Tabla 6. Descripción de los niveles de categoría de uso	43
Tabla 7. Precisión de resultados por nivel de categoría de uso de la tierra, variables cuantitativas	45
Tabla 8. Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra en ha para categoría general y porcentaje de error de muestreo	48
Tabla 9. Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra en hectáreas y porcentaje de error de muestreo, nivel 1	49
Tabla 10. Superficie de bosque y plantaciones forestales en hectáreas y porcentaje de error de muestreo, nivel 2 y 3.	50
Tabla 11. Índice de valor de importancia de las 10 familias de mayor abundancia en el país.	53
Tabla 12. Índice de valor de importancia de las 25 especies forestales más abundantes dentro del bosque identificadas en el IFN.	54
Tabla 13. Índice de valor de importancia de las 25 especies forestales y arbóreas más abundantes fuera de bosque identificadas en el segundo IFN.	56
Tabla 14. Índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque latifoliado.	58
Tabla 15. Índice de valor de importancia de las especies en bosque de conífera y especies asociadas	60
Tabla 16. Área basal, frecuencia, densidad y dominancia relativa e índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque mixto.	63
Tabla 17. Índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque seco	65
Tabla 18. Volumen total promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.	71
Tabla 19: Volumen total promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría nivel 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.	73
Tabla 20. Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.	74
Tabla 21. Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.	75
Tabla 22. Densidad promedio de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco	77

Tabla 23. Densidad promedio de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3, para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	78
Tabla 24. Volumen, área basal y densidad de árboles registrados > de 10 cm de DAP en el bosque de mangle.	79
Tabla 25. Volumen, área basal y densidad de árboles registrados > de 10 cm de DAP en plantaciones forestales.	80
Tabla 26. Volumen promedio total por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles de uso comercial > a 10 cm de DAP.	82
Tabla 27. Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles de uso comercial > a 10 cm de DAP.	83
Tabla 28. Densidad de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general para árboles de uso comercial > de 10 cm de DAP.	83
Tabla 29. Volumen total promedio, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso nivel general, para árboles de uso de leña registrados > de 10 cm de DAP.	84
Tabla 30. Biomasa aérea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general de uso de la tierra para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	86
Tabla 31. Biomasa aérea, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	87
Tabla 32. Estimación de biomasa subterránea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	88
Tabla 33. Biomasa subterránea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	89
Tabla 34. Estimación de biomasa en madera muerta por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.	91
Tabla 35. Estimación de biomasa en hojarasca por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.	92
Tabla 36. Resumen del contenido total de biomasa en toneladas por reservorio	93
Tabla 37. Carbono aéreo, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría general para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	94
Tabla 38. Carbono aérea, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	95
Tabla 39. Carbono fijado subterránea, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría general para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	96
Tabla 40. Carbono subterránea, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.	96
Tabla 41. Estimación de carbono en madera muerta por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.	98
Tabla 42. Estimación de carbono en hojarasca por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.	99
Tabla 43. Contenido total de carbono (ton C/ha) por reservorio	100
Tabla 44. Estimación de carbono (ton C/ha) en suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.	101

Tabla 45. Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y arboles fuera del bosque en el estrato norte del País	104
Tabla 46. Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y arboles fuera del bosque en el estrato centro del País	105
Tabla 47. Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y arboles fuera del bosque en el estrato sur del País	107
Tabla 48. Cantidad de especies arbóreas por uso principal	109
Tabla 49. Especies arbóreas para uso de madera	111
Tabla 50. Especies latifoliadas para uso de leña	112
Tabla 51. Especies de coníferas para uso de leña	113
Tabla 52. Especies forestales para uso de postes	114
Tabla 53. Especies forestales para uso de frutales	115
Tabla 54. Especies forestales para uso de carbón	116
Tabla 55. Especies forestales para uso medicinal	117
Tabla 56. Especies forestales para uso de forraje	118
Tabla 57. Especies forestales para uso de resina y/o caucho.	119
Tabla 58. Densidad de producto no maderable (Plantas/ha) según el tipo de bosque	120
Tabla 59. Especies forestales para refugio	121
Tabla 60. Especies forestales para anidación	122
Tabla 61. Especies forestales para descanso	123
Tabla 62. Especies forestales para alimentación	124
Tabla 63. Densidad de latizales (individuos de 5 cm a 9.9 cm de DAP) y brinzales (individuos mayores de 30 cm de altura y hasta 4.9 cm de DAP) por especie.	126
Tabla 64. Origen de la repoblación de los bosques naturales	129
Tabla 65. Porcentaje de presencia por categorías de estructura vertical	130
Tabla 66. Porcentaje de perturbación natural y magnitud	136
Tabla 67. Porcentaje de perturbación antropogénica y magnitud.	136
Tabla 68. Cantidad de UM registradas en el segundo IFN por categorías de uso de la tierra	154
Tabla 69. Resto de especies forestales dentro del bosque identificadas en el IFN	156
Tabla 70. Resto de especies arbóreas en otros usos de la tierra.	167
Tabla 71. Ecuaciones alométricas de volumen total con y sin corteza desde la base a la altura total	174
Tabla 72. Volumen promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.	179
Tabla 73. área basal promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.	181
Tabla 74. Densidad de árboles promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.	183
Tabla 75. Ecuaciones utilizadas para la estimación de biomasa por arriba del suelo	185
Tabla 76. Ecuaciones utilizadas para la estimación de biomasa subterránea.	186
Tabla 77. Fórmulas para la estimación de biomasa y carbono en materia muerta caída, hojarasca y tocones.	186
Tabla 78. Homologación de las categorías de cobertura forestal y otros usos de la tierra según el segundo IFN, FRA e IPCC	188
Tabla 79. Edades promedio estimado de las UM de plantaciones.	191
Tabla 80. Incrementos medios anuales por tipo de plantaciones	192

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la República de Guatemala a nivel mundial y Centroamérica.	17
Figura 2. Mapa del territorio nacional, población de interés con la cobertura forestal del año 2020.	18
Figura 3. Malla de referencia y distribución de las UM del segundo IFN	19
Figura 4. Diseño de la UM	20
Figura 5. Diseño de las parcela y especificaciones de secciones de las UM del segundo IFN de Guatemala.	21
Figura 6. Mapa de distribución de UM por institución, dentro y fuera de áreas protegidas	27
Figura 7. Formato del registro y reporte de la UM	30
Figura 8. Mapa de post-estratos y unidades muestreadas del segundo IFN	34
Figura 9. Distribución de especies en bosque mixto por UM.	62
Figura 10. Contenido de carbono por reservorio en tierras forestales	102
Figura 11. Porcentaje de árboles según condición fitosanitaria y tipo de bosque.	125
Figura 12. Clases de desarrollo del bosque de coníferas	127
Figura 13. Clases de desarrollo del bosque mixto.	128
Figura 14. Estructura vertical del bosque latifoliado	131
Figura 15. Estructura vertical del bosque conífero	132
Figura 16. Estructura vertical del bosque mixto	132
Figura 17. Estructura vertical del bosque seco	133
Figura 18. Estructura vertical del bosque de mangle	133
Figura 19. Porcentaje de especies forestales y arbóreos según la forma de fuste de coníferas y latifoliadas	134
Figura 20. Porcentaje de pueblo étnico en tierras forestales y otros usos de la tierra	137
Figura 21: Porcentaje de comunidad lingüística en tierras forestales y otros usos de la tierra.	138
Figura 22. Actividad principal productiva	139

RESUMEN EJECUTIVO

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta el desarrollo y los resultados del Segundo Inventario Forestal Nacional -IFN-, liderado por el Instituto Nacional de Bosques -INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, con la colaboración de instituciones gubernamentales, el sector privado, la sociedad civil y la academia. El objetivo principal fue determinar y proporcionar información sobre el estado biofísico de los bosques y de los árboles fuera de bosque a nivel nacional, aportando insumos estratégicos para el manejo forestal sostenible, la conservación y la restauración. Entre las variables evaluadas se encuentran: superficie de cobertura, identificación de familias y especies, volumen en rollo total y comercial, área basal y densidad de árboles, contenido de biomasa y carbono en distintos reservorios (aéreo, subterráneo, madera muerta, hojarasca y suelo), productos y servicios del bosque, estado de salud de los árboles, así como atributos de los bosques y problemas ambientales y antropogénicos asociados a los bosques.

El proceso inició con la organización de comités y la elaboración de un marco metodológico que cubrió todo el territorio nacional mediante una grilla de muestreo sistemático no alineado de 715 Unidades de Muestreo (UM), cada una con tres parcelas circulares y subparcelas anidadas. Se utilizó un manual de campo, formularios y herramientas digitales de recolecta de datos para asegurar la calidad y estandarización de la información.

Al finalizar la fase de implementación, se recopiló información de 494 UM, lo que dio lugar al análisis de los resultados. Por el diseño de la UM estas a su vez se subdividen en 1,305 parcelas, recopilando información de 10,852 árboles mayores de 10 cm de DAP (incluyendo diámetros desde 5 cm en bosque seco). Esto permitió realizar estimaciones robustas mediante un método de cálculo postestratificado con estimadores de razón, dividiendo el país en estrato norte, estrato centro y estrato sur.

En cuanto a la superficie, se estimó que la cobertura forestal cubre 4,139,855 ha (38 % del territorio nacional), mientras que otros usos de la tierra abarcan 6,749,045 ha (62 %), para un total evaluado de 10,888,900 ha. De esta cobertura forestal, el bosque representa 3,908,971 ha (35.9 % del país), con la siguiente distribución: bosque latifoliado (2,695,287 ha), bosque mixto (798,230 ha), bosque de coníferas (153,506 ha), bosque seco (222,132 ha) y bosque de mangle (39,818 ha) con un error de muestreo alto debido a que solamente 3 UM fueron levantadas en este tipo de bosque. Las plantaciones forestales suman 230,883 ha, equivalentes al 2.0 % de la superficie nacional.

El inventario presenta la diversidad de especies arbóreas presentes en las tierras forestales del país y en otros usos de la tierra, con el registro de 10,852 árboles pertenecientes a 82 familias y 492 especies distintas.

Se estimó que los árboles en tierras forestales tienen un volumen total promedio de 113.3 m³/ha, un volumen a nivel nacional de 469,045,572 m³. Con respecto a los árboles en la categoría otros usos de la tierra, presentan un volumen total promedio de 17.0 m³/ha, un volumen total a nivel nacional de 114,733,765 m³. Los resultados también indican que los bosques del país tienen un área basal promedio de 14.4 m²/ha, las plantaciones 9.1 m²/ha y los árboles en otros usos de la tierra 2.4 m²/ha; así como una densidad de 349.3 árboles/ha en bosques y 55.5 árboles/ha en otros usos de la tierra. En cuanto a la regeneración natural, se encontró una alta densidad de brinzales (222 UM) y latizales (182 UM) en todo el país, lo que refleja la capacidad de los bosques de recuperarse de manera natural.

En términos de carbono fijado, las tierras forestales y árboles en otros usos almacenan 415.2 millones de toneladas, distribuidas en: 247 millones de toneladas en biomasa aérea, 77 millones de toneladas en biomasa subterránea, 25 millones de toneladas en madera muerta y 52 millones toneladas en hojarasca. A esto se suma el carbono en el suelo (0–30 cm de profundidad), que alcanza 1,425 millones de toneladas de carbono.

A través del IFN también se analizaron aspectos de la estructura vertical del bosque, el origen de la repoblación (regeneración natural, reforestación y restauración), así como la presencia de perturbaciones naturales y antropogénicas. A nivel social, se recopiló información sobre pueblo étnico, comunidad lingüística y actividad principal de las poblaciones cercanas a las UM, lo que brinda un panorama de la relación entre las comunidades y los bosques.

Finalmente, se sistematizaron experiencias y aprendizajes del proceso del IFN, destacando la necesidad de fortalecer los mecanismos de control de calidad, aumentar el acompañamiento técnico especializado (por ejemplo, en taxonomía), garantizar protocolos de seguridad, mejorar la participación de mujeres y jóvenes, e involucrar de manera más activa a comunidades locales e indígenas en futuros levantamientos. Asimismo, se recomienda la institucionalización del proceso del IFN y la creación de estrategias nacionales de comunicación y difusión de resultados, de manera que, la información continúe siendo un insumo clave para la gestión sostenible de los recursos forestales de Guatemala.

ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

La riqueza y diversidad de los recursos forestales de Guatemala representan un pilar esencial para su desarrollo social, económico y ambiental. Los ecosistemas forestales no solo brindan bienes y servicios vitales, sino que sostienen la biodiversidad, regulan el clima y contribuyen al bienestar de millones de personas. Conocer de manera precisa su extensión, estado y dinámica es una condición indispensable para orientar políticas, programas y acciones que garanticen su conservación y uso sostenible, así como para cumplir los compromisos internacionales que el país ha asumido en materia ambiental y de desarrollo.

Los inventarios forestales nacionales constituyen una herramienta clave para evaluar el estado y las tendencias de los ecosistemas forestales y para fundamentar decisiones informadas sobre su manejo y conservación. Estos procesos permiten dar seguimiento a cambios en la cobertura y composición de los bosques, medir el aporte de los ecosistemas forestales a la mitigación y adaptación al cambio climático, y apoyar la formulación de políticas públicas y estrategias de desarrollo sostenible.

Guatemala realizó su primer Inventario Forestal Nacional entre 2002 y 2003, con apoyo técnico y financiero de la FAO. Este esfuerzo fue coordinado por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) con el apoyo y colaboración de varias instituciones y personas, entre las cuales se destacan el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), las Oficinas Forestales Municipales, la academia a través de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), así como del equipo del programa de Evaluación de los Recursos Forestales (FRA). Este inventario generó información pionera sobre la extensión y características de los bosques, así como sobre los distintos usos del suelo a nivel nacional.

El Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN), desarrollado entre 2020 y 2023, surge como respuesta a la necesidad de actualizar y ampliar el conocimiento de los recursos forestales del país tanto en tierras forestales como en otros usos. Su planificación y coordinación fueron resultado del trabajo conjunto del INAB y el CONAP, con el apoyo de la FAO, reflejando el interés y compromiso del Estado de Guatemala de contar con datos actualizados y confiables que respalden la toma de decisiones y el cumplimiento de compromisos ambientales y de desarrollo sostenible.

El segundo IFN también se distingue por su carácter inclusivo y por la participación de diversos socios estratégicos que contribuyeron en diferentes etapas del proceso, fortaleciendo sus bases técnicas y operativas. Además, amplía su alcance al incorporar no solo las tierras clasificadas como forestales, sino árboles en otros usos de la tierra, ofreciendo así una visión integral de los recursos forestales del país y constituyéndose en un instrumento fundamental para orientar su manejo, conservación y aprovechamiento sostenible.

The background of the page features a photograph of a dense forest of tall, thin trees reaching towards a blue sky with scattered white clouds. The image is partially obscured by geometric shapes: a white triangle in the top-left corner, a brown triangle in the bottom-left corner, and a large green triangle in the bottom-right corner. The title text is centered in the white space.

TÉRMINOS Y **DEFINICIONES**

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Árbol: Especie leñosa perenne con un solo tallo principal o, en el caso del monte bajo, con varios tallos, y una copa más o menos definida (FAO, 2023).

Árboles en otros usos de la tierra: Árboles dispersos en un área determinada, donde no hay una estructura horizontal definida, no hay regeneración natural, ni estado sucesional del bosque, el conjunto de estos árboles no se considera bosque de ningún tipo.

Árboles fuera del bosque: Árboles en otros usos de la tierra, con área basal no superior a los cuatro (4) metros cuadrados por hectárea el conjunto de estos árboles no se considera bosque de ningún tipo (INAB, 2022b).

Árboles dispersos: Árboles en otros usos de la tierra, con un área basal superior a cuatro (4) metros cuadrados por hectárea. El conjunto de estos árboles no se considera bosque de ningún tipo (INAB, 2022a).

Arbustos: Plantas leñosas con uno o varios troncos que no alcanza los 5 m de altura en su madurez (INAB y FAO, 2003).

Biomasa: Material orgánico vivo o recientemente muerto (IPCC, 2018).

Biomasa Aérea: Toda la biomasa de vegetación viva leñosa, por encima del suelo, incluidos tallos, ramas, corteza, semillas y follaje (FAO, 2023).

Biomasa Subterránea: Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro ya que a menudo no pueden distinguirse empíricamente de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca (FAO, 2023).

Biomasa de Madera Muerta: Toda la biomasa leñosa no viva no contenida en la hojarasca ya sea en pie, tendida sobre el suelo o en el suelo. Incluye la madera que yace en la superficie, las raíces muertas con diámetro mayor a 2 mm o más y los tocones de diámetro igual o superior a 10 cm o cualquier otro diámetro utilizado por el país (FAO, 2023). Para el segundo IFN se tomaron diámetros mayores o iguales a 5 cm.

Biomasa en la hojarasca: Biomasa no viva con un diámetro inferior a 5 cm, en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico (FAO, 2023).

Bosque: De acuerdo con la definición nacional, bosque es una superficie cubierta por árboles (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 10 centímetros) con un mínimo de cobertura de copa del 30% - 40%, formando una masa continua de un mínimo de 0.5 hectáreas con un ancho mínimo de 60 metros (INAB & CONAP, 2020a).

Bosque latifoliado: Estrato de vegetación leñosa conformado con más del 70% de especies latifoliadas o de hoja ancha, incluyen los bosques de especies caducifolias y los bosques de galería (INAB & CONAP, 2020a).

Bosque de coníferas: Tierras donde la cobertura espacial de los árboles tienen más del 70% de especies de coníferas.

Bosque de mangle: Comprende formaciones vegetales absorbentes propias de los litorales y estuarios de regiones tropicales, con dominancia de árboles de una o más especies de mangle con o sin otras especies arbóreas asociadas (INAB & CONAP, 2020a).

Bosque mixto: Tierras que integran bosques con una distribución espacial de especies latifoliadas y/o coníferas (INAB & CONAP, 2020a).

Bosque seco: Bosque ubicado en regiones caracterizadas por la marcada estacionalidad en la precipitación pluvial, teniendo al menos 5 meses al año con precipitaciones menores a los 100 mm de lluvia mensual, temperaturas promedio anuales superiores a los 25°C, precipitaciones promedios anuales menores a 1,600 mm ubicados por debajo de los 1,650 msnm. Las familias dominantes son Anacardiaceae, Burseraceae, Caesalpinaceae, Fabaceae y Mimosaceae. El sotobosque se caracteriza por abundancia de Cactaceae, Bromélias terrestres y arbustos espinosos (INAB & CONAP, 2020a).

Plantación forestal: En esta categoría se incluyen áreas con árboles de uso forestal que han sido sembrados de forma artificial con distanciamientos y distribución espacial regulares, en bloques de edad y tamaño homogéneos y especies seleccionadas. Requieren un constante manejo para su crecimiento y desarrollo (INAB & CONAP, 2020a).

Carbono en la Biomasa Aérea: Carbono en toda la biomasa viva por encima del suelo, incluyendo tallos, ramas, corteza, semilla y follaje (FAO, 2023).

Carbono en la Biomasa Subterránea: Carbono en toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, porque a menudo no pueden distinguirse empíricamente de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca (FAO, 2023).

Carbono en la Madera Muerta: Carbono en toda la biomasa leñosa no viva no contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida en el suelo o en el suelo. Incluye la

madera que yace en la superficie, las raíces muertas de hasta 2 mm y los tocones de diámetro igual o superior a 10 cm (FAO, 2023).

Carbono en la Hojarasca: Carbono en toda la biomasa no viva con un diámetro inferior al diámetro a 5 cm, en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico (FAO, 2023).

Carbono en el Suelo: Carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (incluyendo turba) a una profundidad de 0 y hasta 30 cm (adaptado de: FAO, 2023b).

Categorías de uso de la tierra del IPCC: Las categorías del uso de la tierra para la declaración del inventario de gases de efecto invernadero son: Tierras forestales, Tierras de cultivo, Pastizales, Humedales, Asentamientos y Otras tierras, utilizadas en el nivel 1 del segundo IFN. (IPCC, 2006)

Clases de cobertura de tierras del FRA: Las clases de cobertura de tierra para la evaluación de los recursos forestales mundiales son: bosque, otras tierras boscosas, otras tierras y aguas interiores (FAO, 2023).

Reservorio de carbono: Depósito o almacén de carbono que puede funcionar como fuente o como sumidero (MITECO, 2024).

Regeneración: Es la reproducción del bosque mediante los procesos naturales del mismo, los cuales pueden favorecerse mediante técnicas silviculturales (Ley forestal, 1996).

Tierras forestales: Esta categoría incluye toda la tierra con vegetación boscosa coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario nacional de gases de efecto invernadero. También incluye los sistemas con una estructura de vegetación que actualmente se encuentra por debajo, pero que potencialmente podría alcanzar in situ los valores umbrales utilizados por un país para definir la categoría de tierras forestales (IPCC, 2006). Para el IFN este término es sinónimo de cobertura forestal.

Volumen rollo total árbol con corteza: Volumen de madera de un árbol completo en metros cúbicos de los árboles de las especies de latifoliadas, de la base hasta la punta, incluyendo la corteza, excluyendo las ramas y la copa, y se expresa en metros cúbicos (m^3) (Vargas-Larreta et al., 2018).

Volumen total sin corteza: Volumen de madera para los árboles de las especies de coníferas y la cubicación del tocón como cilindro, la troza basal de acuerdo con Newton, las trozas superiores de acuerdo con Huber y la punta como cono obteniendo sumas parciales de los volúmenes de cada sección y se expresa en metros cúbicos (m^3) (INAB, 1999; Peters, 1977).



IMPORTANCIA Y VINCULACIÓN DEL **SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL**

4. IMPORTANCIA Y VINCULACIÓN DEL SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL

El Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN) constituye una herramienta estratégica para Guatemala, al proporcionar información actualizada, integral y transparente sobre el estado de los bosques y de los árboles en otros usos de la tierra. Los resultados obtenidos servirán como referencia nacional para la planificación y el manejo sostenible de los recursos forestales, el diseño de programas de restauración y conservación de los ecosistemas, coadyuvan a la formulación, implementación y seguimiento de políticas, planes y estrategias nacionales, así como al cumplimiento de los compromisos ambientales y de desarrollo sostenible asumidos por el país.

A continuación, se presentan las principales políticas, planes, estrategias y compromisos internacionales a los que contribuye el IFN:

- **Plan de Desarrollo Nacional “K’atun: Nuestra Guatemala 2032”:** Especialmente en el capítulo de Recursos Naturales, aborda temas de bosques, biodiversidad, áreas protegidas, humedales y cambio climático.
- **Política Forestal Nacional:** Contribuye al desarrollo sostenible del sector forestal y a la implementación de prácticas de manejo responsable.
- **Política y Estrategia Nacional de Diversidad Biológica:** Proporciona información de línea base a nivel nacional que contribuye a los cuatro ejes estratégicos de estos.
- **Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030:** En particular, el ODS 15 promueve la vida de los ecosistemas terrestres y la conservación de la biodiversidad.
- **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC):** Sector AFOLU, REDD+ y NDC-AFOLU.
- **Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB):** Fortalece la conservación de la biodiversidad forestal.
- **Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD):** Apoya la recuperación de tierras degradadas y la prevención de la desertificación.
- **Evaluación Mundial de Recursos Forestales de la FAO (FRA):** Facilita el análisis comparativo a nivel global y nacional.
- **Conjunto Básico Mundial de Indicadores de Gestión Forestal Sostenible:** Integra indicadores de manejo sostenible de bosques y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- **Reportes nacionales y sectoriales:** Incluyendo CN, BTR, ENREDD+, NREF y Anexo Técnico REDD.

OBJETIVOS

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar el estado de los bosques y de los árboles fuera de bosque a nivel nacional, a través de una evaluación integral y multipropósito que aporte información estratégica al país.

5.2 Objetivos específicos

- Generar información integral sobre los bosques y árboles en otros usos de la tierra, incluyendo extensión de superficie, existencias de familias y especies forestales, volumen maderable total y comercial, biomasa y carbono en la parte aérea, subterránea, materia muerta, hojarasca y suelo; así como regeneración natural, estado fitosanitario, problemas ambientales y antropogénicos, y características de las poblaciones cercanas a las unidades de muestreo.
- Establecer y mantener una red permanente de unidades de muestreo, que permita realizar levantamientos periódicos de datos y fortalecer el sistema nacional de monitoreo forestal.
- Aportar información estratégica para la toma de decisiones informada en fortalecimiento del manejo sostenible de los ecosistemas y recursos forestales del país.



MARCO METODOLÓGICO

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1 Enfoque del IFN

El enfoque del segundo IFN se fundamenta en una metodología diseñada para responder a la necesidad de contar con información actualizada y confiable sobre el estado de los bosques y de los árboles en otros usos de la tierra. Su carácter de evaluación integral radica en que no se limita únicamente a medir variables dasométricas, sino que también incluye aspectos ecológicos, ambientales y socioeconómicos, lo que permite comprender la situación de los recursos forestales desde múltiples dimensiones. Además, es un inventario multipropósito, ya que sus resultados no solo aportan a la gestión forestal a nivel nacional, sino que también permiten dar seguimiento a políticas públicas y cumplir con compromisos internacionales en materia de cambio climático, biodiversidad y desarrollo sostenible. Finalmente, el diseño metodológico se planteó como replicable, lo que significa que puede ser aplicado en futuros ciclos de inventario, facilitando la comparación de resultados en el tiempo y fortaleciendo el monitoreo continuo de los recursos forestales del país.

6.2 Indicadores, variables y criterios del IFN

Los indicadores, variables y criterios que se presentan en este apartado constituyen la base técnica para evaluar de manera integral el estado de los bosques, plantaciones y árboles en otros usos de la tierra. En el caso del segundo IFN de Guatemala, estos elementos fueron definidos y validados a través de un proceso de discusión y retroalimentación con el comité técnico interinstitucional, conformado por el INAB y CONAP. El conjunto de variables seleccionadas responde a los compromisos nacionales e internacionales en materia de conservación, manejo sostenible y mitigación del cambio climático, y fueron adaptadas con base en lo establecido en el marco metodológico del IFN.

La Tabla 1 presenta la integración de las necesidades de información por indicadores, variables y criterios de referencia nacionales e internacionales relacionados con los recursos forestales.

Tabla 1. Indicadores, variables y criterios que responde el segundo IFN

Indicadores	Variables	Criterios de referencia normativos, políticos y estratégicos
Extensión de la cobertura forestal y otros usos de la tierra	Superficie por tipo de bosque y otros usos de la tierra en hectáreas.	Nacionales: Política Forestal de Guatemala Política Nacional de Diversidad Biológica Ley Forestal Ley Probosque Ley de Áreas Protegidas Política Nacional de Humedales de Guatemala. Política Ambiental de Género Estrategia Nacional REDD+ Estrategia Nacional de Diversidad Biológica. Internacionales: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Diversidad Biológica y Lucha Contra la Desertificación Evaluación Mundial de Recursos Forestales de la FAO
Especies de árboles por tipo de bosque y en otros usos de la tierra, función ecológica y uso principal.	Índices de valor de importancia: frecuencia, densidad y dominancia relativa por tipo de bosque; especies según función ecológica y su uso principal.	
Existencias en formación de los bosques, plantaciones y árboles en otros usos de la tierra	Estimaciones de volumen (m^3/ha), área basal (m^2/ha), densidad (árboles/ha) para árboles en bosque, plantaciones y en otros usos de la tierra, árboles de uso comercial y árboles utilizados para leña.	
Productos del bosque, plantaciones y árboles en otros usos de la tierra	Porcentaje de productos de los bosques y árboles fuera de bosque según prioridad, destino, frecuencia de extracción y tipo de extractor; productos forestales no maderables.	
Existencia de biomasa y carbono en árboles, madera muerta, hojarasca, y carbono en el suelo.	Biomasa y carbono (ton/ha) aéreo y subterráneo; madera muerta, hojarasca y carbono en el suelo	
Condición fitosanitaria de las especies arbóreas.	Porcentaje de árboles sanos, árboles afectados por plagas y enfermedades, con daño mecánico y muerto	
Regeneración natural del bosque	Densidad de plantas por hectárea por tipo de bosque.	
Atributos de los bosques	Clases de desarrollo, origen de repoblación y composición de la estructura vertical de los bosques, forma de fuste de los árboles	
Perturbaciones naturales y antropogénicas	Porcentajes de principales perturbaciones naturales y antropogénicas y magnitud	

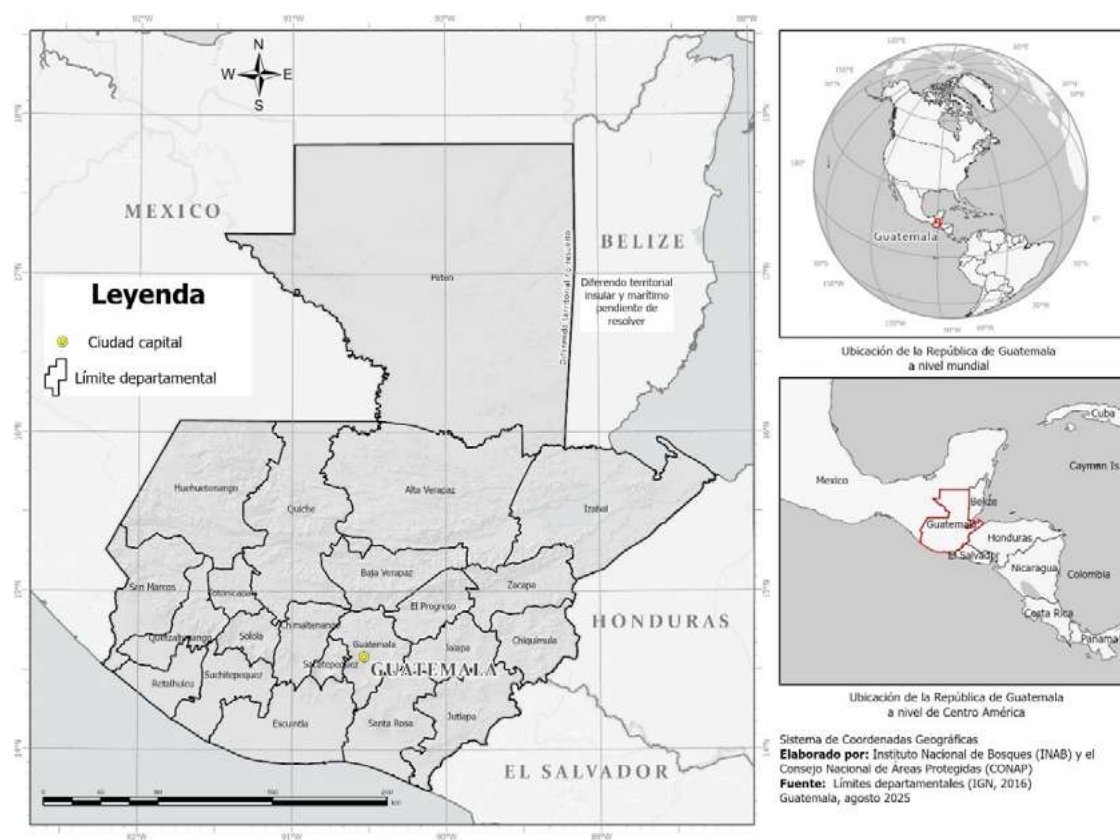
Nota. La tabla muestra los indicadores, variables y criterios que responde el segundo IFN, adaptado con base al marco metodológico definida según INAB y CONAP (2020b).

6.3 Ámbito geográfico y población de interés

El ámbito geográfico del inventario forestal nacional corresponde al territorio de Guatemala cuya extensión es de 108,889 km², ubicada en América Central. Limita al noroeste con México, al este con Belice, Honduras y El Salvador y al sur con el Océano Pacífico.

Figura 1.

Localización de la República de Guatemala a nivel mundial y Centroamérica.

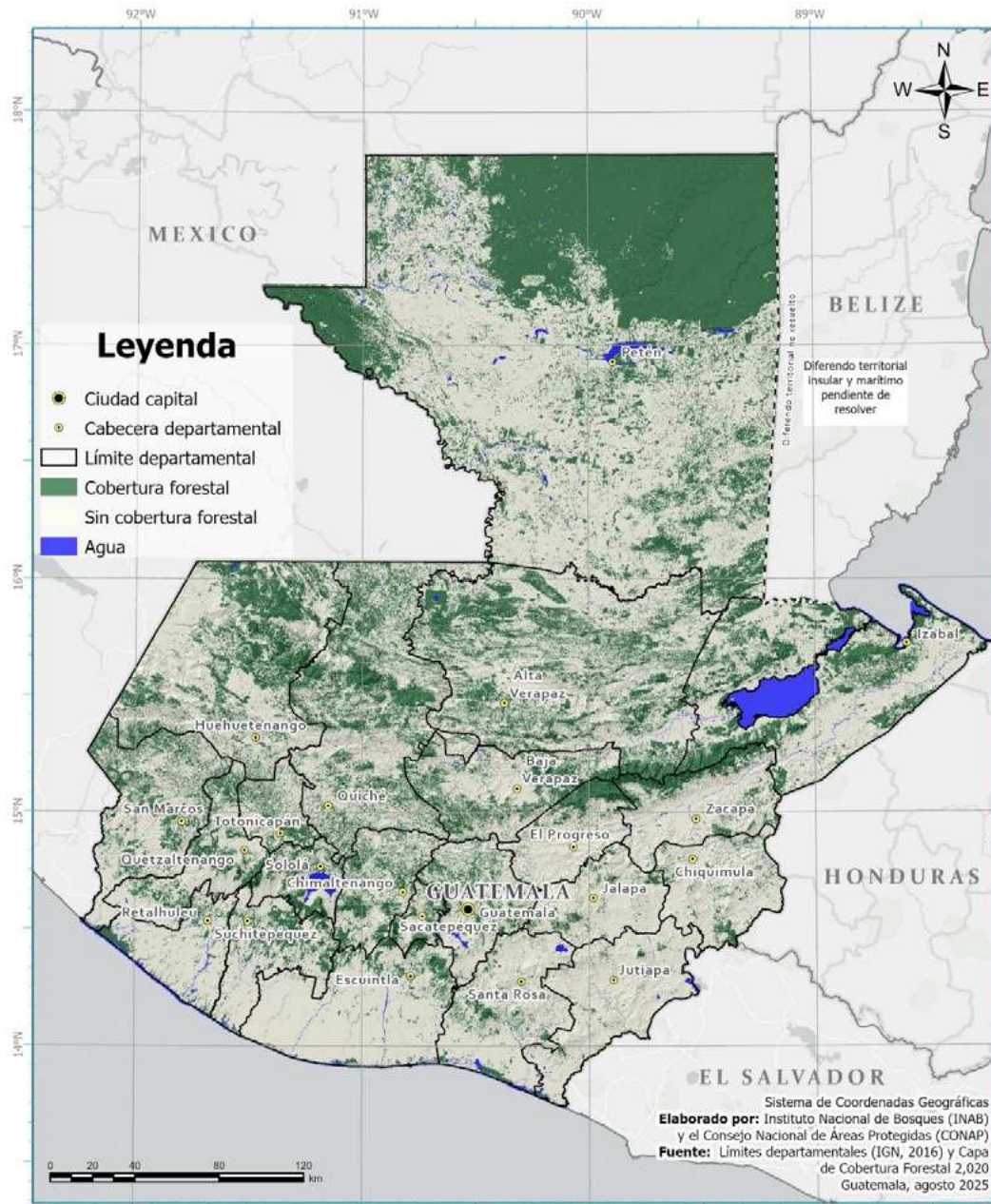


Nota. La figura muestra la ubicación de Guatemala a nivel de Centroamérica y mundial, con datos geográficos del IGN. Fuente: Elaboración propia.

La población de interés del segundo Inventario Forestal Nacional de Guatemala está conformada por las **tierras forestales** y árboles **en otros usos de la tierra** presentes en el territorio nacional.

Figura 2.

Mapa del territorio nacional, población de interés con la cobertura forestal del año 2020.



Nota. Mapa de la cobertura forestal nacional 2020 INAB-CONAP, como población de interés.

6.4 Diseño del muestreo

El diseño de muestreo del segundo IFN de Guatemala es sistemático no alineado, con una asignación de la muestra proporcional a la superficie del territorio, por medio de una malla equidistante dispuesta en todo el territorio nacional. Es decir, la malla está constituida por celdas del mismo tamaño. En el interior de cada una se seleccionó un punto al azar para ubicar la unidad de muestreo. Este diseño permite evaluar los cambios de uso y cobertura en todo el territorio, así como los cambios de los atributos de los árboles, tales como: volumen, área basal y biomasa en cada tipo de bosque y otros usos de la tierra, se detalla la información en el Marco Metodológico del segundo IFN (INAB y CONAP, 2020b).

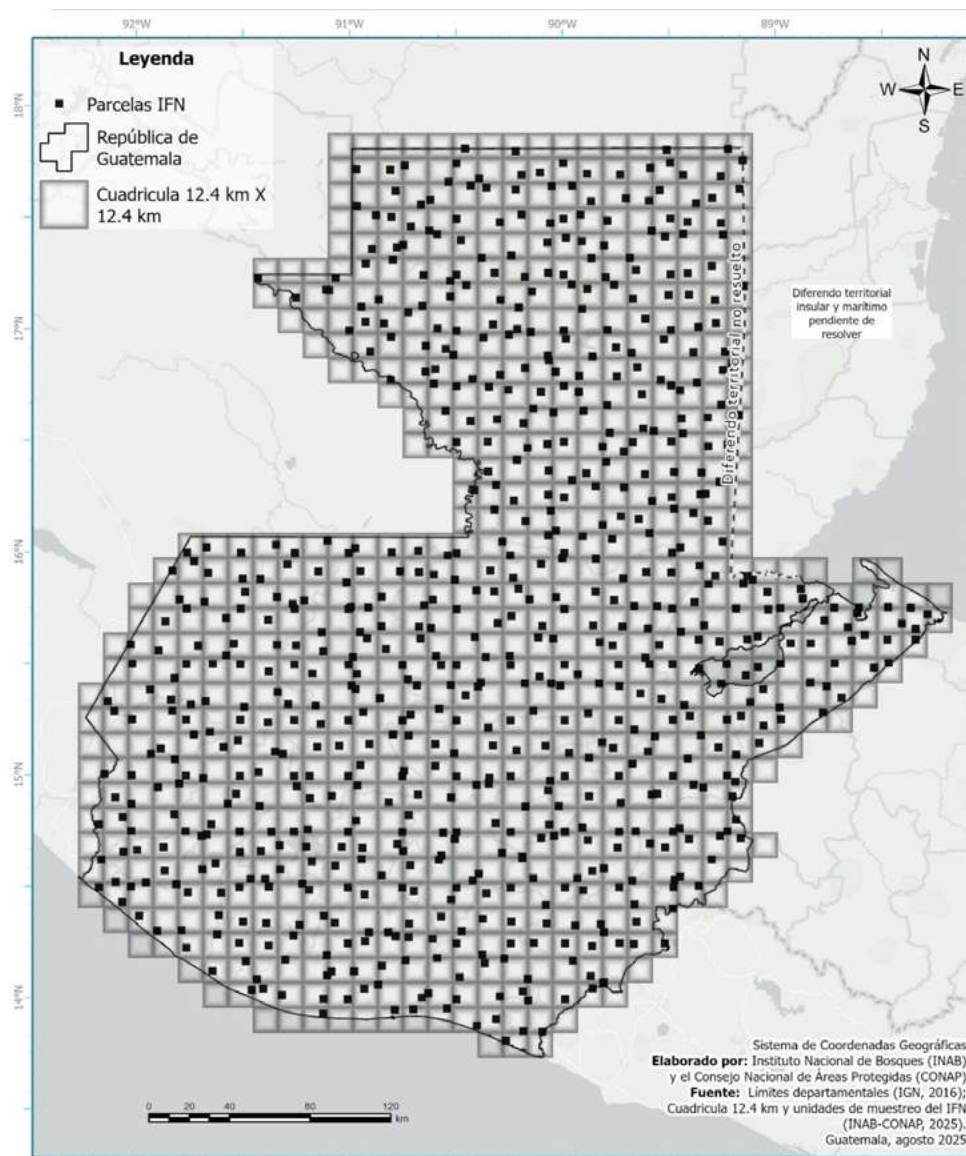
6.5 Tamaño y selección de la muestra

La cantidad de UM planificadas inicialmente para el segundo IFN de Guatemala se basó en la cantidad mínima necesaria para alcanzar las metas de precisión del estudio a nivel general, en este caso, de al menos 672 UM.

Para la selección espacial de cada muestra se construyó una malla de referencia con celdas de 12.4 km² en toda la superficie del país, a partir de la cual se ubicó un punto aleatorio por cada cuadrante. Los puntos aleatorios fuera de los límites del país no fueron considerados.

El número total de muestras seleccionadas fue de 715 y la distribución se muestra en la Figura 3.

Figura 3.
Malla de referencia y distribución de las UM del segundo IFN.



Nota. El mapa muestra la distribución de las UM dentro del país, utilizando la base de datos geográficos del IGN. Fuente: Elaboración propia.

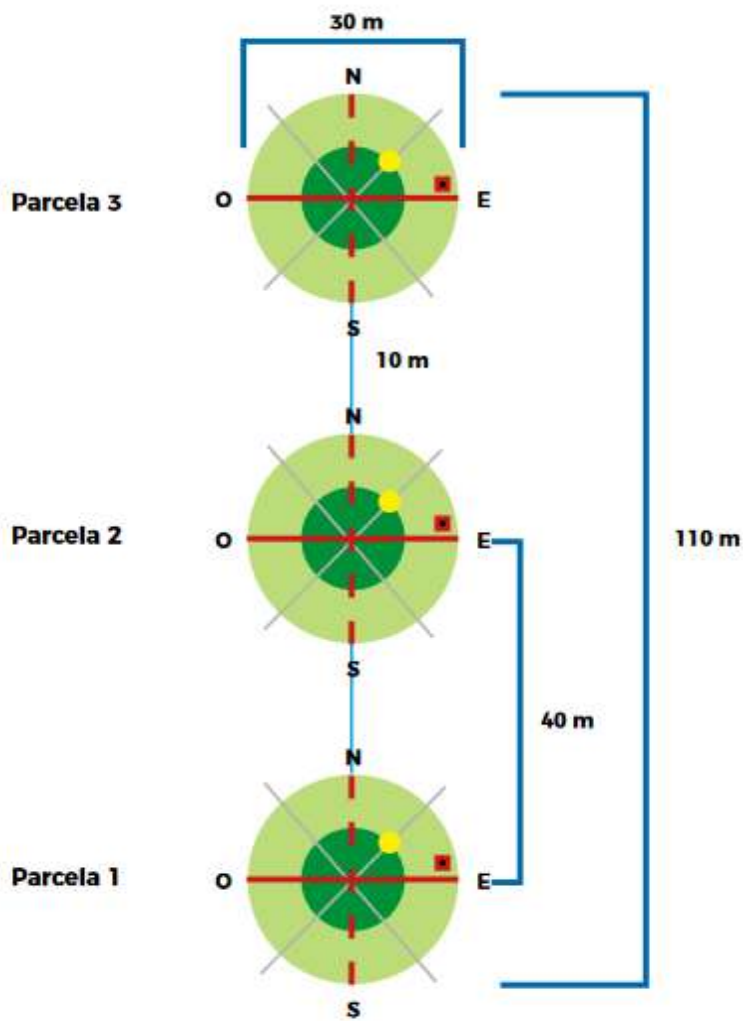
6.6 Diseño de la UM

La UM consistió en tres parcelas circulares, de 707 m² (15 m de radio) cada una como se muestra en la figura 5, dispuestas de forma lineal en sentido norte. La distancia entre cada parcela es de 10 m entre bordes y 40 m entre el centro de cada una.

Se utilizaron parcelas circulares porque tienen menor perímetro que las parcelas rectangulares o cuadradas, para reducir la probabilidad de sesgo por árboles que se ubican en el borde. Esta forma también tiene ventajas para la remediación, debido a la ubicación relativa de los árboles depende únicamente del punto central del círculo.

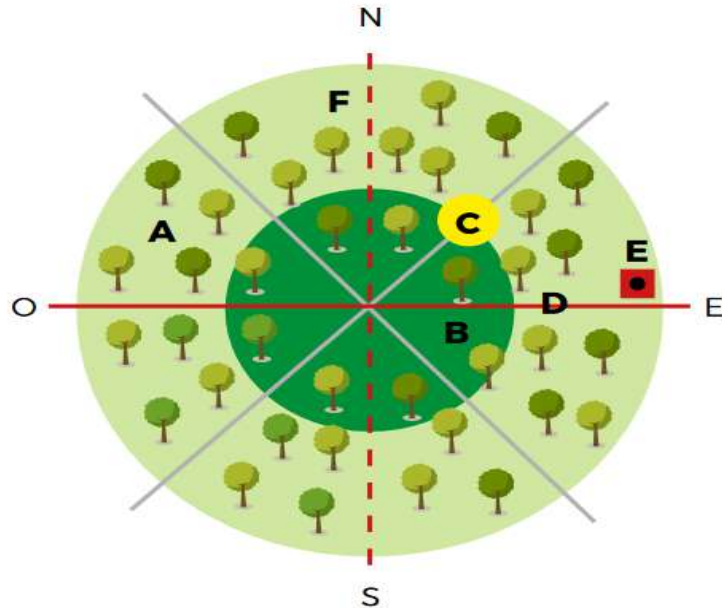
Cada parcela posee subparcelas anidadas de menor dimensión y transectos a lo largo y ancho, para facilitar la medición según el tamaño del árbol y de otros elementos como hojarasca, suelos y atributos del bosque o del uso de la tierra.

Figura 4.
Diseño de la UM



Nota: La figura muestra el diseño de la UM que se compone de 3 parcelas, con base a lo planteado por INAB y CONAP (2020b)

Figura 5.
Diseño de las parcela y especificaciones de secciones de las UM del segundo IFN de Guatemala.



Sección	Dimensión / Área de muestreo	Atributo
A	R = 15 m (707 m²)	Árboles >= 20 cm de DAP y tocones
B	R = 10 m (314 m²)	Árboles entre 10 cm a 19.9 cm de DAP y productos no maderables
C	R = 3 m (28 m²)	Árboles <= 9.9 cm de DAP
D	30 m	Madera muerta. MMC1: >=5 cm de diámetro
E	0.25 m²	Hojarasca
		Suelos
F	30 m	Estructura del bosque (S-N)

Nota. La figura muestra el diseño de la parcela y las especificaciones de cada sección, planteado por INAB y CONAP (2020b)



PROCESO DE DESARROLLO DEL **SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL**

7. PROCESO DE DESARROLLO DEL SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL

El segundo IFN de Guatemala fue desarrollado en 4 fases, que se describen a continuación:

7.1 Fase de planeación

7.1.1 Conformación de comité y subcomités

El primer paso para el inicio del proceso de implementación del segundo IFN, fue la conformación de un comité interinstitucional conformado entre el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- y el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, cuyo objetivo fue de dirigir las acciones estratégicas.

Luego, se procedió a la conformación de los siguientes subcomités:

- Subcomité de Coordinación: encargado de la coordinación general de las actividades.
- Subcomité de Capacitación: encargado de la capacitación de técnicos y profesionales sobre el levantamiento de la información de campo
- Subcomité de Cooperación: encargado en la gestión de recursos para dotar de insumos a las brigadas y gestión de financiamiento para el levantamiento de las UM.
- Subcomité de Comunicación Social: encargado de la socialización de la implementación del segundo IFN y la ejecución del trabajo de campo.

7.1.2 Definición de acciones estratégicas para la implementación del segundo IFN

Luego de la conformación de los subcomités se realizaron una serie de reuniones con la asistencia y orientación técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO-, para identificar las acciones estratégicas de la implementación del segundo IFN. Las acciones estratégicas definidas son:

- Definición del marco metodológico y herramienta para recolección de información.
- Alianzas interinstitucionales y cooperantes.
- Diseño de campaña de comunicación social.
- Presupuesto.
- Gestión del financiamiento.
- Institucionalización del segundo IFN.

7.1.3 Definición de actividades y hoja de ruta

Las actividades planteadas en la hoja de ruta se describen a continuación:

- Preparación, elaboración y validación del marco metodológico y manual de campo.
- Ajuste y validación de las herramientas digitales (ArcGis/Survey y Silvametricus) para el registro, normalización, verificación y análisis de los datos en versión escritorio y móvil.
- Clasificación de las UM con base a la malla de muestreo para los datos de actividad de los niveles de referencia forestal de Guatemala.
- Análisis de accesibilidad y costo de las UM.
- Preparación de la fase de campo.
- Dotación de equipamiento a las brigadas de levantamiento de datos.
- Capacitación a la brigada en la recolección de la información de campo y recolección de las muestras botánicas para la identificación de especies, muestras de suelo y hojarasca.
- Distribución de las UM y responsables de la ejecución (INAB y CONAP).
- Elaboración de mapas temáticos georeferenciados por UM.
- Establecimiento de UM y colecta de información en campo.
- Escaneo, digitalización y carga de información de campo.
- Control de calidad del levantamiento de información en el campo y gabinete.
- Almacenamiento y resguardo de la información colectada.
- Traslado de muestras de hojarasca y de suelo para análisis de laboratorio.
- Recepción y almacenamiento de información del análisis de laboratorio en muestras de hojarasca y suelo.

Integración y consolidación de base de datos.

- Análisis de resultados.
- Elaboración de informe final.

7.1.4 Elaboración y validación de manuales y herramientas digitales

Una de las actividades principales planteadas en la hoja de ruta, fue la elaboración del marco metodológico, manuales, protocolos y herramientas digitales para la recolección de información de campo, así como la validación de estos a cargo del comité interinstitucional.

Los documentos y herramientas que fueron elaborados y validados, se describen a continuación:

- Marco metodológico del segundo IFN.
- Manual de campo y formularios del segundo IFN.
- Protocolos complementarios al manual de campo para la implementación

del segundo IFN, que comprende de lo siguiente: protocolo para la gestión de permisos para el ingreso y establecimiento de las UM; protocolo para la toma, manejo y traslado de muestras de hojarasca; protocolo para la toma, manejo y traslado de muestras de suelo; protocolo de colecta, embalaje y transporte de muestras botánicas; herramientas digitales (ArcGis/Survey y Silvametricus) para el registro, normalización, verificación y análisis de los datos en versión escritorio y móvil.

7.1.5 Distribución de las Unidades de Muestreo y asignación de responsables

Para el levantamiento de información en el campo, se realizó la asignación de 510 UM fuera de áreas protegidas para el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, distribuidas por región y subregión y la asignación de 205 UM al Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, distribuidas en 37 áreas protegidas, como se muestra en las tablas 2 y 3.

Tabla 2.
Distribución de las UM por región y subregiones INAB

REGION	SUBREGION	CANTIDAD	REGION	SUBREGION	CANTIDAD
I (11)	I	11	VI (26)	VI-1	4
II (95)	II-1	4		VI-2	5
	II-2	10		VI-3	6
	II-3	18		VI-4	2
	II-4	8		VI-5	9
	II-5	23	VII (80)	VII-1	15
	II-6	18		VII-2	21
	II-7	14		VII-3	20
III (26)	III-1	35		VII-4	16
	III-2	14		VII-5	8
	III-3	16	VIII (72)	VIII-1	23
	III-4	11		VIII-2	30
IV(56)	IV-1	15		VIII-3	8
	IV-2	22		VIII-4	11
	IV-3	19	IX (73)	IX-1	15
V (15)	V-1	5		IX-2	29
	V-2	10		IX-3	13
				IX-4	16
			CUERPOS DE AGUA	6	
			TOTAL		510

Nota. La tabla muestra la distribución de UM por región y subregión del INAB. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

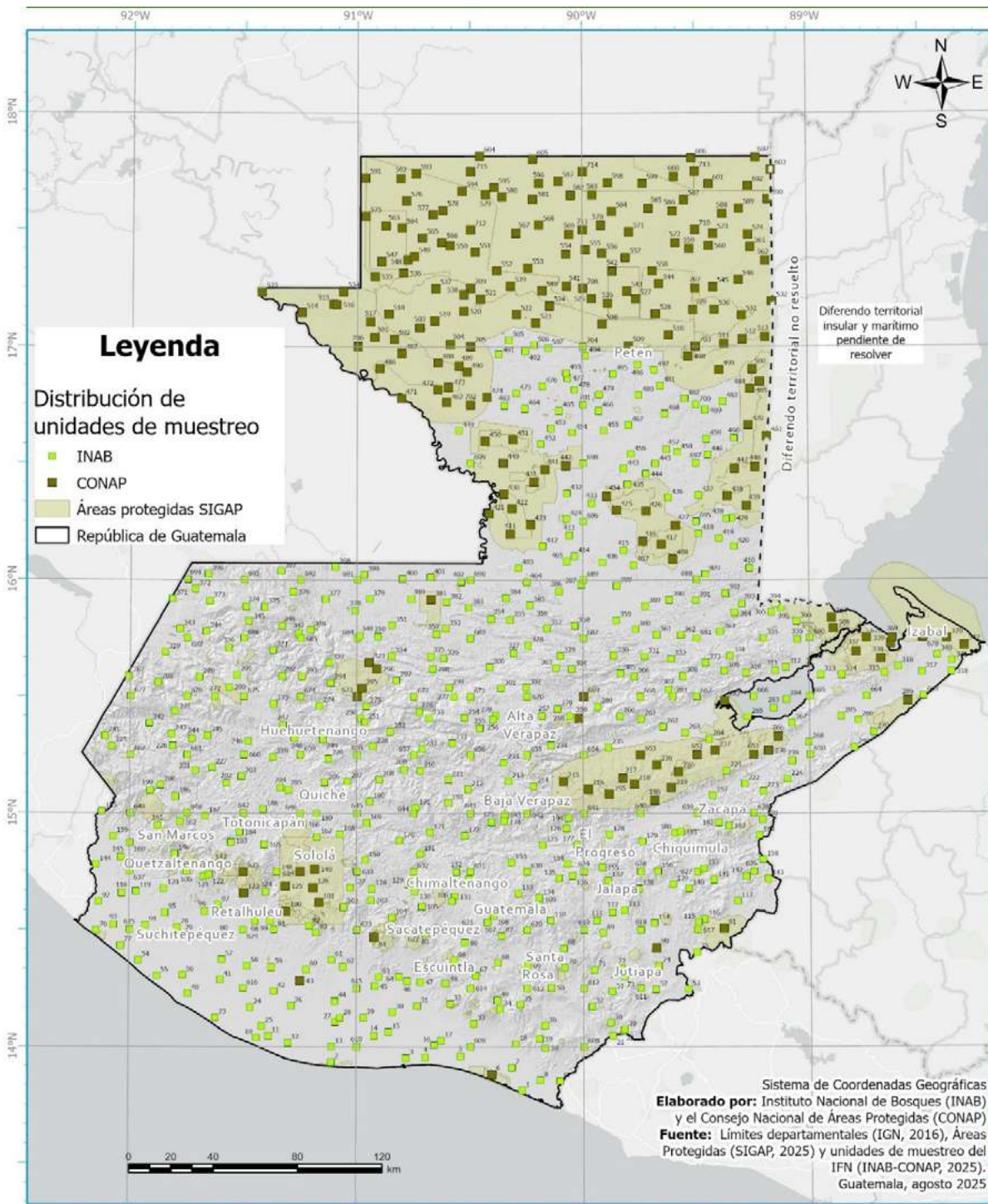
Distribución de las UM en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP)

ÁREA PROTEGIDA	CANTIDAD	ÁREA PROTEGIDA	CANTIDAD
Bandurria	1	Naachtún - Dos Lagunas	2
Ceibal	1	Petexbatún	1
Cerro San Gil	5	Punta de Manabique	3
Chocón Machacas	1	Río Sarstún	4
Concepción	1	San Miguel La Palotada - El Zotz	3
Cuenca del Lago Atitlán	5	San Román	7
El Pucté	2	Semuc Champey	1
Hawaii	1	Sierra Caral	1
Ixil Visis-Cabá	4	Sierra de las Minas	12
K'antí Shul	1	Sierra del Lacandón	14
Laguna del Tigre	21	Tikal	3
Laguna del Tigre -Río Escondido-	3	Trifinio	1
Laguna Lachuá	1	Volcán Agua	1
Las Nubes	2	Volcán Fuego	1
Lote 11	1	Volcán Ixtepeque	1
Machaquilá	6	Xutilhá	1
Maya	72	Yaxhá - Nakúm - Naranjo	3
Mirador - Río Azul	8	Zunil	1
Montañas Mayas Chiquibul	9	Total general	205

Nota. La tabla muestra la distribución de las UM dentro de las áreas protegidas, definida por el INAB y el CONAP. Fuente: elaboración propia.

Figura 6.

Mapa de distribución de UM por institución, dentro y fuera de áreas protegidas



Nota. El mapa muestra la distribución de las UM por institución, definida por el INAB y el CONAP.
 Fuente: Elaboración propia.

7.1.6 Trabajos previos a la salida de campo

Previo a la salida de campo para el establecimiento y compilación de la información de las UM, se contemplaron las siguientes actividades:

- Elaboración de mapas en formato *.pdf referenciando la ubicación de las UM.
- Conformación de brigadas institucionales de campo.
- Gestión de permisos para ingreso a las UM.
- Revisión de materiales y equipo de campo.
- Impresión de formularios de campo.

7.2 Fase de levantamiento de datos en campo

7.2.1 Conformación de la brigada.

La brigada de campo estuvo conformada por 5 personas capacitadas, descritas a continuación:

- 1 coordinador (técnico o profesional).
- 2 técnicos y/o profesionales forestales.
- 1 ayudante de campo.
- 1 taxónomo/dendrólogo, en algunos casos.

Los roles y funciones principales para cada uno de los integrantes se muestran en el Manual de campo para implementar el segundo IFN 2020. (INAB y CONAP, 2020a)

7.2.2 Preparación del equipo forestal y materiales.

Antes de partir al punto de la UM se realizó la revisión y preparación del equipo de medición y los materiales necesarios. Los cuales se enlistan en el Manual de campo para implementar el segundo IFN 2020. (INAB y CONAP, 2020a)

7.2.3 Establecimiento de la UM y levantamiento de información de campo.

El procedimiento que se utilizó para el establecimiento de la UM y el levantamiento de información de cada parcela se describe brevemente a continuación:

- Identificación del código de la UM.
- Configuración del GPS al sistema de coordenadas GTM e ingresar la coordenada teórica de la parcela 1.

- Registro de la ruta de acceso (track) hacia la UM.
- Ubicación de la marca permanente de la parcela 1 de la UM.
- Establecimiento de las parcelas de medición y registro de la información en los formularios de campo, detallado en el numeral 2.2 del Manual de campo para implementar el segundo IFN 2020 (INAB y CONAP, 2020a).

De las 715 UM planificadas para el levantamiento de datos a nivel nacional, se recopiló información en 494. Respecto a las 221 UM no muestreadas, 150 resultaron inaccesibles por falta de permisos para su ingreso, 70 ubicadas en áreas de alta conflictividad y 1 se ubicó fuera del país.

De las 494 UM con información recopilada, 440 cuentan con datos completos de las tres parcelas, mientras que 54 presentan información parcial, ya que solo fue posible obtener datos de una o dos parcelas debido ya sea por dificultades de acceso debido a la topografía del terreno o por la falta de permiso de los propietarios.

Las 150 UM inaccesibles corresponden a aquellas que fueron ubicadas y visitadas, pero presentaron inconvenientes durante el levantamiento de datos en campo por falta de permiso de los propietarios, conflictos sociales relacionados con la tenencia de la tierra y difícil acceso por la topografía del terreno.

Las 70 UM no muestreadas corresponden a las que no fueron ubicadas ni visitadas. La mayoría se localizan en la Sierra del Lacandón y Laguna del Tigre, territorios con alta conflictividad debido a la presencia de actividades ilícitas. Además, se ubican en áreas de alta pedregosidad, conocidas por su difícil acceso. De estas, 66 UM se encuentran dentro de áreas protegidas y 4 UM fuera de ellas.

7.2.4 Control de calidad de información de campo

Para esta actividad se procedió a seleccionar el 10% de las UM con información recopilada, equivalente a 49 UM. La metodología para el control de calidad de los datos de campo indicaba seleccionar una de las 3 parcelas de la UM y repetir el levantamiento de los datos.



Posteriormente, en gabinete se verificó la coincidencia entre la información recolectada durante el control de calidad en campo y la reportada inicialmente por la brigada, utilizando para ello el formulario de control de calidad de información de campo FCC1, que se muestra en el anexo 1. El umbral de coincidencia aceptable entre variables se fijó en más del 80 %; de no cumplirse, se procedía a corregir la base de datos o a eliminar las inconsistencias.

7.3 Fase de integración, consolidación y control de calidad de la base de datos

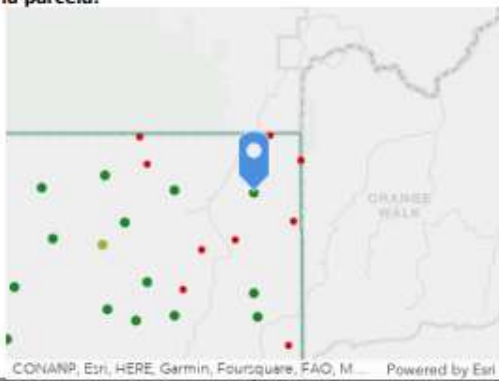
7.3.1 Monitoreo del levantamiento de UM y recopilación de formularios de campo

Para monitorear el avance del levantamiento de las UM y recopilar los formularios de campo, se utilizó la herramienta ArcGis Survey123 del Geoportal del INAB a través de la cual se realizó el llenado de información en una boleta digital, generando un reporte de avances, como lo muestra la figura 7. El reporte de avances contenía la ruta (track) en formato *.kml y un archivo digital de los formularios de campo físicos en formato *.pdf, además de la ubicación geográfica de la UM y condición de acceso a las parcelas.

Figura 7.
Formato del registro y reporte de la UM



REPORTE DE AVANCES
II INVENTARIO FORESTAL NACIONAL

Información de la UM	
Código de la UM	602
Institución responsable del establecimiento	Otra
Ubicación de la parcela:	
	
Departamento	PETEN
Municipio	Melchor de Mencos
Áreas protegidas	Si

Acceso a las parcelas

Parcela 1	Accesible
Parcela 2	Accesible
Parcela 3	Accesible

Adjuntos

Boletas en PDF	Si
Track's GPX	No
Indicar el caso	Otra
Especificar otra	no enviaron archivos

Información del reporte

Fecha de reporte	29/11/2023
Responsable del reporte	Sergio Solis
Cargo del responsable del reporte	Especialista Forestal

Nota. La figura muestra el formato de registro y reporte de la UM, con base a la información de INAB y CONAP. Fuente: elaboración propia.

7.3.2 Integración y consolidación de la base de datos

El proceso de integración de las bases de datos inició con la digitalización de la información de los formularios de campo, a través del software de recolección de datos Silvametricus, en una base de datos específica para cada UM, en formato *.accdb. Una vez digitalizada la información, la base de datos se enviaba vía correo electrónico al responsable del IFN. A medida que se recibió la información por UM, esta se fue integrando de forma escalonada, por subregión, por región y por área protegida, a la base de datos nacional.

De forma paralela, se llevó a cabo el proceso de consolidación de la base de datos nacional. Este consistió en la revisión de los campos de información con el fin de depurar y validar los registros. Durante esta etapa se verificaron los datos generales, la correcta consignación de los nombres de propietarios, la codificación de parcelas de acuerdo con las UM, las coordenadas geográficas, las categorías de uso de la tierra, el DAP y las alturas atípicas de los árboles, así como los nombres comunes de las especies forestales por parcela, entre otras variables.

7.3.3 Control de calidad de información de la base de datos

El control de calidad de la base de datos se realizó con los softwares R y Access, verificando y validando las variables y subvariables por parcela que se muestran en la tabla No. 4, proceso que se realizó en la base de datos nacional.

Tabla 4.
Variables revisadas en el proceso de control de calidad

Variable	Subvariable	Descripción del control de calidad
Código de la UM		<ul style="list-style-type: none">Se revisaron los códigos de identificación de la UM con base a los códigos departamentales y municipales del Instituto Geográfico Nacional que coincidiera con el formulario físico y digital, la ruta (tracks). Se corrigieron aquellos que no coincidían con el código predefinido en el diseño del segundo IFN.Se clasificaron las UM con información completa e incompleta, en el caso de la UM incompletas se descartaron del análisis de resultados.Revisión y complementación de información de poblados, pueblos originarios y comunidades lingüísticas.
Categoría de uso de la tierra		<ul style="list-style-type: none">Se verificaron y corrigieron las categorías de uso de la tierra, verificando coherencia de la información de campo e imágenes satelitales con las definiciones y umbrales relacionadas para cada uso de la tierra.
Coordenadas de la marca permanente	Coordenada teórica y real	<ul style="list-style-type: none">Se revisaron las coordenadas X y Y de cada parcela, corroborando la ubicación, cantidad de caracteres y verificando el formulario en físico.
Accesibilidad		<ul style="list-style-type: none">Se corrigió el atributo de accesibilidad asignado en gabinete a aquellas UM categorizadas como inaccesibles, en los casos en que durante la fase de campo fue posible llegar a ellas.

Nombre científico y nombre común de especies arbóreas		<ul style="list-style-type: none"> Se asignaron nombres científicos de especies catalogadas como desconocidos, en función de nombres comunes, listado oficial de especies del INAB y listados de especies del inventario 2003, consignando dentro de la base de datos de Access el nombre científico correcto.
DAP	DAP en bosque seco, DAP según tipo de parcela	<ul style="list-style-type: none"> Se revisaron los DAP de los árboles de las UM que estaban dentro del ecosistema de bosque seco, verificando que solo dentro de esta categoría podían tener DAP entre 5 a 9.9 cm. Se revisaron DAP máximos y mínimos en cada parcela anidada, verificando que en la parcela de radio de 10 metros que estuviesen los diámetros 10 a 19.9 cm de DAP y la parcela de radio de 15 metros estén todos los árboles con diámetros mayores a 20 cm de DAP.
Altura	Alturas medidas con hipsómetro, alturas estimadas sin instrumento	<ul style="list-style-type: none"> Al existir alturas medidas sin instrumento en campo, se realizó validación estadística de las mismas evaluando la existencia de diferencias estadísticas significativas con alturas medidas con instrumento del mismo tipo de bosque, grupo de especie y especie, cuando fue necesario. Se establecieron reglas de decisión para validar las alturas medidas sin instrumento, considerando las diferencias estadísticas significativas, la magnitud del p-valor y la magnitud de la diferencia entre las medias. Para 168 árboles de 6 especies de coníferas no se validó la altura medida sin instrumento, por lo que se generó un modelo matemático para su estimación: $\text{Altura total} = 29.9004 * \exp(-17.2803/\text{DAP}).$ Se revisaron las alturas máximas y mínimas de los árboles y, al compararlas con el formulario físico, se consignaron los datos correctos. En algunos casos, se identificaron errores como alturas ingresadas en centímetros en lugar de metros o datos sin punto decimal. Se revisaron las ecuaciones alométricas de volumen para asegurar que coincidieran correctamente con la especie a la que debían aplicarse. Se utilizaron ecuaciones alométricas de volumen basadas en DAP y altura total, considerando que la altura del fuste y/o la altura comercial no se registró para la totalidad de los árboles medidos. Para coníferas se aplicaron ecuaciones nacionales; en el caso de latifoliadas, al no existir ecuaciones para altura total, se emplearon las generadas por SIBIFOR-CONAFOR en Campeche y Chiapas, utilizando las de Campeche para el estrato 1 y las de Chiapas para los estratos 2 y 3. Se revisaron y compararon los cálculos de resultado con los programas Silvametricus y R.
Área basal, volumen total, densidad de árboles		
Biomasa y carbono aérea y subterránea	DAP, densidad de la madera (mangle), factor IPCC para carbono	<ul style="list-style-type: none"> Se revisaron las fórmulas empleadas para cuantificar la biomasa, verificando su correspondencia por estrato, tipo de bosque y especie. Se revisó que cada árbol, según su especie estuviese asociado al tipo de bosque que le corresponde y se aplicó la ecuación respectiva. Para los cálculos de la biomasa aérea, se incluyeron en la base de datos los límites de utilización de DAP máximos y mínimos según la especie y tipo de bosque, vinculados a cada ecuación utilizada. Se revisaron las densidades específicas en las fórmulas utilizadas para el cálculo de la biomasa subterránea específicamente para especies de mangle. Se actualizó el factor del IPCC para el cálculo de carbono de 0.5 a 0.47

Biomasa y carbono en hojarasca	Peso total de la muestra en campo, peso húmedo de la muestra de campo, Peso seco de la muestra de laboratorio, % humedad de la muestra, % carbono de la muestra de laboratorio, factor IPCC para carbono	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de coherencia de los resultados de los informes del laboratorio del CEAB. Se verificó en gabinete que el dato de peso total de la muestra colectada en campo estuviera registrado en kilogramos y que fuera mayor al peso de la submuestra colectada en campo, registrada en gramos. Se corrigen datos según fuese necesario. Se verificó que el peso seco de la submuestra fuera menor o igual al peso húmedo. Se actualizó el factor del IPCC para el cálculo de carbono de 0.5 a 0.47. Revisión en bases de datos y formularios de campo de parcela con dato cero, incluida en análisis y parcela sin recopilación de datos de campo, excluida de análisis.
Biomasa y carbono en tocones	Diámetro, altura, factor de carbono, densidad de la madera de acuerdo con grado de descomposición	<ul style="list-style-type: none"> Se verificaron diámetros en centímetros y alturas en metros, máximas y mínimas de los tocones, comparando con formularios físicos de las UM. Para el caso de valores extremos de diámetro y alturas (ejemplo: 0.1 cm y 150 cm de diámetro; alturas mayores a 2 m) fueron verificados con los formularios físicos. Se verificaron los factores de carbono de carbono según el estado de descomposición. Revisión de parcela con dato cero, incluida en análisis y parcela sin recopilación de datos de campo, excluida de análisis.
Biomasa y carbono en madera muerta caída	Diámetro, factor de carbono	<ul style="list-style-type: none"> Se verificó que los diámetros no fueran menores a 5 cm. Se verificaron los factores de carbono de carbono según el estado de descomposición. Revisión de parcela con dato cero, incluida en análisis y parcela sin recopilación de datos de campo, excluida de análisis.
Carbono en Suelo	Profundidad efectiva, densidad aparente % carbono	<ul style="list-style-type: none"> La profundidad utilizada para el cálculo de carbono en el suelo fue de 0 hasta 30 cm. En los casos donde la profundidad del suelo era mayor, se limitó a 30 cm. Para las muestras obtenidas a menos de 30 cm, se utilizó la profundidad registrada. Revisión de coherencia de los resultados de los informes del laboratorio del CEAB.

Nota. La tabla muestra las variables y atributos revisados corregidos. Fuente: elaboración propia.

7.3.4 Análisis de representatividad de las 494 UM con información recopilada

Con la finalidad de determinar la representatividad de las 494 UM para realizar los cálculos de las variables de interés, se realizó una simulación aleatoria post-estratificada con 10,000 réplicas, utilizando la base de datos de usos de la tierra de Collect Earth de los niveles de referencia forestal. Se dividieron las UM en dos grupos: uno con 715 UM planificadas y otro con 494 UM muestreadas. Los puntos fueron seleccionados aleatoriamente utilizando una malla, con cuadrantes de 12.4 x 12.4 km, asignando un punto por cuadrante. Posteriormente, se calculó el promedio de las áreas de los usos de la tierra para ambos grupos. Al comparar las medias de las superficies de los usos de la tierra por cada grupo, se concluyó que no existe una diferencia significativa entre las medias, con un nivel de confianza del 99.9%. La diferencia observada fue una proporción de 0.014, con un valor máximo de 0.044 (sobrestimando la proporción de área de bosque en 0.044) y un valor mínimo de -0.047 (subestimando la proporción de área de bosque en 0.047).

7.3.5 Método de cálculo de variables de resultados cuantitativas

El análisis de las variables cuantitativas se efectuó mediante un cálculo post-estratificado con estimadores de razón. El término post-estratificado indica que, en primera instancia, se seleccionó una muestra sistemática no alineada de la población y, posteriormente, se aplicó la estratificación (Cochran, 1977).

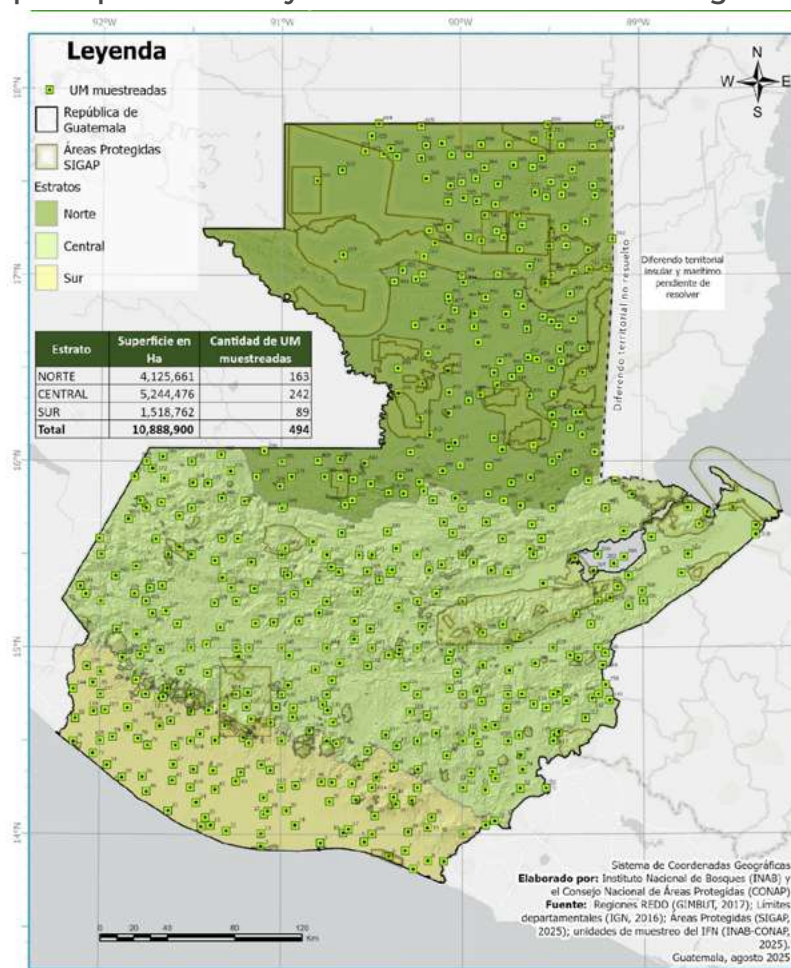
Se definieron tres estratos, delimitados según parámetros fisiográficos, edáficos y climáticos, vinculados a las regiones de implementación de la estrategia REDD+ (MARN et al., 2020).

Los estratos norte y sur corresponden a los mismos territorios de las regiones de implementación REDD+ del mismo nombre, mientras que el estrato centro se conforma de las regiones Occidente, Sarstún-Motagua y Centro-Oriente. Las UM quedaron distribuidas en cada estrato de la siguiente manera:

- El estrato norte 163 UM.
- El estrato centro 242 UM.
- Y la región sur de 89 UM.

Figura 8.

Mapa de post-estratos y unidades muestradas del segundo IFN



Nota. La figura muestra los tres estratos del segundo IFN y cantidad de UM por estratos.

Fuente: elaboración propia, con base a la información del segundo IFN.

Para cada variable se realizó la sumatoria de su valor total por categoría de uso de la tierra en cada estrato, con el fin de determinar un promedio estratificado ponderado. Finalmente, el resultado es similar al obtenido mediante muestreo aleatorio estratificado, con la diferencia de que en la post-estratificación, los tamaños de muestra en cada estrato son variables aleatorias, ya que no están predeterminados y pueden variar entre muestras. Esta fuente de variación se contabiliza en el segundo término del estimador de varianza.

En la tabla siguiente se describen los componentes evaluados y las variables cuantitativas vinculadas a cada uno:

Tabla 5.

Componente evaluado, variables cuantitativas de interés

Componente evaluado	Variable/atributo de interés	
Uso de la tierra	X =	Proporción de área
Arboles	Y =	Área basal
		Densidad
		Volumen
		Biomasa (aérea y subterránea)
		Carbono (aéreo y subterráneo)
Madera muerta		Biomasa
Hojarasca		Carbono
		Biomasa
		Carbono
Suelo		Carbono

Ecuaciones para la estimación de la media post-estratificada para el atributo de interés “X”

$$\bar{X}_{d'} = \sum_h^H W_h \bar{X}_{hd'} = \sum_h^H W_h \frac{\sum_i^{n_h} x_{hid'}}{\sum_i^{n_h} a_{hi}}$$

Ecuación 1: Estimación de la media del atributo de interés “X”
donde:

- H = número total de estratos
- h = h ésimo estrato
- W_h = peso para el estrato (norte, centro, sur)
- N_h = área o número de puntos de muestreo de primera fase en el estrato h
- N = superficie total o número total de puntos de muestreo de primera fase en todos los estratos
- n_h = número total de parcelas de muestra en el estrato h
- n = número total de parcelas de muestra en todos los estratos
- X_{hid'} = el atributo de interés “X” en el dominio de interés d’ sobre la parcela i en el estrato h
- a_{hi} = es el área de la parcela i en el estrato h

$\bar{X}_{hd'}$ = media del atributo de interés "X" en el dominio de interés d' en el estrato h

$\bar{X}_{d'}$ = media del atributo de interés "X" en el dominio de interés d'

$$v(\bar{X}_{d'}) = \frac{1}{n} \left[\sum_h^H W_h s_h^2 + \sum_h^H (1 - W_h) \frac{s_h^2}{n} \right]$$

Ecuación 2: Estimación de varianza de la media post-estratificada.

donde

$v(\bar{X}_{hd'})$ = es la estimación de la varianza para la media de la variable de interés "X"

S_h^2 = es la estimación de la varianza para el estrato h

n = número total de unidades de muestreo en todos los estratos

H = número total de estratos

h = h ésimo estrato

Y la varianza de la variable de interés "X" del estrato h se estima con la siguiente ecuación:

$$s_h^2 = \frac{n_h^2}{n_h - 1} \frac{\sum_i^{n_h} x_{hid'}^2 - 2\bar{x}_{hd'} \sum_i^{n_h} x_{hid'} a_{hi} + \bar{x}_{hd'}^2 \sum_i^{n_h} a_{hi}^2}{\left(\sum_i^{n_h} a_{hi}\right)^2}$$

Ecuación 3: Estimación de varianza de la variable de interés "X" del estrato h

donde:

S_h^2 = varianza de la variable de interés "X" del estrato h

n_h = número total de parcelas de muestra en el estrato h

$X_{hid'}$ = el atributo de interés "X" en el dominio de interés d' sobre la parcela i en el estrato h

a_{hi} = es el área de la parcela i en el estrato h

$\bar{X}_{hd'}$ = media del atributo de interés "X" en el dominio de interés d' en el estrato h

$\bar{X}_{d'}$ = media del atributo de interés "X" en el dominio de interés d'

Ecuaciones para la estimación de la media post-estratificada para el atributo de interés “Y”

$$\bar{Y}_d = \sum_h^H W_h \bar{Y}_{hd} = \sum_h^H W_h \frac{\sum_i^{n_h} y_{hid}}{\sum_i^{n_h} a_{hi}}$$

Ecuación 4: Estimación de la media del atributo de interés “Y”

donde:

H = número total de estratos

h = h ésimo estrato

W_h = peso para el estrato

N_h = área o número de puntos de muestreo de primera fase en el estrato h

N = superficie total o número total de puntos de muestreo de primera fase en todos los estratos

n_h = número total de parcelas de muestra en el estrato h

n = número total de parcelas de muestra en todos los estratos

y_{hid} = el atributo de interés en el dominio de interés d sobre la parcela i en el estrato h

a_{hi} = el área de la parcela i en el estrato h

\bar{Y}_{hd} = media del atributo de interés en el dominio de interés d en el estrato h

\bar{Y}_d = media del atributo de interés en el dominio de interés d

Y la varianza de la variable de interés “Y” se estima con la siguiente ecuación:

$$v(\bar{Y}_d) = \frac{1}{n} \left[\sum_h^H W_h s_h^2 + \sum_h^H (1 - W_h) \frac{s_h^2}{n} \right]$$

Ecuación 5: Estimación de varianza de la variable de interés “Y” la media post-estratificada

$v(\bar{Y}_d)$ = es la estimación de la varianza para la media de la variable de interés “Y”

S_h^2 = es la estimación de la varianza para el estrato h

n = número total de unidades de muestreo en todos los estratos

H = número total de estratos

h = h ésimo estrato

Y la varianza de la variable de interés “Y” del estrato h se estima con la siguiente ecuación:

Ecuaciones para la estimación del total post-estratificado de la variable de interés “X”

El total del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’ se estima multiplicando por el área nacional por la media del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’:

$$\hat{X}_{d'} = A \bar{X}_{d'}$$

Ecuación 5: Estimación del total del atributo de interés “X”
donde:

\bar{X}_d = media del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’
 $\hat{X}_{d'}$ = total del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’
A = Área nacional

Ecuaciones para la estimación del total post-estratificado de la variable de interés “Y”

El total del atributo de interés en el dominio de interés d se estima multiplicando por el área nacional por la media del atributo de interés en el dominio de interés d:

$$\hat{Y}_d = A \bar{Y}_d$$

Ecuación 6: Estimación del total del atributo de interés “y”
donde:

\bar{Y}_d = media del atributo de interés en el dominio de interés d
 \hat{Y}_d = total del atributo de interés en el dominio de interés d
A = Área nacional

La estimación de la varianza del total de la variable de interés “Y” se determinó multiplicando el área nacional al cuadrado por la varianza de la media de la variable de interés “Y”.

$$v(\hat{Y}_d) = A^2 v(\bar{Y}_d)$$

Ecuación 7: Estimación de la varianza del total de la variable de interés “Y”

Ecuaciones para la estimación de la razón post-estratificada

La razón se calcula dividiendo el total de atributo “Y” del dominio d entre el total del atributo “X” del dominio de interés (d') donde d es un subconjunto de d':

$$\hat{R}_{dd'} = \frac{\hat{Y}_d}{\hat{X}_{d'}} = \frac{A \sum_h^H W_h \bar{Y}_{hd}}{A \sum_h^H W_h \bar{X}_{hd'}} = \frac{\sum_h^H W_h \bar{Y}_{hd}}{\sum_h^H W_h \bar{X}_{hd'}}$$

Ecuación 9: Estimación de la razón post-estratificado

donde:

$\hat{R}_{dd'}$ = razón del atributo de interés en el subdominio de interés d del dominio d'

\hat{Y}_d = total del atributo de interés “Y” en el dominio de interés d

$\hat{X}_{d'}$ = total del atributo “X” en el dominio de interés d'

\hat{A} = Área nacional

W_h = peso para el estrato

\bar{Y}_{hd} = media del atributo de interés “Y” en el dominio de interés d en el estrato h

$\bar{X}_{hd'}$ = media del atributo “X” en el dominio de interés d' en el estrato h

Para estimar la varianza de razón post-estratificada se utiliza la el total del atributo “X” en el dominio de interés d'

$$v(\hat{R}_{dd'}) = \frac{1}{\hat{X}_{d'}^2} [v(\hat{Y}_d) + \hat{R}_{dd'}^2 v(\hat{X}_{d'}) - 2 \hat{R}_{dd'} cov(\hat{Y}_d, \hat{X}_{d'})]$$

Ecuación 10: Estimación de la varianza de razón post-estratificada

donde:

$v(\hat{R}_{dd'})$ = Varianza de la razón del atributo de interés en el subdominio de interés d del dominio d'

$\hat{R}_{dd'}$ = razón del atributo de interés en el subdominio de interés d del dominio d'

$v(\hat{Y}_d)$ = varianza del total del atributo de interés “Y” en el dominio de interés d

$v(\hat{X}_{d'})$ = varianza del total del atributo “X” en el dominio de interés d'

$cov(\hat{Y}_d, \hat{X}_{d'})$ = covarianza de los totales atributos de interés “X” en el dominio d' y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d'

Para estimar la covarianza de los totales atributos de interés “X” en el dominio d' y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d'.

$$\text{cov}(\hat{Y}_d, \hat{X}_{d'}) = \frac{A^2}{n} \left[\sum_h^H W_h \text{cov}(Y_{hd}, X_{hd'}) + \sum_h^H (1 - W_h) \frac{\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd'})}{n} \right]$$

Ecuación 11: Covarianza de las variables de interés “Y” y “X” en el dominio de interés d

donde:

$\text{cov}(\hat{Y}_d, \hat{X}_{d'})$ = covarianza de los totales atributos de interés “X” en el dominio d’ y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d’

A = Área nacional

W_h = peso para el estrato

n = número total de unidades de muestreo en todos los estratos

$\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd'})$ = covarianza de los atributos de interés “X” en el dominio d’ del estrato h y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d’ del estrato h

Para estimar la covarianza de los atributos de interés “X” en el dominio d’ del estrato h y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d’ del estrato h.

$$\begin{aligned} \text{cov}(Y_{hd}, X_{hd'}) &= \frac{n_h^2}{(n_h - 1)} \frac{\sum_i^{n_h} (y_{hid} - a_{hi} \bar{y}_{hd}) (x_{hid'} - a_{hi} \bar{x}_{hd'})}{(\sum_i^{n_h} a_{hi})^2} \\ &= \frac{n_h^2}{(n_h - 1)} \frac{\sum_i^{n_h} y_{hid} x_{hid'} - \bar{y}_{hd} \sum_i^{n_h} a_{hi} x_{hid'} - \bar{x}_{hd} \sum_i^{n_h} a_{hi} y_{hid'} + (\sum_i^{n_h} a_{hi}^2) \bar{y}_{hd} \bar{x}_{hd'}}{(\sum_i^{n_h} a_{hi})^2} \end{aligned}$$

Ecuación 12: Covarianza de las variables de interés “Y” y “X” en el dominio de interés d en el estrato h

donde:

$\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd'})$ = covarianza de los atributos de interés “X” en el dominio d’ del estrato h y “Y” en el subdominio de interés d del dominio d’ del estrato h

W_h = peso para el estrato

n_h = número total de parcelas de muestra en el estrato h

n = número total de parcelas de muestra en todos los estratos

$X_{hid'}$ = el atributo de interés “X” en el dominio de interés d’ sobre la parcela i en el estrato h

a_{hi} = es el área de la parcela i en el estrato h

$\bar{X}_{hd'}$ = media del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’ en el estrato h

\bar{X}_d = media del atributo de interés “X” en el dominio de interés d’

Y_{hid} = el atributo de interés en el dominio de interés d sobre la parcela i en el estrato h

\bar{Y}_{hd} = media del atributo de interés en el dominio de interés d en el estrato h

\bar{Y}_d = media del atributo de interés en el dominio de interés d

Intervalo de confianza

Para calcular el intervalo de confianza se utilizó un nivel de confianza del 95% y debido a que se desconoce la varianza poblacional se utilizó t-student.

$$\left(\bar{x} - t_{1-\alpha/2} * \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{1-\alpha/2} * \frac{S_x}{\sqrt{n}} \right)$$

Ecuación 13: Intervalo de confianza

$$e = t_{1-\alpha/2} * \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 14: Error de estimación

$$e (\%) = \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{S_x}{\sqrt{n}}}{\bar{x}} * 100$$

Ecuación 15: Porcentaje del error de estimación

donde:

x = media del atributo de interés

S_x = desviación estándar del atributo de interés

$t_{1-\alpha/2}$ = cuantil de t-student

α = nivel de significancia

n = número total de parcelas de muestra en todos los estratos

7.3.6 Revisión de resultados por Comité Interinstitucional

El Comité Interinstitucional, integrado por el INAB y el CONAP, se conformó con el propósito de acompañar la fase final del segundo IFN.

Además de revisar y validar los resultados, este comité desempeñó un papel en el control de calidad de los datos, verificando la coherencia, consistencia y confiabilidad de la información generada en campo y gabinete. Asimismo, se encargó de analizar el alcance de los resultados, evaluando la pertinencia de los productos del IFN para los distintos niveles de planificación y gestión forestal, y de reafirmar el nivel de detalle de la información que se presentaría en el informe final, tomando en cuenta tanto las necesidades técnicas como las de política pública.



RESULTADOS

8. RESULTADOS

Los resultados de las variables del segundo IFN, recopilados en 494 UM, se presentan en función de las categorías de uso de la tierra, lo que permite organizar y analizar la información de manera jerárquica, como se describe en la tabla inferior. Estas categorías están estructuradas desde un nivel general (tierras forestales y otros usos de la tierra), pasando por un nivel intermedio en los niveles 1 y 2 (bosque, plantaciones, sistemas agroforestales, cultivos anuales, cultivos perennes, entre otros), hasta un nivel específico que detalla los distintos tipos de bosque y otros usos de la tierra. Esta forma de clasificación asegura que las variables estén vinculadas a la categoría de uso evaluada.

Tabla 6.
Descripción de los niveles de categoría de uso

Nivel	Descripción
General	Presenta resultados agrupados en dos grandes categorías: Tierras forestales y Otros usos de la tierra. Esta clasificación permite cumplir con el objetivo general del IFN, que es conocer el estado de los territorios con cobertura forestal en lo que a bosques y plantaciones forestales se refiere y de los árboles fuera de estos territorios, es decir en otros usos de la tierra que no poseen cobertura forestal.
Nivel 1	Este nivel sigue la clasificación propuesta por el IPCC (2006) para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, garantizando compatibilidad con los estándares internacionales. En este nivel se distinguen seis categorías: tierras forestales (al igual que en el nivel general), tierras de cultivo, pastizales, humedales y cuerpos de agua, asentamientos, y árboles dispersos y otras tierras.
Nivel 2	Corresponde a una clasificación detallada, basada en la metodología CORINE Land Cover, adaptada al contexto nacional. Permite diferenciar subcategorías dentro de las tierras forestales como bosque o plantaciones y dentro de los otros usos de la tierra como cultivos agrícolas, áreas urbanas, cuerpos de agua, entre otros. En este nivel hay 2 categorías de tierras forestales y 16 de otros usos de la tierra.
Nivel 3	Representa el mayor nivel de desagregación, brindando información específica sobre tipos de bosques (latifoliado, conífero, mixto, mangle, seco), así como tipos particulares de otros usos de la tierra. En este nivel hay 5 categorías de tierras forestales y 27 de otros usos de la tierra.

Nota. Para las variables directamente vinculadas a los árboles, como volumen, biomasa aérea y subterránea, y carbono aéreo y subterráneo, la categoría de otros usos de la tierra se denomina “árboles en otros usos de la tierra”. La categoría “tierras forestales” en el nivel general y el nivel 1 se mantiene igual. Fuente: elaboración propia.

Precisión por nivel de categoría de uso de la tierra, variables cuantitativas

La precisión de los resultados del segundo IFN varía según el nivel de detalle y la categoría de uso de la tierra considerada. Para su interpretación, es importante tomar en cuenta que la precisión se expresa en función del porcentaje del Error de Muestreo (EM), y que a menor EM corresponde una mayor precisión. En este sentido, los resultados se clasifican en cinco categorías de precisión, con base en rangos definidos de EM: muy alta (<10%), alta (10–15%), media (15–20%), baja (20–40%) y muy baja (>40%).

En el nivel general, los resultados en las categorías de tierras forestales presentan una muy alta precisión en las estimaciones de superficie, y entre muy alta y media para variables de volumen, área basal, densidad, biomasa y carbono aéreo y subterráneo. Al referirse a otros usos de la tierra, la precisión es muy alta para la estimación de superficie, no obstante, para las variables de volumen, área basal, densidad, biomasa y carbono aéreo y subterráneo es media y baja. Con respecto a biomasa y carbono en hojarasca, la precisión es media, con 349 UM; para biomasa y carbono en madera muerta los valores de precisión son bajos con representatividad limitada al haber levantado 238 UM. El carbono en suelo se ubica en un rango de alta precisión, sin embargo, es importante considerar que se levantaron 343 UM.

En el nivel 1, la superficie de tierras forestales, de cultivo y pastizales se estima con precisión entre alta y media, mientras que categorías como humedales, cuerpos de agua, asentamientos y árboles dispersos muestran errores más altos, ubicándose en categorías bajas a muy bajas. En el nivel 2, las estimaciones para los bosques en conjunto presentan precisiones muy altas a altas en todas las variables medidas, en el caso de las plantaciones, la precisión es baja.

Finalmente, en el nivel 3, la desagregación por tipo de bosque evidencia diferencias notables: los bosques latifoliados mantienen una precisión muy alta a alta, mientras que los bosques mixtos presentan precisiones medias a bajas, limitando su uso para identificar tendencias generales, planificación a escala regional amplia. Los bosques de coníferas y bosques secos muestran errores de muestreo altos, por lo que su precisión es muy baja. El caso más extremo corresponde al bosque de mangle, cuya superficie se estima con un error de muestreo muy elevado, también clasificado como muy baja precisión. Asimismo, se registran árboles en 27 categorías de otros usos de la tierra, sin embargo, debido a la baja representatividad en algunas y la alta variabilidad, presentan altos errores de muestreo y baja precisión.

Las precisiones bajas ($EM > 20\%$, $\leq 40\%$) definidas en el segundo IFN, limitan el uso de las variables para identificar tendencias generales, planificación a escala regional amplia o a escala nacional, según el nivel de categoría de uso. Las precisiones muy bajas ($EM > 40\%$) limitan la utilización de las variables para fines cuantitativos.

Para las variables cuantitativas, con excepción de superficie en el nivel 1, los niveles 1, 2 y 3 de categorías de uso distintas a tierras forestales no se presentan con detalle en el apartado de resultados. Esto se debe a que dichas categorías presentan baja y muy baja precisión, correspondientes a estudios de reconocimiento. En este sentido, los resultados para las variables de volumen, área basal y densidad en estos niveles se presentan en los Anexos 6, 7 y 8, respectivamente.

Para el uso más adecuado de la información, es indispensable considerar la precisión con la que se presenta cada resultado. En el marco del segundo IFN, los resultados de muy alta, alta y media precisión son adecuados para análisis, planificación y políticas públicas, así como lineamientos técnicos, todos a nivel nacional. Por el contrario, aquellos resultados con baja o muy baja precisión deben interpretarse principalmente como información de carácter referencial o de línea base, útil para orientar investigaciones más específicas o procesos de seguimiento, correspondientes a estudios de reconocimiento.

Tabla 7.
Precisión de resultados por nivel de categoría de uso de la tierra, variables cuantitativas

Nivel de categoría de uso	Categoría de uso	Variables	EM (%)	Precisión
General	Tierras forestales y otros usos de la tierra	Superficie	6 – 10	Muy alta
	Tierras forestales	Volumen ¹ , área basal ¹ , densidad ¹ , biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	9 – 18	Muy alta a media
	Otros usos de la tierra	Volumen ¹ , área basal ¹ , densidad ¹ , biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	17 – 40	Media a baja
	Tierras forestales y otros usos de la tierra	Biomasa y carbono en hojarasca (349 UM)	15 – 20	Media
	Tierras forestales y otros usos de la tierra	Biomasa y carbono en madera muerta (238 UM)	25 – 37	Baja
	Tierras forestales y otros usos de la tierra	Carbono en suelo (343 UM)	14 – 15	Alta
Nivel 1	Tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales	Superficie	10 – 16	Alta a media
	Humedales y cuerpos de agua, asentamientos, árboles dispersos y otras tierras	Superficie	23 – 44	Baja a muy baja
Nivel 2	Bosque	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	7 – 11	Muy alta a alta

	Plantaciones	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	23 – 48	Baja a muy baja
Nivel 3	Bosque latifoliado	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	8 – 13	Muy alta a alta
	Bosque de coníferas	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	40 – 81	Muy baja
	Bosque mixto	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	17 – 29	Media a baja
	Bosque seco	Superficie, volumen, área basal, densidad, biomasa aérea y subterránea, carbono aéreo y subterráneo	41 – 56	Muy baja
	Bosque de mangle	Superficie	138	Muy baja

Nota: Para las variables volumen, área basal y densidad se incluyen los resultados obtenidos para todas las especies, especies comerciales y especies usadas para leña.

Alcances y limitaciones de resultados

En el marco del segundo IFN, es importante precisar el alcance y las limitaciones de la información generada, con el fin de orientar al lector sobre el mejor uso de los resultados. En cuanto a sus alcances, este estudio constituye una referencia confiable sobre el estado de las tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra del país, aportando datos sobre variables cuantitativas vinculadas a los árboles como volumen, áreas basales, densidades. Además, permite conocer la superficie de cobertura forestal a nivel nacional y aporta una visión general de la composición de familias, géneros y especies que conforman los bosques, plantaciones y árboles en otros usos de la tierra. Otro aporte fundamental es brindar datos sobre biomasa y el carbono almacenado en distintos reservorios a nivel nacional, constituyéndose en un insumo estratégico para procesos de planificación en torno a los recursos forestales e investigaciones a nivel de reconocimiento, considerando las UM levantadas, que fue menor de 494 para estas variables.

Adicionalmente, el segundo IFN incorpora variables cualitativas a nivel de reconocimiento, tales como el uso, prioridad y destino de productos del bosque, la identificación de especies según su uso y función ecológica, la forma de fuste, la condición fitosanitaria, la composición de la estructura vertical del bosque, perturbaciones naturales y antropogénicas, así como información sobre comunidades étnicas y actividades productivas. Estas variables se obtuvieron mediante entrevistas, encuestas y observaciones directas en las UM y parcelas. Dado que se registraron a nivel de reconocimiento, no cuentan con cálculo de error de muestreo ni con

categorización de precisión. En el caso de la regeneración natural, se realizó conteo de brinzales y latizales en campo, los resultados también se presentan únicamente a nivel de reconocimiento. Estas variables aportan información complementaria sobre las tierras forestales y los árboles en otros usos de la tierra, constituyéndose en un insumo de línea base.

El segundo IFN también presenta limitaciones que deben ser consideradas al momento de utilizar la información. Por consiguiente, no es posible derivar de estos resultados la distribución de la cobertura forestal en escalas territoriales específicas como departamentos, municipios, cuencas hidrográficas, ecorregiones, ecosistemas o áreas protegidas; ni fundamentar decisiones institucionales de carácter estratégico en estos niveles. Asimismo, la información generada no es suficiente para determinar el estado de conservación a nivel de familia, género o especie, ni para tomar decisiones sobre su manejo, como la inclusión o exclusión en listas nacionales o internacionales de especies amenazadas. La definición de lineamientos técnicos en manuales, reglamentos u otros instrumentos de gestión se debería limitar a un enfoque nacional, aplicable a tierras forestales o árboles fuera de bosque, o a categorías como tipos de bosque, considerando en este caso la precisión de cada resultado, la naturaleza específica de cada tipo de bosque respecto a su variabilidad en los distintos estratos, regiones fisiográficas, zonas de vida y ecosistemas específicos. De igual forma, los resultados en materia de sanidad forestal no deben utilizarse como base para elaborar estrategias o planes nacionales y regionales de salud, ni para diseñar planes operativos de prevención y control de plagas y enfermedades en especies o ecosistemas específicos.

En este sentido, el segundo IFN debe interpretarse como una herramienta de referencia de alcance nacional, cuya utilidad radica en proveer información confiable para caracterizar de manera general el estado de los bosques de Guatemala y árboles fuera de bosques, orientar políticas públicas, estrategias, planes y lineamientos a escala nacional, así como aportar indicadores de cumplimiento de compromisos internacionales a escala regional amplia.

8.1 Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra

En el marco del segundo Inventario Forestal Nacional, conocer la superficie de las tierras forestales y otros usos de la tierra es fundamental porque constituye la base territorial sobre la cual se interpretan todas las demás variables presentadas.

Esta información permite estimar cuánta superficie está cubierta por bosques y cuánta corresponde a otros usos de la tierra como agricultura, pastizales o infraestructura, lo que resulta clave para comprender la dinámica del uso del suelo

y planificar políticas de ordenamiento territorial. Asimismo, al establecer una línea base, facilita el seguimiento de procesos de deforestación, degradación, regeneración y cambios de uso, proporcionando insumos esenciales para orientar acciones de conservación y restauración.

Finalmente, conocer esta variable permite valorar el papel de los bosques en la provisión de servicios ecosistémicos y en la mitigación del cambio climático, así como fundamentar decisiones relacionadas con el uso sostenible de los recursos, la restauración ecológica y la conservación de la biodiversidad.

8.1.1 Superficies por categoría de uso, nivel general

A nivel general, los resultados del Segundo IFN estiman que la superficie de tierras forestales equivale al 38% del territorio nacional, lo que corresponde a aproximadamente 4.14 millones de hectáreas, el restante 62% corresponde a otros usos de la tierra, es decir, alrededor de 6.75 millones de hectáreas.

La superficie de tierras forestales estimada en el segundo IFN se obtuvo mediante un enfoque de muestreo en campo, lo que permite validar, enriquecer o contrastar los productos cartográficos existentes. En este sentido, el último mapa de cobertura forestal, elaborado para el año 2020, reporta que el 33.3% del territorio nacional está cubierto por bosques, de acuerdo con un análisis de imágenes satelitales de mediana resolución.

Si bien ambos productos responden a metodologías distintas, resulta importante destacar que la cobertura forestal estimada en el mapa y la superficie de tierras forestales del segundo IFN son variables comparables, en tanto describen el estado de los bosques y plantaciones forestales a nivel nacional. Al ser dos metodologías diferentes el segundo IFN incorpora bosque seco y exceptúa plantaciones de hule, mientras que el mapeo de cobertura forestal 2020 incluyó las plantaciones de hule, pero no el bosque seco.

Tabla 8.
Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra en ha para categoría general y porcentaje de error de muestreo

Categoría general	Superficie en ha	% de superficie	% Error de muestreo
Tierras forestales	4,139,855	38%	10.2%
Otros usos de la tierra	6,749,045	62%	6.3%
Total	10,888,900	100%	

Nota. La tabla presenta la superficie en hectáreas y en porcentaje junto con el error de muestreo por categoría de uso. Fuente: Elaboración propia, con base a la información del segundo IFN.

8.1.2 Superficie por categoría de uso, nivel 1

La categoría de uso tierras forestales, es la misma a nivel general y en el nivel 1, desarrollándose únicamente las subcategorías de otros usos de la tierra. En la tabla 9, se muestran los resultados de superficie por categorías de uso del nivel 1. Las tierras de cultivo presentan una superficie de 2,786,039 ha y un error de muestreo de 12.6%, incluye la categoría de sistemas agroforestales; los pastizales tienen una superficie de 2,211,741 ha y un error de muestreo de 15.8%, incluye la categoría de pastos y sistemas silvopastoriles; los humedales y cuerpos de agua presentan una superficie de 403,981 ha y un error de muestreo del 42.8%; los asentamientos con una superficie de 286,719 ha y un error de muestreo de 44.2% y por último la categoría de árboles dispersos y otras tierras con una superficie de 1,060,565 ha y un error de muestreo de 23%.

Es importante mencionar que al nivel 1, las categorías de asentamientos, humedales y cuerpos de agua presentan un alto error de muestreo. Los resultados no derivan directamente de una capa geoespacial, sino, que corresponden al levantamiento en campo de UM.

Tabla 9.
Superficie de tierras forestales y otros usos de la tierra en hectáreas y porcentaje de error de muestreo, nivel 1

Categorías nivel 1	Superficie en ha	% de superficie	% Error de muestreo
Tierras forestales	4,139,855	38.0%	10.2%
Tierras de cultivo	2,786,039	25.6%	12.6%
Pastizales	2,211,741	20.3%	15.8%
Humedales y cuerpos de agua	403,981	3.7%	42.8%
Asentamiento	286,719	2.6%	44.2%
Arboles dispersos y otras tierras	1,060,565	9.7%	23.0%
Total	10,888,900	100%	

Nota. La tabla presenta la superficie en hectáreas y en porcentaje junto con el porcentaje de error de muestreo por categoría de uso. Fuente: elaboración propia, con base a la información del segundo IFN

8.1.3 Superficie por categorías de uso, nivel 2 y 3 de tierras forestales

Las categorías del nivel 2 y 3 corresponden a niveles de clasificación más específicos, orientados a describir los tipos de tierras forestales, que incluyen bosques, sus subtipos y plantaciones forestales.

El nivel 2 abarca las categorías de bosque y plantaciones forestales. La superficie de bosque estimada es de 3,908,971 ha, con un error de muestreo del 10.8%. Con respecto a las plantaciones forestales únicamente se levantaron 18 UM con un error de muestreo de 48.1%, que refleja una muy baja precisión, el intervalo de confianza indica que la superficie de plantaciones se puede encontrar en un rango de 119,867 a 341,899 ha. Guatemala cuenta registros administrativos y bases de datos que brindan de forma precisa la ubicación, extensión y manejo de las plantaciones forestales del país, tanto a nivel nacional como las vinculadas a los programas de incentivos PINPEP y PROBOSQUE.

De las categorías evaluadas en el nivel 3, se estima que el bosque latifoliado cubre una superficie de 2,695,287 ha, el 68.95% del total de bosques del país, cálculo obtenido con un error de muestreo del 13.6%. El 30.03% de los bosques está compuesto por las categorías de bosque de coníferas, bosque mixto y bosque seco, que representan una superficie de 1, 173,868 hectáreas. Estas categorías presentan errores de muestreo superiores de 27% alcanzando hasta el 61.7 %, lo que indica precisiones bajas a muy bajas y limita la utilidad de los resultados para aplicaciones detalladas, aunque permite identificar tendencias generales y patrones de distribución.

Tabla 10.
Superficie de bosque y plantaciones forestales en hectáreas y porcentaje de error de muestreo, nivel 2 y 3.

Categorías de uso de la tierra		Superficie (ha)	Intervalo de confianza Superficie (ha)	Error de muestreo (%)
Nivel 2	Nivel 3			
Bosque Superficie: 3,908,971 ha Error de muestreo: 10.8 %	Bosque latifoliado	2,695,287	2,328,338 – 3,062,234	13.6
	Bosque de coníferas	153,506	58,720 - 248,291	61.7
	Bosque de mangle	39,818	0 – 95,027	138.7
	Bosque mixto	798,230	580,376 - 1,016,082	27.3
	Bosque seco	222,132	96,615 - 347,648	56.5
Plantaciones forestales		230,883	119,867 – 341,899	48.1

Nota. La tabla muestra las superficies en hectáreas, intervalos de confianza y porcentaje de error de muestreo por categorías de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia, con base a la información del segundo IFN

En el caso del bosque de mangle, cuya superficie estimada es de 39,818 hectáreas, se evidencia un error de muestreo particularmente alto de 138.7 %, reflejando un nivel de precisión muy bajo, además de una baja representatividad a nivel nacional, al haberse levantado únicamente tres UM. En este sentido, la información vinculada al bosque de mangle no puede ser utilizada para fines cuantitativos.

Los valores de EM (>20 %) resaltan la necesidad de intensificar el diseño muestral en futuros inventarios y de aplicar muestreos adaptativos en ecosistemas variables para reducir la incertidumbre en las estimaciones.

8.1.4 Comparación de superficie de bosques del primer IFN y su equivalente de tierras forestales del segundo IFN de Guatemala

La estimación de superficie de bosque para el año 2003, según los resultados del primer IFN, fue de 4,046,015 hectáreas, lo que representaba aproximadamente el 37.2 % del territorio nacional. Para el año 2023, según los resultados del segundo IFN, se estima una superficie de tierras forestales de 4,139,855 hectáreas, equivalente al 38% del país.

Las diferencias metodológicas entre ambos inventarios forestales nacionales radican principalmente en el diseño del muestreo y de la UM, así como en la categorización de uso de la tierra y específicamente en lo que se refiere a tierras forestales y tipos de bosques. El primer IFN se desarrolló con un muestreo sistemático estratificado, se levantaron 108 UM formadas por un conglomerado de 4 parcelas rectangulares. Se consideró la categoría de bosque, incluyendo bosque latifoliado, bosque de coníferas, bosque mixto, cada uno subdividido en categorías más específicas de bosque primario, bosque secundario avanzado, bosque secundario joven, bosque de galería y plantaciones, variando significativamente con respecto a la metodología utilizada en el segundo IFN.

8.2 Familias y especies de árboles identificadas en el segundo IFN

El conocimiento sobre la diversidad de especies arbóreas, tanto en tierras forestales como en otros usos de la tierra, es fundamental para orientar lineamientos de manejo, especialmente en restauración, reforestación y conservación de ecosistemas. En este sentido, el segundo IFN, en concordancia con sus alcances metodológicos, permite identificar de forma general la presencia y frecuencia de familias y especies en distintas categorías de uso a nivel nacional.

La diversidad florística de Guatemala cuenta actualmente con 321 familias, 2,478 géneros y 10,317 especies, incluyendo algas, líquenes, hongos y hepáticas (CONAP, 2008). Según el listado oficial de especies forestales y arbóreas del INAB (2018), se registran 1,051 especies¹ en el país.

En el segundo IFN se registraron 10,852 árboles, de los cuales se identificaron 492 especies pertenecientes a 82 familias, lo que representa un 46% de las especies arbóreas registradas en el listado oficial del INAB.

La identificación taxonómica de las especies forestales representó uno de los principales desafíos durante el desarrollo del inventario, particularmente en áreas con alta diversidad florística o con presencia de taxones morfológicamente similares. No obstante, se identificó a nivel de especie el 94 % de los árboles registrados.

¹ [Consulta de Especies Forestales \(inab.gob.gt\)](https://inab.gob.gt/)

Para mejorar la identificación botánica en futuras mediciones es importante implementar protocolos estandarizados de recolección de muestras botánicas, así como reforzar alianzas con herbarios nacionales, universidades público-privadas, centros de investigación y especialistas en botánica y taxonomía.

Los nombres utilizados en el segundo IFN corresponden a la nomenclatura con la que fueron colectados en campo y registrados en la base de datos original, sin aplicar actualizaciones taxonómicas.

El Índice de Valor de Importancia (IVI)

Define cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema. Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia, la densidad y la dominancia relativas (Mostacedo & Fredericksen, 2002), los cuales se definen a continuación:

- **Frecuencia relativa:** se refiere al cociente de la cantidad de parcelas o UM en las cuales la especie está presente entre la cantidad de parcelas o UM totales en el inventario, multiplicado por 100 (Calderón Amaya & Chip T. Scott, 2020).
- **Densidad relativa:** se refiere al cociente del número de individuos de una especie entre el número total de individuos presentes en las parcelas o UM establecidas en el cálculo multiplicado por 100 (Calderón Amaya & Chip T. Scott, 2020).
- **Dominancia relativa:** es la suma del área basal de los individuos dividida entre el área basal de todos los individuos presentes en las condiciones de cálculo seleccionadas, multiplicado por 100 (Calderón Amaya & Chip T. Scott, 2020).

El Índice de valor de importancia de familias es un índice muy similar al de las especies, en este caso por familia botánica, la diferencia principal radica en que la frecuencia relativa se calcula dividiendo la cantidad de especies que tiene la familia entre el número de especies total que se encuentran en las UM o parcelas del cálculo, multiplicadas por 100 (Calderón Amaya & Chip T. Scott, 2020).

En los siguientes apartados, se describen las 10 especies más abundantes y relevantes por tipo de bosque que fueron registradas en el segundo IFN.

8.2.1 Familias de especies forestales más abundantes identificadas en el IFN

La tabla 11 muestra los principales resultados del análisis del Índice de Valor de Importancia (IVI) por familia botánica, obtenidos en el marco del Segundo IFN.

La familia Fabaceae se posiciona como la más representativa del inventario, con un IVI del 44 %, sustentado en su alta diversidad (87 especies), abundancia (1,479 individuos) y área basal (418 m²). Le siguen Fagaceae, Pinaceae y Sapotaceae con IVI que oscilan entre el 19 % y el 21 %, evidenciando su relevancia en los ecosistemas evaluados.

En conjunto, las 10 familias con mayor IVI concentran el 185 % del valor, mientras que el resto de las familias (261 especies distribuidas en múltiples taxones) agrupan un IVI acumulado del 115 %, reflejando una alta diversidad florística dispersa en familias menos dominantes.

Asimismo, se registró un grupo de especies (653) sin identificación taxonómica a nivel de familia, clasificados como “no determinado”.

Una de las principales oportunidades de mejora identificadas en el Segundo IFN se relaciona con el fortalecimiento del proceso de identificación taxonómica de las especies forestales. A pesar del esfuerzo realizado por las brigadas de campo y del acompañamiento técnico parcial durante la fase inicial, la ausencia de un apoyo taxonómico especializado de forma continua limitó la precisión en la determinación de ciertas especies, especialmente en zonas de alta diversidad o con especies morfológicamente similares. Para futuras campañas, se recomienda incorporar mecanismos más robustos de verificación taxonómica, tales como la inclusión permanente de taxónomos en las brigadas, el uso sistemático de colecciones de referencia (herbarios), claves taxonómicas actualizadas, herramientas digitales y la recolección de muestras, a fin de mejorar la confiabilidad de los datos y la calidad de la información florística.

Tabla 11.
Índice de valor de importancia de las 10 familias de mayor abundancia en el país.

No.	Familia botánica	Número de especies	Número total de individuos	Área basal total en m²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI familia (%)
1	Fabaceae	87	1479	418	18	14	13	44
2	Fagaceae	22	950	269	4	9	8	21
3	Pinaceae	9	897	352	2	8	11	21
4	Sapotaceae	18	809	268	4	7	8	19
5	Moraceae	14	598	260	3	6	8	16
6	Euphorbiaceae	20	594	171	4	5	5	15
7	Malvaceae	28	399	110	6	4	3	13
8	Anacardiaceae	11	355	123	2	3	4	9
9	Burseraceae	8	434	89	2	4	3	8
10	Lauraceae	14	208	83	3	2	2	7
	No determinada	-	653	178	0	6	5	12
	Resto de especies	261	3476	1012	53	32	30	115
	Total	492	10852	3332	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra el índice de valor de importancia de las 10 familias de especies forestales más abundantes en el país. Fuente: elaboración propia, con base al segundo IFN.

8.2.2 Especies de árboles más abundantes dentro del bosque identificadas en el IFN

Los resultados del Segundo IFN muestran que la composición florística de los bosques evaluados está fuertemente influenciada por un grupo reducido de especies dominantes. Entre las 25 especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI), destacan *Manilkara zapota*, *Brosimum alicastrum* y *Pouteria reticulata*, con IVI de 12 %, 11 % y 9 %, respectivamente. Estas especies presentan altos valores de densidad, dominancia y frecuencia relativa, lo que evidencia su papel estructural en los ecosistemas inventariados.

Otras especies con importancia ecológica significativa incluyen *Pinus oocarpa*, *Bursera simaruba* y *Quercus.*, con IVI que oscilan entre 7 % y 8 %. La distribución de estas especies responde tanto a su adaptabilidad ecológica como a su uso histórico y valor económico local en algunas regiones.

Se registraron 591 individuos (7 % del total) correspondientes a especies no identificadas taxonómicamente, lo que resalta la necesidad de fortalecer las capacidades de identificación en futuras campañas. El resto de las especies identificadas, que representan una parte significativa de la diversidad florística registrada en el inventario, se detallan en el Anexo No. 3

El análisis del IVI proporciona una base robusta para comprender la estructura y dinámica de los bosques, y es fundamental para orientar estrategias de conservación, manejo forestal sostenible y restauración de especies nativas clave.

Tabla 12.
Índice de valor de importancia de las 25 especies forestales más abundantes dentro del bosque identificadas en el IFN.

No.	Nombre científico	Cantidad de unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Manilkara zapota</i>	49	302	128	2	4	5	11
2	<i>Brosimum alicastrum</i>	34	200	137	2	2	5	10
3	<i>Pinus oocarpa</i>	26	317	111	1	4	4	10
4	<i>Pouteria reticulata</i>	35	294	72	2	4	3	8
5	<i>Quercus peduncularis</i>	29	286	75	1	3	3	8
6	<i>Bursera simaruba</i>	60	201	46	3	2	2	7
7	<i>Quercus sp.</i>	21	232	78	1	3	3	7
8	<i>Vitex gaumeri</i>	30	101	47	2	1	2	5
9	<i>Haematoxylum campechianum</i>	14	140	48	1	2	2	4

10	<i>Cecropia peltata</i>	34	98	28	2	1	1	4
11	<i>Gliricidia sepium</i>	26	106	24	1	1	1	4
12	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	26	95	26	1	1	1	4
13	<i>Protium copal</i>	31	98	17	2	1	1	3
14	<i>Pseudolmedia spuria</i>	22	116	23	1	1	1	3
15	<i>Pinus maximinoi</i>	12	98	38	1	1	2	3
16	<i>Cupressus lusitanica</i>	5	88	47	0	1	2	3
17	<i>Alnus acuminata</i>	9	111	27	0	1	1	3
18	<i>Dendropanax arboreus</i>	26	64	19	1	1	1	3
19	<i>Spondias mombin</i>	20	81	21	1	1	1	3
20	<i>Metopium brownei</i>	25	75	16	1	1	1	3
21	<i>Terminalia buceras</i>	10	68	36	1	1	1	3
22	<i>Guettarda combsii</i>	26	62	17	1	1	1	3
23	<i>Pinus montezumae</i>	9	73	31	0	1	1	3
24	<i>Swietenia macrophylla</i>	19	46	26	1	1	1	3
25	<i>Pouteria amygdalina</i>	18	60	22	1	1	1	3
	No determinada	70	591	161	4	7	6	17
	Resto de especies	1,287	4,293	1,201	65	52	48	164
		1,973	8,296	2,523	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra las especies forestales más abundantes dentro de bosque, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.2.3 Especies de árboles más abundantes fuera del bosque

El Segundo IFN también incluyó el análisis de los árboles presente fuera del bosque, es decir, en áreas agrícolas, sistemas silvopastoriles, sistemas agroforestales, terrenos en descanso, bordes de caminos y otros usos del suelo. En estos entornos, las especies arbóreas más comunes cumplen funciones ecológicas, productivas y culturales importantes, como la provisión de sombra, leña, frutos, forraje, delimitación de parcelas y conectividad entre fragmentos de bosque.

Se registraron 2,543 árboles con un área basal total de 6,884 m². Entre las especies más abundantes destacan *Hevea brasiliensis*, con un IVI del 31 %, seguida por *Inga vera* y *Castilla elastica*, ambas con un IVI del 16 %. Estas especies se caracterizan por su alto número de individuos y dominancia relativa, lo cual sugiere su uso preferente en entornos agropecuarios y sistemas

agroforestales. En la tabla 13 se enlistan las principales 25 especies y el resto se detallan en el anexo No. 4.

Otras especies comunes incluyen frutales como *Persea americana* (aguacate) y *Mangifera indica* (mango), así como especies de importancia ecológica como *Bursera simaruba*, *Spondias mombin* y *Gliricidia sepium*. La presencia de especies nativas, introducidas y comerciales refleja un patrón de manejo integrado del recurso arbóreo en áreas rurales.

Cabe destacar que un 2 % del total corresponde a arboles no identificados taxonómicamente, distribuidos en 27 unidades de muestreo.

Estos resultados evidencian el valor ecológico y productivo de la vegetación fuera del bosque, y subrayan la importancia de su inclusión en políticas de restauración, planificación del paisaje y servicios ecosistémicos en territorios intervenidos.

Tabla 13.
Índice de valor de importancia de las 25 especies forestales y arbóreas más abundantes fuera de bosque identificadas en el segundo IFN.

No.	Nombre científico	Unidad muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Hevea brasiliensis</i>	10	406	102	1	16	13	30
2	<i>Inga vera</i>	33	196	50	4	8	6	18
3	<i>Castilla elastica</i>	4	206	47	1	8	6	14
4	<i>Persea americana</i>	19	79	38	3	3	5	10
5	<i>Mangifera indica</i>	11	35	35	2	1	4	7
6	<i>Bursera simaruba</i>	20	57	15	3	2	2	7
7	<i>Spondias mombin</i>	13	58	20	2	2	2	7
8	<i>Gliricidia sepium</i>	18	61	13	2	2	2	6
9	<i>Guazuma ulmifolia</i>	18	53	13	2	2	2	6
10	<i>Quercus sp.</i>	14	47	13	2	2	2	5
11	<i>Pinus oocarpa</i>	6	31	26	1	1	3	5
12	<i>Quercus peduncularis</i>	13	35	10	2	1	1	4
13	<i>Croton reflexifolius</i>	1	59	13	0	2	2	4
14	<i>Cecropia peltata</i>	16	29	6	2	1	1	4
15	<i>Cordia alliodora</i>	11	38	8	2	1	1	4
16	<i>Alnus acuminata</i>	8	35	8	1	1	1	3

17	<i>Pinus maximinoi</i>	6	27	10	1	1	1	3
18	<i>Byrsonima crassifolia</i>	11	23	5	2	1	1	3
19	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	4	4	19	1	0	2	3
20	<i>Trema micrantha</i>	8	30	6	1	1	1	3
21	<i>Cedrela odorata</i>	8	18	9	1	1	1	3
22	<i>Grevillea robusta</i>	8	23	7	1	1	1	3
23	<i>Diphyssa americana</i>	11	14	6	2	1	1	3
24	<i>Spondias purpurea</i>	8	24	6	1	1	1	3
25	<i>Inga paterno</i>	6	30	7	1	1	1	3
	No determinado	27	62	16	4	2	2	8
	Resto de especies	426	876	301	57	34	37	129
		738	2,556	809	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra las especies forestales más abundantes fuera de bosque, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.2.4 Especies de árboles dentro de bosque latifoliado

El bosque latifoliado o selva tropical lluviosa es muy variable en su composición, presenta una gran diversidad de especies, INAB, (2022a) menciona que “La estructura que lo conforma es muy similar a otros bosques, y se desarrolla en climas con condiciones muy parecidas principalmente lo relacionado a temperatura, precipitación y humedad relativa”.

El tipo de bosque latifoliado es el más abundante en Guatemala, se encuentra en el norte del departamento de Petén, INAB, (2022a) señala que existen áreas importantes representativas de este ecosistema en la Franja Transversal del Norte y el departamento de Izabal, así como en la boca costa sobre la cadena volcánica del país, incluyen una gran variedad de especies de árboles de hojas anchas como roble, cedro y caoba.

En el segundo IFN se evidenció la presencia de 381 especies forestales dentro de los bosques latifoliados, la tabla 14 presenta el Índice de Valor de Importancia (IVI) de las principales 25 especies forestales dentro del bosque latifoliado. En total, se identificaron 5,777 individuos, con un área basal acumulada de 19,278.87 m². Entre las especies más representativas destacan *Manilkara zapota*, *Brosimum alicastrum* y *Pouteria reticulata*, con IVI de 15.32 %, 14.70 % y 11.69 %, respectivamente, debido a su alta dominancia, densidad y frecuencia. Les siguen otras especies relevantes como *Bursera simaruba*, *Vitex gaumeri* y *Cecropia peltata*. Estas 25 especies concentran el 47.53 % del IVI total, mientras que el resto de especies y las no determinadas representan más del 50 %, lo que evidencia una alta diversidad florística en este ecosistema.

Manilkara zapota, conocido como “chicozapote”, es la especie con mayor IVI dentro del bosque latifoliado. Se encuentra principalmente en los departamentos de Petén, Alta Verapaz e Izabal, y también ha sido reportado en Huehuetenango. Su alta abundancia está relacionada con la restricción legal establecida por el Decreto No. 99-96, Ley de Aprovechamiento y Comercialización para la Protección de la Especie, que prohíbe la tala de árboles de esta especie provenientes de bosques naturales y de regeneración artificial. Se considera que esta medida contribuyó a su conservación y predominancia en el ecosistema evaluado.

Los departamentos que presentan mayor cobertura del tipo de bosque latifoliado son Petén, Alta Verapaz y Santa Rosa.

Tabla 14.
Índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque latifoliado.

Rango IVI	Nombre científico	Cantidad de unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Manilkara zapota</i>	49	302	128	3	5	7	15
2	<i>Brosimum alicastrum</i>	33	198	137	2	3	7	13
3	<i>Pouteria reticulata</i>	34	293	72	2	5	4	11
4	<i>Bursera simaruba</i>	51	158	39	3	3	2	8
5	<i>Vitex gaumeri</i>	30	101	47	2	2	3	6
6	<i>Haematoxylum campechianum</i>	14	133	47	1	2	3	6
7	<i>Cecropia peltata</i>	32	91	27	2	2	1	5
8	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	26	95	26	2	2	1	5
9	<i>Pseudolmedia spuria</i>	22	116	23	1	2	1	5
10	<i>Gliricidia sepium</i>	22	95	22	1	2	1	4
11	<i>Protium copal</i>	27	73	16	2	1	1	4
12	<i>Terminalia buceras</i>	10	68	36	1	1	2	4
13	<i>Dendropanax arboreus</i>	26	64	19	2	1	1	4
14	<i>Alnus acuminata</i>	8	101	25	0	2	1	4

15	<i>Guettarda combsii</i>	26	62	17	2	1	1	4
16	<i>Quercus sp.</i>	8	68	35	0	1	2	4
17	<i>Spondias mombin</i>	18	79	21	1	1	1	4
18	<i>Metopium brownei</i>	24	70	16	1	1	1	4
19	<i>Pouteria amygdalina</i>	18	60	22	1	1	1	3
20	<i>Eugenia capuli</i>	9	94	20	1	2	1	3
21	<i>Swietenia macrophylla</i>	18	43	25	1	1	1	3
22	<i>Guazuma ulmifolia</i>	15	62	11	1	1	1	3
23	<i>Pouteria belizensis</i>	10	64	14	1	1	1	3
24	<i>Coccoloba barbadensis</i>	12	58	12	1	1	1	2
25	<i>Vochysia guatemalensis</i>	6	66	16	0	1	1	2
	No determinada	59	485	148	4	8	8	20
	Resto de especies	1,024	2,678	813	63	46	45	154
		1,631	5,777	1,832	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra el índice de valor de importancia de las especies de mayor abundancia en bosque de latifoliadas, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.2.5 Especies de árboles dentro de bosque de coníferas

Este tipo de bosque se define por la presencia de una o varias especies de coníferas predominantes (más del 70 por ciento del área basal corresponde a coníferas). Según el CONAP (2012), se caracteriza por ser una comunidad de árboles típica de los climas templados y fríos, cuyos frutos generalmente son en forma de conos y sus hojas en forma de aguja o acículas y también en forma de escamas.

El CONAP, (2008) indica que “las coníferas representan un grupo dominante y conspicuo en los lugares donde habitan, incluyendo Guatemala. La diversidad de las coníferas en el país es de 9 familias, 16 géneros y 58 especies, incluyendo 29 exóticas” (p. 274).

En los últimos años se ha visto reducido este tipo de bosque en Guatemala debido a que la cobertura original ha sido manejada y los bosques que originalmente eran puramente de especies coníferas han cambiado por intervención antrópica y natural a convertirse en bosques mixtos. Estos bosques se encuentran típicamente en tierras altas y montañosas de Guatemala.

La tabla 15 presenta las principales especies de coníferas registradas en el segundo IFN, indicando su presencia en unidades de muestreo, abundancia, dominancia y distribución relativa. Se identificaron un total de 269 individuos distribuidos en 24 unidades de muestreo, con un área basal conjunta de 662 m². La especie más representativa es *Pinus oocarpa*, conocido como “pino ocote” o “colorado”, registrado en 7 unidades de muestreo y ampliamente distribuido en los departamentos de Quetzaltenango, Huehuetenango, Totonicapán, Quiché, Baja Verapaz y Chiquimula. Le siguen *Cupressus lusitanica*, o “ciprés común”, presente únicamente en el departamento de Guatemala, y *Pinus hartwegii*, conocido como “pino de las cumbres” u “ocote pardo”, registrado exclusivamente en Huehuetenango.

Pinus maximinoi, el “pino candelillo”, mostró alta densidad en Guatemala y Jalapa, también se incluyen otras especies como *Pinus caribaea* y *Pinus tecunumanii*, con valores intermedios de IVI, mientras que *Quercus peduncularis*, aunque no es conífera, se reportó en bosques de coníferas de Huehuetenango, reflejando la coexistencia de especies en estos ecosistemas.

Tabla 15.
Índice de valor de importancia de las especies en bosque de conífera y especies asociadas

No.	Nombre científico	Unidad de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pinus oocarpa</i>	7	142	36.352287	29.46	52.79	40.11	122.4
2	<i>Cupressus lusitanica</i>	1	31	28.312887	4.15	11.52	31.24	46.9
3	<i>Pinus hartwegii</i>	2	46	10.303254	8.3	17.1	11.37	36.8
4	<i>Pinus maximinoi</i>	2	14	4.853923	8.3	5.2	5.36	18.9
5	<i>Pinus caribaea</i>	1	8	3.889628	4.15	2.97	4.29	11.4
6	<i>Pinus tecunumanii</i>	1	7	2.21666	4.15	2.6	2.45	9.2
7	<i>Quercus peduncularis</i>	1	7	0.79031	4.15	2.6	0.87	7.6
8	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1	3	1.012685	4.15	1.12	1.12	6.4
9	<i>Pinus montezumae</i>	1	2	0.455326	4.15	0.74	0.5	5.4
10	<i>Arbutus xalapensis</i>	1	2	0.356041	4.15	0.74	0.39	5.3
11	<i>Diphyssa americana</i>	1	1	0.403333	4.15	0.37	0.45	5
12	<i>Alnus jorullensis</i>	1	1	0.222315	4.15	0.37	0.25	4.8

13	<i>Blepharidium guatemalense</i>	1	1	0.213333	4.15	0.37	0.24	4.8
14	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	1	1	0.179259	4.15	0.37	0.2	4.7
15	<i>Quercus sp.</i>	1	1	0.116033	4.15	0.37	0.13	4.7
	No determinada	1	2	0.946966	4.15	0.74	1.04	5.9
		24	269	91	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra el índice de valor de importancia de las especies de mayor abundancia en bosque de coníferas, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.2.6 Especies de árboles dentro de bosque mixto

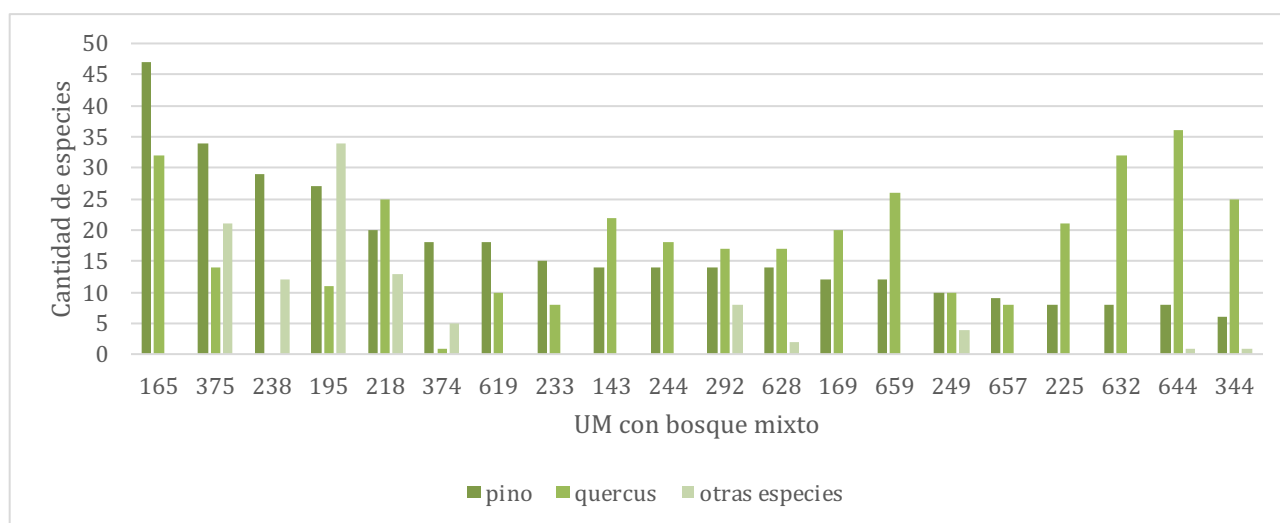
En Guatemala, bosque mixto se denomina al bosque con composición de especies de pino y encino que interactúan en una determinada superficie, a nivel regional se denomina ecorregión de bosques de pino-encino que se distribuye desde el Centro y Sur de Chiapas, las tierras altas de Guatemala, la mayor parte de Honduras y El Salvador, y el Noroeste de Nicaragua.

Según el CONAP (2012), “el bosque mixto está compuesto por especies coníferas y latifoliadas, donde ninguno de estos tipos de especies representa más del 70 por ciento del área basal” (p.18).

En el segundo IFN, el total de especies forestales encontradas en bosque mixto son 65, con una distribución de 45% de especies del género *Pinus*, 47% de especies de *Quercus* y 8% de especies asociadas como *Alnus jorullensis* y *Arbutus xalapensis*.

Este tipo de bosque se distribuye en 11 departamentos del Altiplano central del país.

Figura 9.
Distribución de especies en bosque mixto por UM.



Nota. La figura muestra la distribución de especies en bosque mixto por UM, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 16 presenta las especies registradas dentro del ecosistema de bosque mixto según el segundo IFN, destacando su distribución, abundancia y dominancia. Se identificaron 1,321 presentes en 187 unidades de muestreo, con un área basal total de 440 m². Las especies dominantes fueron *Quercus peduncularis* y *Pinus oocarpa*, ambas presentes en 22 unidades y con los valores más altos de frecuencia, densidad y dominancia relativas, lo que muestra que tienen un papel muy importante en la formación y composición de este bosque. *Quercus peduncularis* se reporta en los departamentos de Quiché, Zacapa, Chiquimula y Jalapa; y según Rodas et al., (2018), en Guatemala existen 24 especies identificadas del género *Quercus*, de las cuales 17 se registraron en bosque mixto durante el segundo IFN.

En cuanto a las coníferas, además de *P. oocarpa*, conocido como “pino ocote” y presente principalmente en Huehuetenango, Baja Verapaz y Chiquimula, también se identificaron *Pinus montezumae* (pino macho, presente sobre todo en Quiché), *P. tecunumanii* (pino de la sierra o Tecún Umán), *P. ayacahuite*, *P. maximinoi* y *Cupressus lusitanica*. Esta diversidad refleja la composición mixta y la coexistencia entre latifoliadas y coníferas.

También se registraron otras especies relevantes del género *Quercus*, como *Q. conspersa*, *Q. skinneri*, *Q. acutifolia* y *Quercus sp.*, esta última con un IVI notable (23%) a pesar de no haberse determinado su identidad específica.

Tabla 16.

Área basal, frecuencia, densidad y dominancia relativa e índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque mixto.

No.	Nombre científico	Unidad de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Quercus peduncularis</i>	22	223	60	12	17	14	42
2	<i>Pinus oocarpa</i>	22	172	74	12	13	17	42
3	<i>Quercus sp.</i>	13	136	42	7	10	10	27
4	<i>Pinus montezumae</i>	8	71	31	4	5	7	17
5	<i>Pinus tecunumanii</i>	5	67	29	3	5	7	14
6	<i>Pinus sp.</i>	7	58	19	4	4	4	12
7	<i>Pinus ayacahuite</i>	4	38	29	2	3	7	12
8	<i>Cupressus lusitanica</i>	3	52	18	2	4	4	10
9	<i>Pinus maximinoi</i>	7	24	14	4	2	3	9
10	<i>Pinus pseudostrobus</i>	6	32	12	3	2	3	8
11	<i>Arbutus xalapensis</i>	9	19	3	5	1	1	7
12	<i>Quercus conspersa</i>	4	32	8	2	2	2	6
13	<i>Quercus acutifolia</i>	5	25	7	3	2	2	6
14	<i>Quercus skinneri</i>	4	27	7	2	2	2	6
15	<i>Pinus caribaea</i>	1	29	10	1	2	2	5
16	<i>Quercus elliptica</i>	2	30	7	1	2	2	5
17	<i>Alnus jorullensis</i>	3	27	6	2	2	1	5
18	<i>Quercus purulhana</i>	1	16	8	1	1	2	4
19	<i>Liquidambar styraciflua</i>	2	9	5	1	1	1	3
20	<i>Quercus sapotifolia</i>	2	16	2	1	1	0	3
21	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	2	9	3	1	1	1	3
22	<i>Pinus hartwegii</i>	1	15	4	1	1	1	3
23	<i>Quercus polymorpha</i>	1	13	4	1	1	1	3
24	<i>Quercus crassifolia</i>	2	9	3	1	1	1	2
25	<i>Alnus acuminata</i>	2	10	2	1	1	0	2
	No determinado	4	31	5	2	2	1	6
	Resto de especies	45	131	28	24	10	6	40
		187	1,321	440	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra el índice de valor de importancia de las especies de mayor abundancia en bosque mixto, con base al segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.2.7 Especies de árboles dentro de bosque seco

Tipo de bosque ubicado en regiones caracterizadas por la marcada estacionalidad en la precipitación pluvial, teniendo al menos 5 meses al año con precipitaciones menores a los 100 mm de lluvia mensual, temperaturas promedio anual superiores a los 25°C, precipitaciones promedio anuales menores a 1,600 mm ubicados por debajo de los 1,650 msnm. Las familias dominantes son *Anacardiaceae*, *Burseraceae*, *Fabaceae* (subfamilias *Caesalpinioideae* y *Mimosoideae*). El sotobosque se caracteriza por la abundancia de Cactáceas, Bromelias terrestres y arbustos espinosos. (INAB y CONAP, 2020a)

La cantidad de especies forestales encontradas en este tipo de bosques son 48, INAB (2020) menciona que se encuentra en los Valles de Nentón y Cuilco en el departamento de Huehuetenango y el Valle del Chixoy, que abarca desde Huehuetenango hasta Baja Verapaz. También existe bosque seco en el Valle del Motagua, desde el norte de Chimaltenango, rumbo a Zacapa colindando con Chiquimula, así como algunos remanentes en la costa sur en zonas aledañas al bosque manglar.

La tabla No. 17 muestra las especies registradas dentro del ecosistema de bosque seco según el segundo IFN, destacando su presencia, abundancia y dominancia. En total se identificaron 464 árboles distribuidos en 80 unidades de muestreo (UM), con un área basal total de 33 m². Estas unidades de muestreo se localizan en los departamentos de El Progreso, Huehuetenango, Zacapa, Jalapa, Jutiapa y Retalhuleu.

Las especies registradas coinciden con las indicadas en la Guía para la identificación de los Bosques Estratégicos del INAB, y entre las más representativas por su Índice de Valor de Importancia (IVI) se encuentran:

- *Leucaena diversifolia* (yajé) es la especie con mayor IVI DE 31% en 6 unidades de muestreo. Está registrada en Zacapa, El Progreso y Jalapa.
- *Bursera bipinnata* (copal), con un IVI de 27%, la segunda especie mas frecuente y dominante. Se distribuye en Huehuetenango, El Progreso y Jalapa.
- *Bursera simaruba*, con un IVI de 25%, está presente en Zacapa, Huehuetenango, Jutiapa y Jalapa.

Otras especies registradas son: *Alvaradoa amorphoides* (IVI 12%), *Haematoxylum brasiletto* (IVI 10%) y ambas con presencia constante en al menos tres unidades de muestreo. También destacan *Protium copal*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora* y especies del género *Quercus* como *Q. acutifolia*, *Q. peduncularis* y *Quercus sp.*, lo que evidencia una cierta influencia de especies latifoliadas propias de ecosistemas.

Tabla 17.

Índice de valor de importancia de las 25 especies de mayor abundancia en bosque seco

No.	Nombre científico	Unidad muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Leucaena diversifolia</i>	6	61	3	8	13	10	31
2	<i>Bursera bipinnata</i>	6	49	3	8	11	9	27
3	<i>Bursera simaruba</i>	6	32	4	8	7	11	25
4	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	3	12	2	4	3	5	12
5	<i>Protium copal</i>	2	23	1	2	5	4	12
6	<i>Quercus sp.</i>	1	27	1	1	6	3	10
7	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	3	15	1	4	3	3	10
8	<i>Acacia pennatula</i>	2	11	1	2	2	3	8
9	<i>Ceiba aesculifolia</i>	1	13	1	1	3	3	7
10	<i>Caesalpinia velutina</i>	1	14	1	1	3	3	7
11	<i>Cecropia peltata</i>	2	7	1	2	2	3	7
12	<i>Tecoma stans</i>	2	10	0	2	2	1	6
13	<i>Gliricidia sepium</i>	2	6	1	2	1	2	6
14	<i>Vachellia collinsii</i>	1	11	1	1	2	2	6
15	<i>Byrsonima crassifolia</i>	2	8	0	2	2	1	6
16	<i>Heliocarpus mexicanus</i>	1	10	1	1	2	2	5
17	<i>Diospyros ebenum</i>	1	7	1	1	2	2	5
18	<i>Cordia alliodora</i>	2	7	0	2	2	1	5
19	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	1	4	1	1	1	3	5
20	<i>Calliandra houstoniana</i>	1	7	0	1	2	1	4
21	<i>Mariosousa dolichostachya</i>	1	6	0	1	1	1	4
22	<i>Quercus peduncularis</i>	1	7	0	1	2	1	4

23	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	3	0	2	1	1	4
24	<i>Eschweilera juruensis</i>	1	3	1	1	1	2	4
25	<i>Schizolobium parahyba</i>	1	6	0	1	1	1	4
	No determinada	6	61	4	8	13	12	32
	Resto de especies	22	44	3	28	10	10	47
		80	464	33	100	100	100	300

Nota. La tabla muestra el índice de valor de importancia de las especies de mayor abundancia en bosque seco. Fuente: Elaboración propia, con base a información del segundo IFN.

8.2.8 Especies de árboles de mangle identificadas

El bosque de manglar es una formación vegetal leñosa, densa, arbórea o arbustiva, con alturas promedio de hasta 15 metros. Está compuesta principalmente por una o varias especies de mangle, y se caracteriza por una escasa presencia de especies herbáceas y enredaderas. Las especies de mangle presentan hojas perennes, de borde entero y adaptaciones especiales para sobrevivir en ambientes salinos y húmedos (INAB, 2020).

Durante el segundo IFN, en este ecosistema se levantaron únicamente tres unidades de muestreo (UM), dentro de las cuales se identificaron las siguientes especies de mangle:

- *Laguncularia racemosa*
- *Rhizophora mangle*
- *Avicennia germinans*
- *Conocarpus erectus*

Sin embargo, debido a las pocas unidades de muestreo levantadas, estos registros y datos no se consideran representativos del ecosistema de manglar a nivel nacional. El manglar es un ecosistema estratégico en términos de biodiversidad, servicios ecosistémicos y protección costera, por lo que es importante tener información más clara y completa sobre su estado.

Se recomienda que en futuros inventarios forestales se intensifique el muestreo en zonas de manglar, a fin de obtener datos más representativos que permitan evaluar adecuadamente su composición, estructura y estado de conservación en todo el país.

8.2.9 Especies comerciales en plantaciones forestales latifoliadas, encontradas en el IFN (14 UM)

En Guatemala, las plantaciones forestales latifoliadas juegan un papel importante en la restauración de tierras, generación de empleo y producción sostenible de madera de alto valor. Estas plantaciones están formadas por especies de hoja ancha, muchas de ellas nativas, pero también incluyen especies introducidas que se han adaptado bien al clima tropical del país.

Según el segundo IFN, se identificaron especies predominantes dentro de esta categoría. Es importante señalar que los resultados provienen de 14 unidades de muestreo (UM) de plantaciones latifoliadas, las cuales pueden no ser plenamente representativas a nivel nacional; sin embargo, brindan una idea general del tipo de especies presentes y del manejo asociado a este tipo de plantaciones. A continuación, se destacan las siguientes:

***Tectona grandis* (teca)**

Registrada principalmente en Petén, Suchitepéquez y Alta Verapaz. Según el INAB (2013), la teca es la especie no nativa con más área reforestada en Guatemala mediante programas como PINFOR y PROBOSQUE, debido a su alta rentabilidad, rápido crecimiento y gran demanda de su madera en el mercado nacional e internacional. También es una de las especies más sembradas en Centroamérica.

***Gmelina arborea* (melina)**

Esta especie se registró en los departamentos de Petén y Alta Verapaz. De acuerdo con el INAB (2015), la melina es una especie introducida que ha mostrado buena adaptación a climas cálidos, como los de la costa sur y norte del país. Puede alcanzar hasta 30 metros de altura y 80 cm de diámetro. Es muy valorada en la industria maderera por su rápido crecimiento y buenas propiedades para uso comercial, sin comprometer los ecosistemas naturales. (INAB, 2021).

Vochysia guatemalensis

Esta especie se registró en el departamento de Quiché, Según el INAB (2019) aparece en la parte norte del bosque muy húmedo subtropical cálido considerada como una especie indicadora de esta parte de la zona de vida en el país.

***Cedrela odorata* (cedro)**

Esta especie fue registrada en Izabal y Alta Verapaz. Es una de las maderas nativas más reconocidas por su valor en ebanistería y construcción liviana.

Además, se registraron especies de interés forestal, como *Terminalia amazonia*, *Swietenia macrophylla* y *Virola koschnyi*, todas registradas en el departamento de Alta Verapaz.

En total, para plantaciones de latifoliadas se registraron 49 especies entre las cuales también se pueden mencionar: *Leucaena leucocephala*, *Bursera simaruba*, *Metopium brownei*, *Nectandra globosa*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia alliodora*, *Spondias mombin*, *Astronium graveolens*, entre otras.

Estas plantaciones no solo contribuyen a satisfacer la demanda de madera, sino que también ayudan a reducir la presión sobre los bosques naturales. Gracias al respaldo de programas de incentivos forestales, se han convertido en una estrategia para la conservación productiva y la recuperación de áreas degradadas en el país.

8.2.10 Especies comerciales en plantaciones forestales coníferas encontradas en el IFN (4 UM coníferas)

En Guatemala, las plantaciones forestales de coníferas son una parte importante del sector forestal, especialmente en las regiones de clima templado. La mayoría de estas plantaciones han sido establecidas con apoyo de programas de incentivos como el PINPEP y PROBOSQUE, que promueven la reforestación.

Durante el segundo IFN, se muestrearon únicamente 4 UM clasificadas como plantaciones de coníferas, lo que significa que estos datos no son representativos a nivel nacional. A pesar de eso, ofrecen una idea inicial de las especies más comunes en estas plantaciones.

De las 4 UM registradas:

- Tres fueron plantaciones puras de *Pinus maximinoi*.
- Una fue una plantación mixta que incluía *Cupressus lusitanica*, *Pinus pseudostrobus*, *Arbutus xalapensis*, *Quercus segoviensis*, *Q. crassifolia* y *Q. sapotifolia*.

A continuación, se describen las especies comerciales encontradas:

Pinus maximinoi

Es la especie más distribuida dentro de las plantaciones de coníferas observadas en el IFN, con presencia en los departamentos de Alta Verapaz y Quiché. Este pino es valorado por su rápido crecimiento y por adaptarse bien a las condiciones del altiplano y zonas montañosas. Es común en plantaciones orientadas a la producción de madera para construcción y aserrío.

***Cupressus lusitanica* (ciprés)**

Se registró únicamente en el departamento de Huehuetenango. El ciprés es una especie muy usada en plantaciones por su buena adaptabilidad a los climas templados del altiplano central. Además, su madera es resistente, aromática y muy apreciada tanto para construcción como para decoración.

***Pinus pseudostrobus* (conocido como pino blanco o pino triste)**

También fue registrado en una plantación en Huehuetenango. Este pino se caracteriza por su tronco recto y su madera de buena calidad. Es una especie valiosa para programas de reforestación por su crecimiento relativamente rápido y su adaptabilidad a suelos y climas variados.

8.3 Existencias forestales en formación

En el marco del segundo IFN, las existencias forestales en formación se refieren al volumen total, área basal y densidad de los árboles a nivel del territorio nacional en tierras forestales y en otros usos de la tierra.

La información que proporcionan estas variables es fundamental para los sectores forestal y ambiental del país, ya que permitirá orientar la planificación y la toma de decisiones de carácter político y estratégico a nivel nacional e internacional, tanto para asumir nuevos compromisos como para dar seguimiento a los ya adquiridos. Además, contribuirá a evaluar el éxito de las intervenciones nacionales y a establecer parámetros para el diseño de estrategias que integren el manejo, la conservación y la restauración de los ecosistemas boscosos (INAB y FAO, 2003). También, permitirá cuantificar la disponibilidad de los recursos forestales en el país durante el período evaluado, comprender su dinámica y disponer de una línea base para proyecciones y comparaciones futuras tanto a nivel nacional como internacional.

Para el sector agrícola contribuirá a comprender la interacción de los bosques y tierras agrícolas, así como el aporte de los árboles en otros usos de la tierra en el mejoramiento y conservación de suelos, regulación del ciclo hidrológico, diversificación productiva y sus beneficios en comparación con áreas desprovistas completamente de árboles, entre otros.

El volumen total (m^3/ha) ofrece una estimación directa del potencial productivo de las tierras forestales y de los árboles en otros usos de la tierra, tanto para la industria maderera como para la satisfacción de necesidades locales. El área basal (m^2/ha) permite evaluar la ocupación del espacio por los árboles y se utiliza como un parámetro para interpretar el desarrollo y productividad de las masas forestales, permite comprender la composición, estructura horizontal y estado de desarrollo de los ecosistemas forestales. Por su parte la densidad de árboles por hectárea constituye un indicador clave de la estructura del bosque, permite comprender cual es la distribución del volumen y el área basal por individuo, complementando la información mínima necesaria para orientar decisiones sobre los recursos forestales.

El cálculo de estas variables considera, en general, árboles con un DAP igual o mayor a 10 cm; no obstante, por sus características particulares, en el bosque seco también se incluyen árboles con diámetros entre 5 y 9.9 cm, siguiendo los lineamientos del Manual de Criterios y Parámetros PROBOSQUE para este ecosistema (INAB, 2018). Esta excepción se justifica por las características propias de las especies arbóreas del bosque seco, como su menor altura, baja área basal y composición florística específica. Además, se incorporan en los cálculos 263 árboles muertos en pie, que conservaban estructura sólida y características similares a las de los árboles vivos. Su inclusión permite obtener una estimación más completa del recurso arbóreo disponible y refleja con mayor precisión la estructura del bosque.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos según los distintos niveles de categorías de uso de la tierra. Es importante considerar que, en el nivel 1, la categoría correspondiente a tierras forestales es la misma que en el nivel general. En el caso de los árboles en otros usos de la tierra, los resultados detallados para los niveles 1, 2 y 3 se presentan en los Anexos 6, 7 y 8. Las categorías más específicas dentro de esta clasificación cuentan con una baja intensidad de muestreo y alta variabilidad, lo que se refleja en mayores errores de muestreo y en un nivel de detalle correspondiente a estudios de reconocimiento.

8.3.1 Estimación de volumen total (m^3/ha)

El volumen total (m^3) se refiere a las existencias en formación, expresadas como el volumen en rollo total de madera en pie, es decir, únicamente el volumen del fuste del árbol, considerando la altura total del árbol, sin incluir ramas. En el marco del segundo IFN el volumen se calculó con base a la altura total del árbol en metros y el diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro normal (1.3 m) en centímetros, considerando individuos con DAP igual o superior a 10 cm, incluyendo árboles a partir de 5 cm en bosque seco.

Para las especies latifoliadas, se utilizaron ecuaciones de volumen del SiBiFor² (CONACYT-CONAFOR, 2016), se definieron con base a los estratos del segundo IFN. En el estrato norte se utilizaron las desarrolladas para el estado de Campeche, México; para los estratos centro y sur, se usaron ecuaciones correspondientes al estado de Chiapas. La asignación de ecuaciones fue realizada por especie, y en ausencia de una fórmula específica; se recurrió a ecuaciones generales que cubren grupos de especies o tipos de bosque con características similares. Estas ecuaciones estiman el volumen de madera en rollo total con corteza (Vrtacc) (Vargas-Larreta et al., 2018).

2 Sistema Biométrico para la Planeación del Manejo Forestal en Ecosistemas con Potencial Productivo en México

En el caso de las especies de coníferas se utilizaron las ecuaciones de volumen desarrolladas por Roland Peters, 1977, basadas en datos recolectados a nivel nacional. Estas ecuaciones ofrecen una fórmula diferenciada para cada especie, estimando el volumen total en rollo sin corteza. La información completa sobre las ecuaciones utilizadas para calcular el volumen total de árboles se detalla en el Anexo 5.

Nivel General y nivel 1 para tierras forestales

Los resultados de las estimaciones del volumen total promedio por hectárea para las tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra se muestran en la Tabla 18. Las tierras forestales, con una superficie estimada de 4,139,855 hectáreas y un volumen total promedio de 113.3 m³/ha, representan un volumen de 469,045,572 m³ a nivel nacional.

Con respecto a los árboles en la categoría otros usos de la tierra, se estimó una superficie de 6,749,045 hectáreas y un volumen total promedio de 17.0 m³/ha, por lo que se estima un volumen total a nivel nacional de 114,733,765 m³. La información sobre el estado de los recursos arbóreos en territorios fuera de tierras forestales podrá servir de línea base para diseñar estrategias nacionales de manejo sostenible, conservación y restauración, al estar asociados a áreas de bosque degradado o en proceso de recuperación.

Finalmente, el volumen total en formación para todo el país, incluyendo tanto tierras forestales como árboles en otros usos de la tierra, se estima en 583,779,337 m³.

Tabla 18.
Volumen total promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles ≥ de 10 cm de DAP y ≥5 cm en bosque seco.

Categoría de uso de la tierra	Volumen total promedio (m³/ha)	Intervalos de confianza en (m³)	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	113.3	101.1 – 125.5	10.8%
Árboles en otros usos de la tierra	17.0	13.1 – 20.9	22.9%

Nota. Estimación de volumen total promedio (m³/ha) por categoría de uso de la tierra nivel general y nivel 1 para tierras forestales. Fuente: elaboración propia, en función al segundo IFN

Niveles 2 y 3

Los resultados de volumen total promedio por hectárea en los niveles 2 y 3 de la categoría de uso correspondiente a tierras forestales se muestran en la Tabla 19. Para el nivel 2 se consideran bosque, y plantaciones forestales y para la categoría 3 bosque latifoliado, bosque de coníferas, bosque mixto y bosque seco.

A nivel nacional el volumen total promedio por hectárea estimado para bosque es de 115.4 m³/ha. En cuanto a las plantaciones forestales, el volumen total promedio estimado es de 78.7 m³/ha, variando según su intervalo de confianza de 51.2 a 106.1 m³/ha. Con respecto a la categoría de plantaciones forestales, es importante que al ser utilizada se considere que la información tiene un nivel de detalle de reconocimiento, considerando un error de muestreo de 34.9%. La edad promedio de las plantaciones que se muestrearon es de 12 años, en estas parcelas se registraron además árboles remanentes del bosque original, lo que influyó directamente en la variabilidad de los datos para esta categoría de uso. Además, es importante tener en cuenta que fueron levantadas en total 19 UM, 4 de especies coníferas y 15 de especies latifoliadas, por lo que dada su baja representatividad no se presenta información de nivel 3 para las categorías específicas de plantaciones.

El bosque latifoliado muestra un volumen total promedio de 134.6 m³/ha, con un error de 11.3%, considerando que este tipo de bosque se encuentra ampliamente representado en el país y tuvo la mayor cobertura en el muestreo, levantándose 150 UM para esta categoría.

En contraste, el bosque de coníferas presentó un error de muestreo del 81%, con una precisión muy baja, por lo que se presenta el volumen total promedio en función del intervalo de confianza, variando de 17.1 a 162.3 m³/ha. El elevado error de muestreo se debe principalmente a que la muestra levantada es heterogénea compuesta únicamente por 13 UM distribuidas en 8 departamentos del estrato central definido para el segundo IFN, correspondientes a Huehuetenango, Quetzaltenango, Totonicapán, Baja Verapaz, Guatemala, Izabal, Chiquimula y Jalapa entre otros.

El bosque mixto tiene un volumen promedio estimado de 81.9 m³/ha, variando de 57.1 a 111.9 m³/ha, con un error de muestreo del 29.7%. El bosque seco es un ecosistema que se caracteriza por árboles más pequeños con una altura promedio de 6 m y un DAP de 11 cm, menor densidad y un patrón de crecimiento muy diferenciado, para el cual se estimó un volumen promedio de 14.6, variando de 8.2 a 21 m³/ha, con un error de 43.5%. La combinación de baja representatividad y alta variabilidad hace evidente la necesidad de incrementar la intensidad de muestreo en futuras actualizaciones del IFN, con el fin de obtener estimaciones más robustas y representativas para estos tipos de bosque.

Respecto a las plantaciones forestales el volumen total promedio es de 78.7 m³/ha, variando de 51.2 a 106.1 m³/ha con un error de 34.9%.

Tabla 19:
Volumen total promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría nivel 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Volumen total promedio (m ³ /ha)	Intervalo de confianza (m ³)	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque Volumen: 115.4 m ³ /ha IC: 102.6 - 128.1 Error: 11 %	Bosque latifoliado	134.6	119.4 - 149.8	11.3
		Bosque de coníferas		17.1 - 162.3	81
		Bosque mixto	81.9	57.1 - 111.9	29.7
		Bosque seco	14.6	8.2 - 21	43.5
	Plantaciones forestales		78.7	51.2 - 106.1	34.9

Nota. Estimación de volumen total promedio (m³/ha) por los tipos de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia, con base a los árboles registrados del segundo IFN.

Además de las estimaciones realizadas para las tierras forestales, se estimó el volumen total promedio en los niveles 1, 2 y 3 para los árboles en otras categorías de uso de la tierra, cuyos resultados detallados se presentan en el Anexo 6.

8.3.2 Estimación del área basal (m²/ha)

El área basal, se refiere al área de la sección transversal de un árbol, tomada a una altura de 1.30 metros del suelo (Nájera et al., 2010). En silvicultura y ecología se utiliza como parámetro para representar la superficie de ocupación de los árboles en un territorio determinado, expresada en metros cuadrados por hectárea (m²/ha).

$$AB = \frac{\sum_{i=1}^n 0.7854 * \left(\frac{DAP_i}{100}\right)^2}{A_{UM}} * 10,000$$

Fórmula general para el cálculo de área basal por hectárea:

Dónde:

AB: Área basal en metros cuadrados por hectárea

DAP_i: Diámetro a la altura del pecho en cm, del árbol i

A_{UM}: Área de la unidad de muestreo, en m²

n: Número total de árboles en la unidad de muestreo

Nivel General y nivel 1 para tierras forestales

Los resultados de las estimaciones de área basal por hectárea para tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra se muestran en la Tabla 20. En la categoría de tierras forestales, se estimó un promedio de 14.1 m²/ha, con un error de muestreo de 8.8%; por su parte, en la categoría de árboles en otros usos de la tierra, el área basal se estimó en 2.4 m²/ha, con error de muestreo del 17.8%.

Tabla 20.

Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categoría de uso de la tierra	Área basal promedio (m ² /ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	14.1	12.9 - 15.4	8.8%
Árboles en otros usos de la tierra	2.4	2 - 2.9	17.8%

Nota. Estimación de área basal promedio de los árboles (m²/ha) por categoría de uso de la tierra nivel general y nivel 1 para tierras forestales. Fuente: elaboración propia, con base al segundo IFN.

Niveles 2 y 3

El área basal promedio por hectárea en los niveles 2 y 3 de la categoría de uso correspondiente a tierras forestales se presenta en la Tabla 21. El bosque latifoliado muestra el valor más alto, con 16.2 m²/ha y un error de muestreo del 9.3%. Le sigue el bosque de coníferas, con 12.8 m²/ha, aunque con un alto error de muestreo del 62.3%. El bosque mixto alcanza 11.9 m²/ha, con un error de 22.9%, mientras que el bosque seco registra un valor notablemente menor, de 3.1 m²/ha. Por su parte, las plantaciones forestales presentan un promedio de 9.1 m²/ha.

De acuerdo con los umbrales establecidos por el INAB en los Manuales Técnicos vinculados a los programas PROBOSQUE y a los Mecanismos de Compensación por Servicios Ecosistémicos y Ambientales (INAB, 2018; INAB, 2022a; INAB, 2022b), el área basal constituye una de las variables clave para evaluar el nivel de conservación de los bosques. Bajo este enfoque, los resultados del IFN indican que, a nivel nacional, los bosques latifoliados reflejan un mejor estado de conservación, al presentar un área basal promedio superior a 15 m²/ha. Según su intervalo de confianza (IC), estos valores varían entre 14.7 y 17.7 m²/ha, lo que respalda su condición favorable para la provisión de servicios ambientales.

En contraste, los bosques de coníferas, mixtos y secos evidencian distintos grados de degradación, ya que sus valores promedio de área basal se encuentran por debajo de los umbrales de referencia: 15 m²/ha para bosques de coníferas y mixtos, y entre 8 y 12 m²/ha para bosques secos bajos y altos, respectivamente. No obstante, en el caso de los bosques de coníferas, el intervalo de confianza (IC) muestra una variación amplia, de 4.8 a 20.8 m²/ha. El límite inferior es similar al área basal promedio observada en árboles fuera de bosque, mientras que el límite superior incluso supera el valor máximo registrado para los bosques latifoliados. Esta amplitud debe interpretarse considerando el alto error de muestreo obtenido en esta categoría.

En cuanto a las plantaciones forestales, con un área basal promedio de 9.1 m²/ha, es importante considerar que la edad promedio registrada es de 12 años, sin presencia de plantaciones con árboles maduros. Así también, se registraron árboles remanentes no vinculados a la plantación.

Si bien estos datos no son concluyentes, permiten describir de manera general el estado de conservación de los distintos tipos de bosques del país y orientan sobre las áreas que podrían priorizarse para acciones de manejo sostenible, conservación y restauración.

Tabla 21.
Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles ≥ de 10 cm de DAP y ≥5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Área basal (m ² /ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque Área basal: 14.4 m ² /ha IC: 13.1 - 15.7 Error: 9 %	Bosque latifoliado	16.2	14.7 - 17.7	9.3
		Bosque de coníferas		4.8 - 20.8	62.3
		Bosque mixto	11.9	9.2 - 14.6	22.9
		Bosque seco	3.1	1.8 - 4.4	41.3
	Plantaciones forestales		9.1	6.2 - 12	31.9

*Nota. Estimación de área basal promedio (m²/ha) por tipos de bosque y plantaciones forestales.
Fuente: elaboración propia, con base a los árboles registrados del segundo IFN.*

Además de las estimaciones realizadas para las tierras forestales, se estimó el área basal promedio en los niveles 1, 2 y 3 para los árboles en otras categorías de uso de la tierra, cuyos resultados detallados se presentan en el Anexo 7.

8.3.3 Estimación de la densidad de árboles (árboles/ha)

La densidad se refiere a la cantidad de árboles presentes por unidad de área, expresada como el número de árboles por hectárea (árboles/ha). Para su estimación se consideraron árboles con DAP mayor o igual a 10 cm, y en el caso particular del bosque seco, también se consideraron individuos a partir de 5 cm de DAP.

En el marco del segundo IFN, esta variable permite analizar la distribución espacial y abundancia de los árboles en tierras forestales y en otros usos de la tierra. Su interpretación, asociada al volumen y al área basal, ayuda a comprender aspectos vinculados a la regeneración en brinzales y latizales, el estado de conservación, el grado de intervención, así como el potencial de manejo y aprovechamiento forestal sostenible. Varía según el tipo de bosque, el nivel de desarrollo del bosque, las condiciones ecológicas, las prácticas de manejo, intervenciones silviculturales, entre otras características.

Fórmula para el cálculo de la densidad de árboles:

Densidad de árboles/ha con $DAP \geq 20$ cm = # de árboles/UM * 4.715691

Densidad de árboles/ha con $DAP \geq 10$ cm = # de árboles/UM * 4.715691 (para bosque seco)

Densidad de árboles/ha con $DAP < 19.9$ cm = # de árboles/UM * 10.610305

Densidad de árboles/ha con $DAP < 9.9$ cm = # de árboles/UM * 10.610305 (para bosque seco)

Donde:

de árboles/UM = Numero de árboles/UM

Factor 4.715691 = factor de conversión de árboles por hectárea de la UM con radio de 15 metros (2,120.58 m²).

Factor 10.610305 = factor de conversión de árboles por hectárea de la UM con radio de 10 metros (942.48m²).

Nivel general y nivel 1 para tierras forestales

Los resultados de las estimaciones de la densidad promedio de árboles por hectárea se presentan en la Tabla 22. La densidad promedio en tierras forestales fue de 349.3 árboles por hectárea, con un error de muestreo del 7.7%. En cuanto a los árboles en otros usos de la tierra, se estimó una densidad promedio de 55.5 árboles por hectárea, con un error de muestreo de 18.1%.

Tabla 22.

Densidad promedio de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco

Categoría de uso de la tierra	Densidad promedio (árboles/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	349.3	322.6 - 376	7.7%
Árboles en otros usos de la tierra	55.5	45.5 - 65.5	18.1%

Nota. Estimación de la densidad promedio de los árboles (árbol/ha) por categoría de uso de la tierra nivel general y nivel 1 para tierras forestales. Fuente: elaboración propia, en función a los árboles registrados del segundo IFN

Niveles 2 y 3

Los resultados de densidad de árboles por hectárea en los niveles 2 y 3 de la categoría correspondiente a tierras forestales se describen en la Tabla 23, observándose variaciones significativas entre los distintos tipos de cobertura forestal.

El bosque latifoliado presenta la mayor densidad con 391.2 árboles/ha, con un error de muestreo del 8.3%. Por su parte el bosque de coníferas registró una densidad de 272.3 árboles/ha, con un error del 40.3% y muy baja precisión al igual que lo obtenido en los cálculos de volumen y área basal. El bosque mixto muestra una densidad de 252.2 árboles/ha, con un error de 17.2%. Por su parte, el bosque seco alcanzó una densidad de 311.2 árboles/ha, con un error de muestreo del 48.2%.

Con respecto a las plantaciones forestales registradas, presentan una densidad promedio de 235.1 árboles/ha, con un error de muestreo de 23.3%, calculado a partir de las plantaciones de 12 años de edad promedio y de árboles remanentes no asociados directamente a ellas, los cuales contribuyen al valor estimado.

Tabla 23.

Densidad promedio de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3, para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Densidad promedio (árboles /ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque Árboles: 356 árboles/ha IC: 328.1 - 384 Error : 7.9 %	Bosque latifoliado	391.2	358.9 - 423.5	8.3
		Bosque de coníferas	272.3	162.6 - 382	40.3
		Bosque mixto	252.2	208.9 - 295.5	17.2
		Bosque seco	311.2	161.3 - 461.1	48.2
	Plantaciones forestales		235.1	180.2 - 290	23.3

Nota. Estimación de densidad de árboles (árbol/ha) por los tipos de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia en función a los árboles registrados del segundo IFN.

Además de las estimaciones realizadas para las tierras forestales, se estimó la densidad promedio en los niveles 1, 2 y 3 para los árboles en otras categorías de uso de la tierra, cuyos resultados detallados se presentan en el Anexo 8.

8.3.4 Volumen, área basal y densidad del bosque de mangle registrado en 3 UM

El bosque de mangle es una formación vegetal leñosa, densa, arbórea o arbustiva, con alturas promedio de hasta 15 metros. Está compuesto principalmente por una o varias especies de mangle, y se caracteriza por una escasa presencia de especies herbáceas y enredaderas. Las especies de mangle presentan hojas perennes, de borde entero y adaptaciones especiales para sobrevivir en ambientes salinos y húmedos (INAB, 2020).

Para el segundo IFN, en este tipo de bosque se levantaron únicamente tres unidades de muestreo (UM), distribuidas en siete parcelas, ubicadas en las costas del Pacífico en los departamentos San Marcos, Santa Rosa y Retalhuleu, sin registros de las costas del Caribe. Debido a la baja representatividad e intensidad de muestreo, los resultados presentados corresponden a los valores promedio de las UM registradas, sin inferir a nivel nacional, estos se muestran en la Tabla 24.

Los valores de volumen promedio por hectárea varían ampliamente, desde 23 m³/ha hasta 125 m³/ha, con respecto al área basal los valores van desde 4 a 8 m²/ha y la densidad de árboles por hectárea fluctúa entre 45 y 499. Estos resultados muestran diferencias significativas en la estructura y composición de las especies en los distintos sitios muestreados, si bien no son representativos del bosque de mangle, ofrecen un panorama a nivel de reconocimiento de sus características específicas.

En futuros inventarios forestales deberá considerarse el aumento de la intensidad de muestreo en este ecosistema, con el propósito de obtener datos más representativos que permitan evaluar de manera adecuada su composición, estructura y estado de conservación a nivel nacional. Asimismo, será importante concentrar y articular los distintos esfuerzos de monitoreo existentes sobre este tipo de bosque, de modo que las acciones generen un mayor impacto en el territorio. Esto resulta esencial dada la importancia ecológica, económica y en la gestión del riesgo de inundaciones que tienen los manglares, al funcionar como una barrera natural que mitiga el impacto del oleaje y protege las zonas marino costeras.

Tabla 24.
Volumen, área basal y densidad de árboles registrados > de 10 cm de DAP en el bosque de mangle.

Unidades de Muestreo	Municipio y departamento	Parcela	Volumen (m ³ /ha)	Área basal (m ² /ha)	Densidad (Arbol/ha)
6	Chiquimulilla, Santa Rosa	1	33	7	499
6		2	30	5	361
6		3	25	5	230
76	La Blanca, San Marcos	1	53	4	45
76		2	48	4	92
76		3	125	8	68
77	Retalhuleu, Retalhuleu	1	23	4	167

Nota. Estimación volumen (m³/ha), área basal (m²/ha) y densidad de árboles (árbol/ha) registrados mayores de 10 cm de DAP en el bosque de mangle. Fuente: elaboración propia, con base al segundo IFN.

8.3.5 Volumen, área basal y densidad promedio de plantaciones forestales, por UM

Considerando que el segundo Inventario Forestal Nacional registró únicamente cuatro unidades de muestreo (UM) de especies coníferas y catorce UM de especies latifoliadas, y que los errores de muestreo reflejan una baja precisión que limita la posibilidad de presentar estimaciones a nivel nacional por tipo de plantación, en la Tabla 25 se presenta la información correspondiente a los valores promedio registrados por cada UM, con el propósito de describir las características propias de cada una, sin realizar inferencias a nivel nacional.

En el caso de las cuatro UM de coníferas registradas, se evidencia una marcada variabilidad en las tres variables analizadas: volumen, área basal y densidad, con valores que oscilan entre 0.5 y 139.7 m³/ha para el volumen, entre 0.2 y 16.2 m²/ha para el área basal, y entre 21.2 a 290 arboles/ha para la densidad.

Por su parte, las plantaciones de latifoliadas presentan también diferencias en las variables analizadas, con volúmenes que varían entre 3.3 y 139.7 m³/ha, áreas basales entre 0.6 y 16.2 m²/ha, y densidades de 36 a 385 árboles/hectárea.

Tabla 25.
Volumen, área basal y densidad de árboles registrados > de 10 cm de DAP en plantaciones forestales.

Unidades de Muestreo	Departamento	Municipio	Tipo	Volumen (m ³ /ha)	Área basal (m ² /ha)	Densidad (Árbol/ha)
150	Chimaltenango	Santa Apolonia	Conífera	0.5	0.2	21.2
234	Alta Verapaz	Tucurú	Latifoliada	14.5	2.2	35.4
239	Izabal	Los Amates	Latifoliada	3.3	0.6	36.5
250	Quiche	San Juan Cotzal	Conífera	28.2	2.9	18.9
256	Alta Verapaz	San Pedro Carchá	Conífera	139.7	16.2	290.0
320	Huehuetenango	Huehuetenango	Conífera	10.4	2.0	169.8
332	Alta Verapaz	Cobán	Latifoliada	55.6	6.2	196.9
360	Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las casas	Latifoliada	23.4	3.5	83.7
371	Huehuetenango	Nentón	Latifoliada	4.9	1.0	77.8
382	Alta Verapaz	Cobán	Latifoliada	23.8	3.9	170.9
384	Alta Verapaz	Chisec	Latifoliada	11.1	1.8	40.1
390	Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las casas	Latifoliada	19.8	2.2	100.2
400	Quiche	Ixcán	Latifoliada	75.1	7.8	231.1
519	Petén	La Libertad	Latifoliada	114.8	13.5	183.9
616	Suchitepéquez	Santo Domingo Suchitepéquez	Latifoliada	118.1	9.8	92.0
681	Alta Verapaz	Cobán	Latifoliada	64.9	6.9	385.5
684	Quiche	Santa Cruz del Quiché	Latifoliada	50.1	5.3	100.2
704	Petén	San Andrés	Latifoliada	41.9	5.4	76.6

Nota. Estimación volumen (m³/ha), área basal (m²/ha) y densidad de árboles (árbol/ha) registrados mayores de 10 cm de DAP en plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia, con base al segundo IFN.

8.3.6 Estimaciones de volumen total, área basal y densidad de especies forestales de uso comercial

En este apartado se realiza la estimación del volumen total de especies reconocidas por su valor comercial, la categorización de especies se estableció por el equipo técnico del INAB y el CONAP con base en la resolución para determinar el valor de la madera en pie del INAB (2024). Estas estimaciones permiten conocer las condiciones del recurso maderable para las especies de uso comercial, para aquellos individuos mayores a 10 cm de DAP, utilizando las ecuaciones que se describen en el Anexo 5.

Dentro del grupo de maderas preciosas, se incluyen especies de alto valor económico y gran demanda en mercados nacionales e internacionales, especialmente en ebanistería fina y fabricación de muebles de lujo. Entre estas especies se encuentran *Acosmium panamense*, *Astronium graveolens*, *Cedrela odorata*, *Cordia dodecandra*, *Dalbergia granadillo*, *Dalbergia retusa*, *Dalbergia stevensonii*, *Swietenia humilis* y *Swietenia macrophylla*.

El grupo de maderas semipreciosas está compuesto por especies utilizadas ampliamente en carpintería, construcción liviana y muebles. Las especies incluidas en esta categoría son *Albizia saman*, *Calophyllum brasiliense*, *Cordia alba*, *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia donell-smithii* y *Tabebuia rosea*.

Las maderas secundarias, coníferas y asociadas a coníferas agrupan especies de uso local o regional, empleadas principalmente en la construcción rural, cercas, embalaje, muebles rústicos y leña. En este grupo se encuentran *Aspidosperma cylindrocarpon*, *Aspidosperma macrocarpon*, *Aspidosperma megalocarpon*, *Aspidosperma spp.*, *Aspidosperma stegomeris*, *Brosimum alicastrum*, *Dendropanax arboreus*, *Quercus spp.*, *Liquidambar styraciflua*, *Lonchocarpus castilloi*, *Pseudobombax ellipticum*, *Sterculia apetala*, *Symphonia globulifera*, *Terminalia amazonia*, *Vatairea lundellii*, *Virola koschnyi* y *Vochysia guatemalensis*; así también, especies comerciales de coníferas como *Cupressus lusitanica*, diversas especies del género *Pinus*: *P. ayacahuite*, *P. caribaea*, *P. hartwegii*, *P. maximinoi*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus* y *P. tecunumanii*. Su versatilidad las convierte en recursos fundamentales para comunidades rurales.

En plantaciones forestales destacan las especies exóticas *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, de rápido crecimiento y alto valor industrial.

A. Volumen total promedio de especies forestales de uso comercial

La estimación del volumen total promedio para las especies forestales de uso comercial se presenta en la Tabla 26, para tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra.

En tierras forestales, se obtuvo un volumen total promedio de 42.0 m³/ha, con un intervalo de confianza entre 34.5 y 49.6 m³/ha y un error de muestreo del 18.0%. Para esta categoría las especies comerciales representan el 37% del volumen total promedio por hectárea, equivalente a 173,873,910 m³ a nivel nacional. Este resultado refleja la importancia de las especies comerciales dentro de las tierras forestales en cuanto a disponibilidad de madera con valor de mercado.

Con respecto a los árboles ubicados en otros usos de la tierra, el volumen total promedio estimado fue de 3.6 m³/ha, con un intervalo de confianza entre 1.5 y 5.6 m³/ha y un error de muestreo del 57.9%. Para esta categoría las especies comerciales representan el 21% del volumen total promedio por hectárea, equivalente a 24,296,562 m³ a nivel nacional. Esta información indica la presencia de especies comerciales fuera de las tierras forestales, especialmente en áreas agroforestales, sistemas silvopastoriles, pastizales y tierras de cultivo, donde estos árboles pueden cumplir funciones productivas y ecológicas complementarias.

Tabla 26.
Volumen promedio total por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles de uso comercial > a 10 cm de DAP.

Categoría de uso de la tierra	Volumen promedio (m ³ /ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	42.0	34.5 - 49.6	18.0%
Árboles en otros usos de la tierra	3.6	1.5 - 5.6	57.9%

Nota. Estimación de volumen en rollo total promedio (m³/ha) de las especies forestales comerciales por categoría de uso de la tierra general. Fuente: elaboración propia en función a los árboles registrados del segundo IFN.

B. Área basal de especies forestales de uso comercial

La estimación del área basal de especies forestales de uso comercial se presenta en la Tabla 27, para tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra.

Para las tierras forestales, se estima un promedio de 5.2 m²/ha, con un intervalo de confianza de 4.3 a 6.0 m²/ha y un error de muestreo del 16.6%. En la categoría de árboles en otros usos de la tierra, el área basal promedio es de 0.4 m²/ha, con un intervalo de confianza de 0.3 a 0.6 m²/ha y un de muestreo del 39.4%. Las especies comerciales en tierras forestales representan un 37% del área basal promedio y un 17 % en la categoría de árboles en otras tierras.

Tabla 27.

Área basal promedio por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso de la tierra nivel general, para árboles de uso comercial > a 10 cm de DAP.

Categoría de uso de la tierra	Área basal promedio (m ² /ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	5.2	4.3 - 6	16.6%
Árboles en otros usos de la tierra	0.4	0.3 - 0.6	39.4%

Nota. Estimación de área basal promedio (m²/ha) por categoría de uso de la tierra nivel general.

Fuente: elaboración propia en función a los árboles registrados del segundo IFN.

C. Densidad de árboles de especies de uso comercial

La estimación de la densidad de árboles de especies forestales de uso comercial se presenta en la Tabla 28, para tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra.

La densidad de árboles de especies forestales comerciales en las tierras forestales es de 93.6 árboles por hectárea, con un intervalo de confianza de 79.5 a 107.6 y un error de muestreo del 15.0%. Estas especies representan el 26% del total de árboles por hectárea en esta categoría, lo que evidencia el potencial de las comunidades para obtener beneficios directos de los bosques, constituyéndose estos en medios de vida indispensables para las comunidades, haciendo evidente su valor ecológico y económico.

Para la categoría de árboles en otros usos de la tierra, la densidad promedio registrada es significativamente menor, con 6.9 árboles por hectárea, un intervalo de confianza de 4.9 a 8.9 y un error de muestreo de 28.7%. Este resultado refleja la baja concentración y distribución irregular de árboles comerciales fuera de los bosques, además de indicar la presencia de especies aisladas con valor económico, especialmente en áreas agroforestales o paisajes rurales.

Tabla 28.

Densidad de árboles por hectárea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general para árboles de uso comercial > de 10 cm de DAP.

Categoría de uso de la tierra	Densidad promedio (árboles/ ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	93.6	79.5 - 107.6	15.0%
Árboles en otros usos de la tierra	6.9	4.9 - 8.9	28.7%

Nota. Estimación de densidad de árboles (árbol/ha) por categoría general de las especies forestales comerciales. Fuente: elaboración propia en función a los árboles registrados del segundo IFN.

8.3.7 Estimación de volumen total de árboles utilizados para leña

La estimación del volumen total de los árboles utilizados para leña constituye un insumo importante dentro del análisis del segundo IFN, ya que permite calcular el aporte potencial de este recurso en los diferentes ecosistemas evaluados. Es importante aclarar que el volumen estimado corresponde al volumen total en rollo de los árboles registrados cuyo uso principal fue identificado como leña, y no necesariamente refleja el volumen de leña disponible o aprovechable en campo, ya que este depende de factores como prácticas de extracción, técnicas de aprovechamiento y criterios de selección de los usuarios locales.

El análisis se realizó con base en un total de 4,937 árboles medidos en campo, que corresponden a 413 especies diferentes registradas con uso principal de leña. Estos datos permiten obtener un panorama general del potencial de las especies leñosas en cuanto a volumen, resaltando su papel fundamental como fuente de energía en los hogares rurales y la seguridad energética de las comunidades que dependen de los bosques.

El volumen promedio estimado para estas especies para las categorías de tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra se muestra en la Tabla 29. En tierras forestales, el volumen promedio alcanza 48.3 m³/ha, con un intervalo de confianza entre 41.0 y 55.5 m³/ha y un error de muestreo del 15.0 %.

En árboles en otros usos de la tierra, el volumen promedio estimado es de 9.0 m³/ha, con un intervalo de confianza entre 6.4 y 11.6 m³/ha y un error de muestreo del 28.7 %, reflejando tanto la menor densidad de árboles para leña como la mayor variabilidad en su distribución fuera de las áreas forestales.

Estos resultados constituyen referencias generales sobre el volumen de las especies utilizadas para leña a nivel nacional, aportando información útil para comprender tendencias y patrones de disponibilidad, aunque no deben interpretarse como valores confiables para toma de decisiones en contextos locales específicos.

Tabla 29.
Volumen total promedio, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría de uso nivel general, para árboles de uso de leña registrados > de 10 cm de DAP.

Categoría de uso de la tierra	Volumen promedio (m ³ /ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	48.3	41 - 55.5	15.0%
Árboles en otros usos de la tierra	9.0	6.4 - 11.6	28.7%

Nota. Estimación de volumen (m³/ha) por categoría general de los árboles para uso de leña.

Fuente: elaboración propia, con información del segundo IFN.

8.4 Existencias de biomasa aérea, subterránea, madera muerta y hojarasca

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa que se desarrolla a partir de procesos de fotosíntesis, respiración y degradación en los bosques. La captura, almacenamiento y liberación de carbono depende del manejo, edad, altura, estructura y composición de los bosques.

El servicio ambiental que proveen los bosques como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento, misma que se ve incrementada debido a las emisiones por las intervenciones antropogénicas (Torres y Guevara, 2022).

El segundo IFN consideró la estimación de biomasa en árboles, madera muerta (tocones y madera muerta caída) y hojarasca para las categorías de tierras forestales y otros usos de la tierra, lo que permite conocer la cantidad de carbono de estos reservorios. El primer IFN no consideró madera muerta caída ni hojarasca, lo cual es ahora una mejora metodológica en el cálculo de biomasa y carbono de los bosques, aportando información a instrumentos estratégicos y de planificación en el marco de acciones vinculadas a la mitigación del cambio climático.

8.4.1 Estimación de biomasa aérea (ton/ha)

La biomasa aérea es definida por la FAO (2023b) como toda la biomasa por encima del suelo presente en la vegetación viva, tanto leñosa como herbácea, incluidos tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje. Para el segundo IFN se estima la biomasa aérea en la vegetación viva leñosa de especies arbóreas mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

Las estimaciones de biomasa aérea se realizaron utilizando ecuaciones genéricas de biomasa generadas para especies latifoliadas y coníferas, desarrolladas por el CEAB-UVG (2018). Para los árboles de bosques latifoliados ubicados en las tierras bajas del norte del país, se emplearon específicamente las ecuaciones propuestas por Arreaga Gramajo (2002), las cuales fueron desarrolladas para condiciones ecológicas similares a esa región. En el caso del bosque de mangle, se utilizaron las ecuaciones formuladas por Fromard (1998). Estas ecuaciones se detallan en el Anexo 9 del presente informe.

Para las plantaciones forestales, las estimaciones de biomasa aérea se realizaron a partir del volumen total, la densidad de la madera por especie y un factor de expansión (1.5 para latifoliadas y 1.2 para coníferas).

Nivel general y nivel 1 para tierras forestales

Los resultados del segundo IFN presentados en la Tabla 30, muestran que la biomasa aérea promedio estimada para árboles mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros desde 5 cm en bosque seco.

En tierras forestales la biomasa aérea alcanza 97.9 toneladas por hectárea, con un intervalo de confianza entre 88 y 107.9 toneladas por hectárea y un error de muestreo del 10.2%, lo que representa una estimación estadísticamente sólida y confiable a nivel nacional. En la categoría de árboles en otros usos de la tierra, la biomasa aérea es significativamente menor, con 15.3 toneladas por hectárea, un intervalo de confianza entre 12.4 y 18.3 toneladas y un error de muestreo del 19.2%, reflejando tanto la menor densidad como la distribución dispersa de los árboles que se encuentran fuera de tierras forestales.

Tabla 30.
Biomasa aérea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general de uso de la tierra para árboles ≥ de 10 cm de DAP y ≥5 cm en bosque seco.

Categoría de uso de la tierra	Biomasa aérea (ton/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	97.9	88 - 107.9	10.2%
Árboles en otros usos de la tierra	15.3	12.4 - 18.3	19.2%

Nota. Estimación de biomasa aérea (ton/ha) por categoría de uso de la tierra nivel general. Fuente: elaboración propia en función al segundo IFN.

Niveles 2 y 3

En promedio, los bosques que se detallan en la Tabla 31 presentan una biomasa aérea estimada de 100 ton/ha, con un intervalo de confianza entre 89.6 y 110.4 ton/ha y un error de muestreo del 10.4%, lo que representa una estimación precisa y confiable.

Al desglosar las estimaciones de biomasa por tipos de bosque, se determinó que el bosque latifoliado es el ecosistema forestal con mayor acumulación de biomasa aérea, con 115.2 ton/ha y un error de muestreo de 11.2%, en contraste el bosque seco, considerando las características específicas de las especies arbóreas que lo componen, presenta la menor acumulación de biomasa aérea, con 15.4 ton/ha, con un error de muestreo del 40.6%. Con respecto al bosque mixto se estima una biomasa de 74 ton/ha con un error de muestreo del 23.3%.

En el caso específico de la estimación de biomasa aérea para bosque de coníferas, los resultados presentaron una precisión muy baja, con un error de muestreo de 72.8%, por lo que únicamente se presenta el resultado en términos del intervalo de confianza, que varía desde 22.7 a 143.5 ton/ha, cuyo límite superior es incluso mayor al límite superior en bosque latifoliado. Es

importante tomar en cuenta los niveles de precisión de los resultados, en los casos de baja y muy baja precisión deben asumirse como de reconocimiento y referenciales.

Por su parte, las plantaciones forestales registradas en el segundo IFN con una edad promedio de 12 años, reportan una biomasa promedio de 62.3 ton/ha con un intervalo de confianza que varía de 41.7 a 83.5 ton/ha y un error del 33%.

Tabla 31.

Biomasa aérea, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Biomasa aérea (ton/ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque: 100 Ton/ha IC: 89.6 - 110.4 Error: 10.4 %	Bosque latifoliado	115.2	102.4 - 128	11.2
		Bosque de coníferas		22.7 - 143.5	72.8
		Bosque mixto	74	56.7 - 91.3	23.3
		Bosque seco	15.4	9.2 - 21.6	40.6
	Plantaciones forestales		62.3	41.7 - 83.5	33

Nota. La tabla muestra la estimación de biomasa aérea (ton/ha) por tipos de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia según datos del segundo IFN.

8.4.2 Estimación de biomasa subterránea (ton/ha)

El concepto de biomasa subterránea se refiere a toda la materia vegetal compuesta por raíces vivas, excluyendo las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro ya que a menudo no pueden distinguirse empíricamente de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca (FAO, 2023).

Para la estimación de la biomasa subterránea, se utilizó la ecuación de Mokany et al., (2006), para especies latifoliadas y coníferas, en la cual el cálculo se realizó por parcela. Para las parcelas en bosque de mangle, se aplicó la ecuación desarrollada por Komiyama et al., (2005), en la cual el cálculo se realizó por árbol. Estas ecuaciones se presentan a detalle en el Anexo 9.

Nivel general y nivel 1 para tierras forestales

La Tabla 32 presenta los resultados de la estimación de biomasa subterránea para árboles mayores de 10 cm de DAP, incluyendo aquellos con diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

En la categoría de tierras forestales, la biomasa subterránea promedio se estimó en 31.1 toneladas por hectárea, con un intervalo de confianza entre 28.2 y 34 ton/ha y un error de muestreo del 9.4%,

En la categoría de árboles en otros usos de la tierra la biomasa subterránea es considerablemente menor, con 5.4 toneladas por hectárea, un intervalo de confianza entre 4.4 y 6.4 ton/ha y un error de muestreo del 17.8%.

Para ambas categorías de uso de la tierra los resultados son de alta y mediana precisión, son adecuados para uso cuantitativo, para respaldar instrumentos de planificación y estrategias nacionales.

Tabla 32.
Estimación de biomasa subterránea, intervalos de confianza y error de muestreo por categoría general para árboles \geq 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categoría de uso de la tierra	Biomasa subterránea (ton/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	31.1	28.2 - 34	9.4%
Árboles en otros usos de la tierra	5.4	4.4 - 6.4	17.8%

Nota. Estimación de biomasa subterránea (ton/ha) por los tipos de bosque y plantaciones forestales, nivel general. Fuente: elaboración propia con base al segundo IFN.

Niveles 2 y 3

La biomasa subterránea promedio por hectárea se presenta en la Tabla 33, para los niveles 2 y 3, específicamente para tierras forestales.

Los bosques presentan una biomasa subterránea estimada de 32.2 ton/ha, con un intervalo de confianza entre 29.2 y 35.2 ton/ha y un error de muestreo del 9.4%, lo que representa una estimación precisa y estadísticamente confiable a nivel nacional.

Los resultados por tipo de bosque indican que el bosque latifoliado es el ecosistema forestal con mayor acumulación de biomasa subterránea, presenta 36.5 ton/ha y un error de muestreo del 10%, reflejando la densidad estructural y radicular propia. Por el contrario, el bosque seco, considerando sus condiciones edafoclimáticas áridas y menor densidad vegetal, presenta la menor acumulación de biomasa subterránea, con 6.0 ton/ha y un error de muestreo del 39%.

El bosque mixto presenta una biomasa subterránea promedio de 24.4 ton/ha, con un error de muestreo del 20.8%. En el caso específico del bosque de coníferas, los resultados presentaron una precisión muy baja, con un error de muestreo de 63.4%; por lo tanto, únicamente se considera el resultado en términos del intervalo de confianza, que varía desde 9.8 a 43.6 ton/ha, indicando una alta variabilidad asociada a la heterogeneidad ecológica de las regiones y la limitada cantidad de unidades de muestreo.

En cuanto a las plantaciones forestales, se estimó una biomasa subterránea promedio de 12.5 ton/ha, con un intervalo de confianza que varía de 8.3 a 16.6 ton/ha y un error del 33%. Con respecto a las plantaciones que se registraron en el segundo IFN es importante considerar que la información se obtuvo de 18 UM, habiendo calculado una edad promedio de 12 años.

Estos resultados permiten caracterizar la distribución de raíces y su papel en el almacenamiento de carbono subterráneo, aportando información clave para la evaluación de la función ecológica y climática de los ecosistemas forestales del país.

Tabla 33.

Biomasa subterránea, intervalos de confianza y error de muestreo por categorías nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles ≥ 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Biomasa subterránea (ton/ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque: 32.2 Ton/ha IC: 29.2 - 35.2 Error : 9.4 %	Bosque latifoliado	36.5	32.8 - 40.2	10
		Bosque de coníferas		9.8 - 43.6	63.4
		Bosque mixto	24.4	19.3 - 29.5	20.8
		Bosque seco	6	3.7 - 8.3	39
	Plantaciones forestales		12.5	8.3 - 16.6	33

Nota. Estimación de biomasa subterránea (ton/ha) por tipos de bosque y plantaciones forestales.

Fuente: elaboración propia con base al segundo IFN.

8.4.3 Estimación de biomasa (ton/ha) en madera muerta

La biomasa en madera muerta, según FAO (2023b), se refiere a toda la biomasa leñosa no viva, que no está contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida sobre el suelo o en el suelo.

En el segundo IFN de Guatemala, la madera muerta comprende tanto la madera muerta caída como los tocones y los árboles en pie registrados como muertos. Dentro del inventario, se define como madera muerta caída a todas aquellas piezas de madera con diámetros iguales o mayores a 5 cm que se encuentran en el suelo, independientemente de su nivel de descomposición. Se considera tocones la parte del tronco que permanece unida a la raíz después de que el árbol ha sido cortado o quebrado, tomando en cuenta aquellos con diámetros a partir de 5 cm de DAP y alturas menores a 2.5 metros, además se incluyen 263 árboles muertos en pie a partir de 10 cm DAP y a partir de 5 cm de DAP para árboles en bosque seco.

La estimación del volumen y biomasa de la madera muerta caída y tocones se realizaron con base a las formulas generadas por Casanoves et al. (2017), descritas a continuación:

Volumen de madera caída (V) en m³/ha:

$$V = \frac{(1.2337 * (d^2) * L)}{10000}$$

Desglose de la Fórmula:

V = volumen de madera caída por hectárea.

d= diámetro de la madera caída en metros

L = longitud horizontal del transecto (90 m).

Biomasa en madera muerta caída (B) en ton/ha:

$$B = V * \rho$$

Desglose de la Fórmula:

B = biomasa de la madera muerta caída.

V = volumen de madera caída por hectárea

= densidad de la madera.

Biomasa en tocones en ton/ha

$$Bt = Vt_{oc} * \rho$$

Desglose de la Fórmula:

Bt = biomasa en los tocones

V = volumen de tocones por hectárea,

= densidad de la madera.

Los resultados del segundo IFN muestran que la biomasa promedio de madera muerta presentados en la tabla No. 34, es de 10.9 ton/ha en las tierras forestales, con un intervalo de confianza de 8.1 a 13.6 ton/ha y un error de muestreo del 25.1%. el cual indica la acumulación de material leñoso en el suelo, incluyendo tanta madera muerta caída, tocones y árboles muertos, los cuales forman parte importante de los ciclos de nutrientes y del almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales.

Por otro lado, para la categoría de otros usos de la tierra, se estimó una biomasa promedio de 2.1 ton/ha, con un intervalo de confianza entre 1.3 y 2.9 ton/ha y un error de muestreo del 36.7%.

Tabla 34.

Estimación de biomasa en madera muerta por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.

Categoría general	Biomasa (ton/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	10.9	8.1 - 13.6	25.1%
Otros usos de la tierra	2.1	1.3 - 2.9	36.7%

Nota. La tabla muestra la estimación de biomasa en madera muerta que incluye la madera muerta caída, tocones y arboles muertos en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia con base al segundo IFN.

8.4.4 Estimación de biomasa (ton/ha) en hojarasca.

La estimación de biomasa en hojarasca se presenta en ton/ha y se refiere a la biomasa no viva con un diámetro inferior al diámetro mínimo elegido por el país para medir la madera muerta, en este caso, menor de 5cm de diámetro, en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico. (FAO, 2023)

La muestra de hojarasca fue colectada utilizando un marco de 50 cm x 50 cm sobre el suelo. Se midió la profundidad del mantillo y la capa de fermentación, se evaluó el estado de descomposición de la hojarasca que incluye la MMC de 0 a 5 cm. se tomó el peso húmedo de la muestra y fue trasladado al laboratorio para determinar el peso seco.

Fórmula para determinar la biomasa en hojarasca:

$$Bh = \frac{pht}{\left(\left(\frac{\%h}{100}\right) + 1\right)} * fexp/1000$$

Desglose de la Fórmula:

Bh = biomasa en la hojarasca.

Pht = peso total húmedo de la muestra de hojarasca en la parcela en kg

%h = porcentaje de humedad

fexp = factor de expansión. (13,333.333)

Los resultados para la biomasa de hojarasca en la tabla 35 muestran que en las tierras forestales se estima un promedio de 15.7 ton/ha, con un intervalo de confianza de 13.3 a 18.2 ton/ha y un error de muestreo del 15.8%. Esta biomasa representa la acumulación de material vegetal en descomposición, como hojas, ramas finas y restos orgánicos, que cumplen funciones ecológicas como la conservación de humedad del suelo, aporte de nutrientes y cobertura superficial.

En comparación, en las áreas clasificadas como de otros usos de la tierra, la biomasa de hojarasca se estimó en 7.2 ton/ha, con un intervalo de confianza entre 5.8 y 8.5 ton/ha y un error de muestreo del 18.9%.

Tabla 35.
Estimación de biomasa en hojarasca por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.

Categoría general	Biomasa Ton/ha	Intervalos de confianza	% Error de muestreo
Tierras forestales	15.7	13.3 - 18.2	15.8%
Otros usos de la tierra	7.2	5.8 - 8.5	18.9%

Nota. La tabla muestra la estimación de biomasa en hojarasca (ton/ha) en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia en función al segundo IFN.

8.4.5 Resumen de la estimación total de biomasa área, subterránea, madera muerta y hojarasca (ton/ha)

En la Tabla 36 se presenta un resumen de la existencia de biomasa en los reservorios, Según el segundo IFN utilizando los datos promedios de las categorías generales para el análisis, las tierras forestales son el principal reservorio de biomasa a nivel nacional, aportando aproximadamente el 76% del total, con un volumen estimado de 644,161,438 toneladas. Dentro de esta categoría, la biomasa aérea constituye el mayor componente, con una densidad de 97.9 ton/ha, significativamente superior a la observada en otros usos de la tierra, donde se registran 15.3 ton/ha.

En ambas categorías de cobertura, la biomasa aérea es el principal depósito de biomasa, pero la biomasa subterránea, la hojarasca y la madera muerta (incluyendo tocones y madera muerta caída) también representan componentes relevantes del total, aunque en menor proporción. En tierras forestales, la biomasa subterránea alcanza 31.1 ton/ha, la hojarasca 15.7 ton/ha y la madera muerta 10.9 ton/ha.

Por su parte, los otros usos de la tierra, con una superficie más extensa, acumulan un total de 202,471,350 toneladas de biomasa, distribuidas principalmente en biomasa aérea con 103.2 millones de toneladas y en menor medida en biomasa subterránea, hojarasca y madera muerta.

En conjunto, el total de biomasa estimada en los diferentes reservorios asciende a 846,632,788 toneladas, dato que refleja la importancia de conservar tanto los bosques como los árboles en paisajes no forestales, por su contribución al almacenamiento de carbono y la regulación del clima.

Tabla 36.
Resumen del contenido total de biomasa en toneladas por reservorio

Categoría general	Superficie en hectáreas	Reservorio de biomasa	ton/ha	Toneladas de Biomasa
Tierras forestales	4,139,855.00	Biomasa aérea	97.9	405,291,805
		Biomasa subterránea	31.1	128,749,491
		madera muerta	10.9	45,124,420
		hojarasca	15.7	64,995,724
Total de biomasa en tierras forestales				644,161,438
Otros usos de la tierra	6,749,045.00	Biomasa aérea	15.3	103,260,389
		Biomasa subterránea	5.4	36,444,843
		madera muerta	2.1	14,172,995
		hojarasca	7.2	48,593,124
Total de biomasa en otros usos de la tierra				202,471,350
Total de biomasa				846,632,788

Nota. La tabla muestra el resumen de las estimaciones de biomasa (ton/ha) por reservorio en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia en función a los datos del segundo IFN

8.5. Existencia de carbono aéreo, subterráneo, en madera muerta, hojarasca y en el suelo.

Determinar el contenido de carbono almacenado en los árboles dentro de bosques y en otros usos de la tierra es importante para la estimación de los gases de efecto invernadero y temas de cambio climático.

La estimación de carbono en la biomasa aérea y subterránea de los árboles permitió determinar la cantidad de carbono fijado en los distintos reservorios: materia muerta y hojarasca, incluye el suelo. Este cálculo se realizó a partir de los datos de biomasa total de cada árbol, aplicando la fracción de carbono (FC) establecida por el IPCC (2006) equivalente a 0.47, que representa el porcentaje de carbono en la biomasa.

Formula de carbono:

$$C = Bt * FC$$

Desglose de la formula:

C = Carbono fijado en ton C/ha

Bt = Biomasa total por hectárea

Fc = Fracción de carbono equivalente a 0.47

8.5.1 Estimación de carbono aéreo (ton C/ha) para árboles mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

La estimación de carbono en la parte aérea se refiere en toda la biomasa viva por encima del suelo, incluyendo el tronco, las ramas, la corteza, las semillas y las hojas. Se expresa en toneladas de carbono por hectárea.

El promedio de carbono aéreo fijado en la categoría de tierras forestales considerando árboles mayores de 10 cm de DAP e incluyendo diámetros desde 5 cm en el bosque seco que se presenta en la Tabla 37 es de 46 ton C/ha, con un intervalo de confianza entre 41.3 y 50.7 ton C/ha y un error de muestreo del 10.2%, lo que indica una estimación precisa y estadísticamente confiable a nivel nacional.

En contraste, la categoría de árboles en otros usos de la tierra presenta un contenido de carbono aéreo significativamente menor, con 10.3 ton C/ha, un intervalo de confianza entre 7.4 y 13.1 ton C/ha y un error de muestreo del 27.5%, lo que refleja tanto la menor densidad de árboles como su distribución dispersa fuera del bosque. Estos datos destacan la importancia de las tierras forestales en la fijación de carbono y en las estrategias de mitigación del cambio climático.

Tabla 37.
Carbono aéreo, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría general para árboles \geq de 10 cm de DAP y \geq 5 cm en bosque seco.

Categoría general	Carbono aéreo (ton C/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	46.0	41.3 - 50.7	10.2%
Árboles en otros usos de la tierra	10.3	7.4 - 13.1	27.5%

Nota. Estimación de carbono aérea (ton C/ha) por categoría general. Fuente: elaboración propia con base a los datos del segundo IFN.

Con respecto a los bosques la Tabla 38 permite observar que el bosque latifoliado destaca por su alta capacidad de almacenamiento de carbono con 54.1 ton C/ha y un error de muestreo del 11.2%. El bosque de coníferas presenta una estimación con alta incertidumbre, reflejada en un amplio intervalo de confianza que va de 10.6 a 67.4 ton C/ha, lo que limita su representatividad a nivel nacional.

Por su parte, el bosque mixto muestra un contenido moderado de carbono con 34.8 ton C/ha y un error del 23.3%, mientras que el bosque seco tiene el valor más bajo con 7.2 ton C/ha, evidenciando su baja densidad de vegetación y condiciones más áridas.

En cuanto a las plantaciones forestales, se estima un promedio de 29.3 ton C/ha de carbono aéreo, con un intervalo de confianza de 19.9 a 38.9 ton C/ha y un error del 33%, lo cual sugiere una alta variabilidad en las condiciones de manejo y establecimiento.

Tabla 38.
Carbono aéreo, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para árboles ≥ de 10 cm de DAP y ≥5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Carbono aérea (ton C/ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque: 48.6 ton C/ha IC: 42.7 - 52.2 Error : 10.3 %	Bosque latifoliado	54.1	48.1 - 60.1	11.2
		Bosque de coníferas		10.6 - 67.4	72.8
		Bosque mixto	34.8	26.7 - 42.9	23.3
		Bosque seco	7.2	4.3 - 10.1	40.6
	Plantaciones forestales		29.3	19.6 - 38.9	33

Nota. La tabla muestra la estimación de carbono aérea (ton/ha) por tipos de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia según datos del segundo IFN.

8.5.2 Estimación de carbono subterráneo (ton C /ha) para árboles mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

La estimación de carbono de la parte subterránea considera el carbono en toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, porque a menudo no pueden distinguirse empíricamente de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.(FAO, 2023)

Los resultados del segundo IFN para carbono subterráneo, considerando árboles mayores de 10 cm de DAP e incluyendo diámetros desde 5 cm en el bosque seco que se detallan en la Tabla 39. En la categoría de tierras forestales se estima en 14.6 ton C/ha, con un intervalo de confianza entre 13.2 y 16 ton C/ha y un error de muestreo del 9.4%, lo que representa una estimación estadísticamente sólida y confiable a nivel nacional. Por otro lado, en la categoría de árboles en otros usos de la tierra, el carbono subterráneo promedio es considerablemente menor, con 2.6 ton/ha, un intervalo de confianza de 2.1 a 3 ton/ha y un error de muestreo del 17.8%.

Los resultados reflejan el alto potencial de almacenamiento de carbono en las raíces de los árboles presentes en las áreas forestales, destacando su importancia en el secuestro de carbono subterráneo. En contraste, la menor densidad y cobertura arbórea en las zonas no forestales limita significativamente esta capacidad, reduciendo el aporte de carbono al suelo a través del sistema radicular.

Tabla 39.

Carbono fijado subterráneo, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría general para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.

Categoría general	Carbono subterráneo (ton C/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	14.6	13.2 - 16	9.4%
Árboles en otros usos de la tierra	2.5	2.1 - 3	17.8%

Nota. Estimación de carbono subterránea (ton C/ha) por categoría general. Fuente: elaboración propia en función a los datos del segundo IFN.

El promedio total de carbono subterráneo en la categoría de bosques naturales para árboles mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros desde 5 cm en bosque seco que se presentan en la Tabla 40, corresponde a 15.1 ton C/ha, con un error de muestreo del 9.4%.

Al desglosar por tipo de bosque, el bosque latifoliado registra el mayor contenido de carbono subterráneo con 17.1 ton C/ha y un error del 10%, lo que describe la capacidad de almacenamiento en el suelo a través del sistema radicular. En el caso del bosque de coníferas, debido a la alta incertidumbre en los datos (error de 63.4%), únicamente se reporta el intervalo de confianza, que va de 4.6 a 20.4 ton C/ha.

El bosque mixto presenta un contenido moderado de carbono subterráneo con 11.5 ton C/ha, y un error del 20.8%, mientras que el bosque seco tiene el valor más bajo, con 2.8 ton C/ha y un error del 39%, probablemente vinculada a una baja densidad de raíces y condiciones edáficas más áridas.

Por su parte, las plantaciones forestales presentan un contenido de carbono subterráneo de 5.9 ton C/ha, con un intervalo de confianza de 3.9 a 7.8 ton C/ha y un error del 33%, lo que indica una menor acumulación en comparación con los bosques, aunque su contribución sigue siendo significativa.

Tabla 40.

Carbono subterráneo, intervalos de confianza y % error de muestreo por categoría nivel 1, 2 y 3 de tierras forestales para para árboles \geq de 10 cm de DAP y ≥ 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Carbono subterránea (ton C/ha)	Intervalo de confianza	Error de muestreo (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
Tierras Forestales	Bosque: 15.1 ton C/ha IC: 13.7 - 16.5 Error : 9.4 %	Bosque latifoliado	17.1	15.4 - 18.8	10
		Bosque de coníferas		4.6 - 20.4	63.4
		Bosque mixto	11.5	9.1 - 13.9	20.8
		Bosque seco	2.8	1.7 - 3.9	39
	Plantaciones forestales		5.9	3.9 - 7.8	33

Nota. La tabla muestra la estimación de carbono subterránea (ton/ha) por tipos de bosque y plantaciones forestales. Fuente: elaboración propia según datos del segundo IFN.

8.5.3 Estimación de carbono (ton C/ha) en madera muerta

La estimación de carbono en madera muerta se refiere al carbono en toda la biomasa leñosa no viva no contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida en el suelo o en el suelo, se presenta en toneladas por ha. (FAO, 2023)

En el segundo IFN de Guatemala, la madera muerta incluye la madera muerta caída, los tocones y los árboles muertos.

La estimación de carbono en materia muerta se realizó con las siguientes formulas:

Carbono en materia muerta (Cmm) en ton/ha

$$C_{mm} = \frac{(V * \rho * \%C)}{10000}$$

Desglose de la Fórmula:

Cmm = carbono en materia muerta

V = volumen de madera muerta por hectárea.

ρ = densidad de la madera

%C = porcentaje de carbono

Carbono en tocones (Ct) en ton/ha

$$Ct = B_{toc} * \%C / 100$$

Desglose de la Fórmula:

Ct = carbono en los tocones

Btoc = biomasa de tocones por hectárea,

%C = porcentaje de carbono.

En la Tabla 41 se presenta el contenido promedio de carbono en madera muerta, en tierras forestales es de 4.6 ton C/ha, con un intervalo de confianza de 3.5 a 5.8 ton C/ha y un error de muestreo del 25.2%, lo que refleja una alta variabilidad natural asociada a este reservorio. Esta variabilidad puede deberse a factores como el estado de descomposición, la dinámica de caída de árboles, y las prácticas de manejo. En contraste, los otros usos de la tierra presentan un contenido considerablemente menor, con 0.9 ton C/ha, un intervalo de confianza entre 0.6 y 1.2 ton C/ha y un error de muestreo del 36.6%, lo que indica una baja y heterogénea presencia de madera muerta en estas categorías. Esta diferencia favorece a los ecosistemas forestales en el almacenamiento de carbono incluso en componentes no vivos del sistema arbóreo.

Tabla 41.
Estimación de carbono en madera muerta por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.

Categoría general	Carbono madera muerta Ton/ha	Intervalos de confianza	% Error de muestreo
Tierras forestales	4.6	3.5 - 5.8	25.2%
Otros usos de la tierra	0.9	0.6 - 1.2	36.6%

Nota. La tabla muestra la estimación de carbono fijado en madera muerta que incluye la madera muerta caída de diámetros mayores o iguales a 5 cm, tocones y árboles muertos en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia con base al segundo IFN.

8.5.4 Estimación de carbono (ton C/ha) en hojarasca.

La estimación de carbono en hojarasca se presenta en toneladas por ha y se refiere al carbono en la biomasa no viva con un diámetro inferior al diámetro mínimo elegido por el país para medir la madera muerta, en este caso, menor de 5 cm de diámetro, en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico (FAO, 2023).

La muestra de hojarasca fue recolectada utilizando un marco de 50 cm x 50 cm sobre el suelo. Se midió la profundidad del mantillo y la capa de fermentación, se evaluó el estado de descomposición de la hojarasca que incluye la MMC de 0 a 5 cm. se tomó el peso húmedo de la muestra y fue trasladado al laboratorio para determinar el peso seco.

La estimación carbono en hojarasca se realizó con la siguiente formula:

$$\mathbf{Ch = Bh * \%C/100}$$

Desglose de la Fórmula:

Ch = carbono en hojarasca

Bh = biomasa en hojarasca por hectárea,

%C = porcentaje de carbono.

El carbono contenido en la hojarasca representa una fracción importante del carbono total almacenado en los ecosistemas forestales, especialmente en el estrato superficial del suelo. En la categoría de tierras forestales que se presenta en la Tabla 42, se estima un promedio de 7.4 ton C/ha, con un intervalo de confianza entre 6.2 y 8.5 ton C/ha y un error de muestreo del 15.9%, lo que indica una estimación precisa y representa el aporte constante de material orgánico proveniente de la caída de hojas y ramas.

En contraste, en la categoría de otros usos de la tierra, el contenido de carbono en hojarasca es considerablemente menor, con un promedio de 3.3 ton C/ha, un intervalo de confianza entre 2.7 y 4 ton C/ha, y un error de muestreo del 19.3%.

Tabla 42.

Estimación de carbono en hojarasca por categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra.

Categoría general	Carbono hojarasca (ton C/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	7.4	6.2 - 8.5	15.9%
Otros usos de la tierra	3.3	2.7 - 4	19.3%

Nota. La tabla muestra la estimación de carbono en hojarasca (ton C/ha) en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia en función al segundo IFN.

8.5.5 Estimación de carbono (ton C/ha) en suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.

El carbono en el suelo, también conocido como el carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano (Léfevre et al., 2017).

En el marco del segundo IFN, la estimación del carbono fijado en el suelo se realizó a partir de muestras de suelo recolectadas en campo en las Unidades de Muestreo. Dichas muestras fueron enviadas a laboratorio, donde se analizaron utilizando un Cromatógrafo de Gases con Acoplador de Carbono y Nitrógeno. Esta técnica analítica, ampliamente utilizada, permite separar y cuantificar compuestos volátiles y semivolátiles presentes en la muestra, obteniéndose así el porcentaje de carbono en el suelo.

Con esta información, se calcularon las toneladas de carbono por hectárea en el estrato de 0 a 30 centímetros de profundidad, aplicando la fórmula:

Carbono (ton C/ha) en el suelo= %C * DAp* prof

Donde:

%C = porcentaje de carbono determinado en laboratorio.

DAp = densidad aparente del suelo en ton/m³

Prof = profundidad del suelo en metros

Los resultados se presentan a nivel general, expresados en ton C/ha, diferenciando entre tierras forestales y otros usos de la tierra, lo que permite contar con una visión comparativa de la capacidad de almacenamiento en ambos tipos de cobertura. La información se obtuvo a partir de 343 UM distribuidas en diferentes regiones del país, lo que constituye una base para aproximarse al estado de este reservorio de carbono. No obstante, los valores reflejan un panorama general, ya que la dinámica del carbono en el suelo depende de múltiples factores como el tipo de suelo, la cobertura, el manejo y las condiciones climáticas locales.

En cuanto a los resultados que se presentan en la Tabla 44, en las tierras forestales se estimó un promedio de 118.5 ton C/ha, con un intervalo de confianza entre 101 y 136.1 ton C/ha y un error de muestreo del 14.8%. En contraste, en la categoría de árboles en otros usos de la tierra el carbono en el suelo alcanzó un valor ligeramente mayor, con 138.5 ton C/ha, un intervalo de confianza entre 117.6 y 159.5 ton C/ha y un error de muestreo del 15.1%. Estos datos muestran que, independientemente de la cobertura, el suelo representa un reservorio clave de carbono, con implicaciones importantes para la gestión y conservación de los ecosistemas.

Tabla 43.
Estimación de carbono (ton C/ha) en suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.

Categoría general	Carbono de suelo (ton C/ha)	Intervalos de confianza	Error de muestreo (%)
Tierras forestales	118.5	101 - 136.1	14.8%
Árboles en otros usos de la tierra	138.5	117.6 - 159.5	15.1%

Nota. Estimación de carbono en suelo (ton C/ha) en tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia con base a la información del segundo IFN.

A continuación, se presenta una estimación general del carbono almacenado en el primer estrato del suelo, comprendido entre 0 y 30 cm de profundidad: Las tierras forestales almacenan 118.5 toneladas de carbono por hectárea, lo que equivale a un total aproximado de 490.6 millones de toneladas de carbono distribuidas en 4.14 millones de hectáreas. Por su parte, en la categoría de otros usos de la tierra, el contenido promedio es de 138.5 ton C/ha, que representan alrededor de 934.7 millones de toneladas de carbono en 6.75 millones de hectáreas. En conjunto, se estima que el suelo del país contiene aproximadamente 1,425 millones de toneladas de carbono, reflejando la gran relevancia de este reservorio para la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad de los ecosistemas.

8.5.6 Resumen de la estimación total de carbono fijado (ton C/ha)

Los resultados presentados en la Tabla 43 muestran que la mayor parte del carbono fijado se encuentra almacenado en las tierras forestales, con un aporte estimado de 300.5 millones de toneladas, lo que representa el 72% del carbono total. En estos reservorios, el carbono aéreo constituye el principal reservorio, con 190.4 millones de toneladas (46 ton C/ha), reflejando la alta densidad y cobertura arbórea de los ecosistemas forestales. El carbono subterráneo, vinculado al sistema radicular de los árboles, alcanza 60.4 millones de toneladas (14.6 ton C/ha), consolidando su rol en el almacenamiento a largo plazo.

Otros componentes relevantes en tierras forestales incluyen el carbono en hojarasca, con 30.6 millones de toneladas (7.4 ton C/ha), y la madera muerta, que aporta 19 millones de toneladas (4.6 ton C/ha), ambos derivados del ciclo natural de descomposición del material orgánico y que contribuyen significativamente al balance de carbono.

En cuanto a los otros usos de la tierra, el carbono total estimado asciende a 114.7 millones de toneladas, distribuidos principalmente en carbono aéreo (69.5 millones de toneladas a razón de 10.3 ton C/ha) y carbono subterráneo (16.8 millones de toneladas con 2.5 ton C/ha). A pesar de su menor aporte en comparación con las tierras forestales, estos paisajes aún retienen cantidades importantes de carbono, especialmente en áreas con presencia de árboles dispersos o sistemas agroforestales. El carbono en hojarasca (22.2 millones de toneladas) y en madera muerta (6 millones de toneladas) también aportan, aunque en proporción significativamente menor.

Tabla 44.

Contenido total de carbono aéreo, subterráneo, madera muerta y hojarasca (ton C/ha)

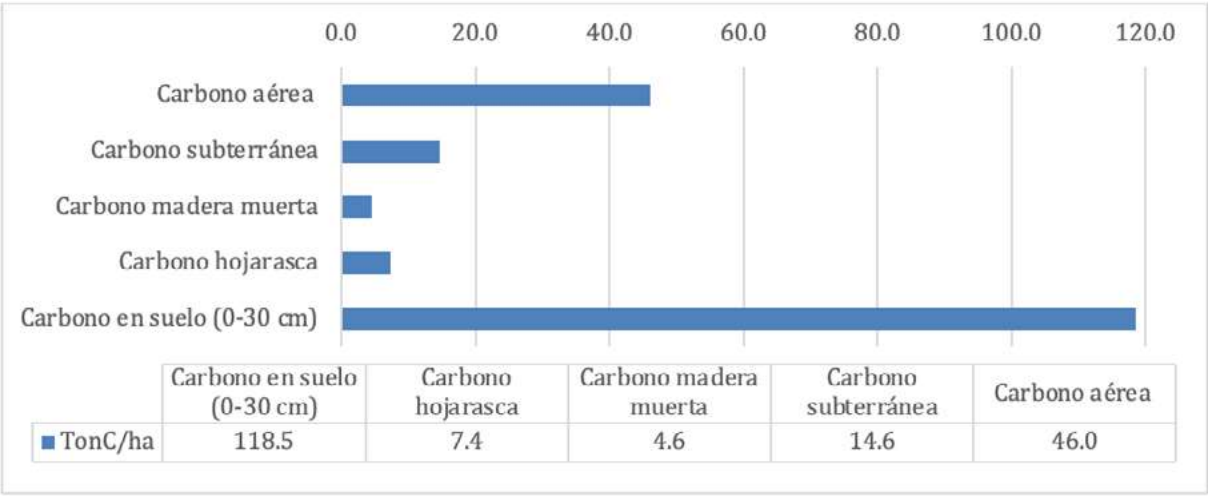
Categorías de cobertura y uso de la tierra	Superficie en hectáreas	Reservorio de carbono	ton C/ha	Toneladas de carbono
Tierras forestales	4,139,855.00	Carbono aéreo	46.0	190,433,330
		Carbono subterráneo	14.6	60,441,883
		madera muerta	4.6	19,043,333
		hojarasca	7.4	30,634,927
Sub total de carbono en tierras forestales				300,553,473
Otros usos de la tierra	6,749,045.00	Carbono aéreo	10.3	69,515,164
		Carbono subterráneo	2.5	16,872,613
		madera muerta	0.9	6,074,141
		hojarasca	3.3	22,271,849
Sub total de carbono en otros usos de la tierra				114,733,765
Total				415,287,238

Nota. La tabla muestra el resumen de las estimaciones de carbono (ton C/ha) por reservorio en tierras forestales y otros usos de la tierra. Fuente: elaboración propia con base a la información del segundo IFN.

En conjunto, el total de carbono almacenado en los distintos reservorios, incluyendo el suelo asciende a aproximadamente 1,840 millones de toneladas, información importante para el monitoreo de reservas de carbono a nivel nacional, el diseño de estrategias de mitigación ante el cambio climático y la evaluación del papel de los diferentes usos del suelo en la captura y almacenamiento de carbono.

La figura No.10 muestra el contenido de carbono por reservorio, específicamente en las tierras forestales que incluye los 5 tipos de bosque y plantaciones forestales, incluyendo el suelo.

Figura 10.
Contenido de carbono por reservorio en tierras forestales



Nota. La figura muestra el contenido de carbono por reservorio en tierras forestales. Fuente: elaboración propia, con base a los datos del segundo IFN.

Los datos sobre las existencias en formación, la biomasa y el carbono están mejorando a medida que más países realizan inventarios forestales nacionales como parte de sus sistemas nacionales de monitoreo forestal. Sin embargo, en muchos casos los datos históricos son deficientes, lo que afecta a la fiabilidad de los análisis de las tendencias. La mayoría de los países solo tienen una estimación de las existencias en formación por unidad de superficie; en estos casos, las estimaciones de los cambios en las existencias en formación se extrapolan principalmente a partir de las variaciones en la superficie de bosque. Lo mismo se aplica también a la biomasa y el carbono. Las estimaciones del carbono en la madera muerta, la hojarasca y el suelo son especialmente deficientes, y muchos países no informan sobre estos reservorios de carbono. (FAO, 2021)

8.6 Productos y servicios vinculados a los bosques y árboles en otros usos de la tierra

Otro de los componentes importantes del segundo IFN es la recopilación de información sobre los productos y servicios que proveen los bosques, ya que estos constituyen la base para valorar su aporte a las comunidades locales y a la economía nacional. Conocer estos usos permite no solo dimensionar la importancia social y económica de los recursos forestales, sino también orientar estrategias de manejo sostenible y políticas públicas que promuevan su conservación y aprovechamiento responsable.

Es importante señalar que los datos recopilados en este apartado provienen en su mayor parte de entrevistas a los propietarios o encargados de los terrenos en donde se ubicaron las distintas UM. Por ello, los resultados deben entenderse como una aproximación general a los usos y servicios de los bosques en las distintas regiones del país, principalmente de carácter cualitativo, más que como cifras exactas o exhaustivas.

8.6.1 Uso, prioridad, extracción y destino de los productos del bosque

El análisis del uso, prioridad, extracción y destino de los productos del bosque permitió obtener una visión general sobre la importancia y el aprovechamiento de los recursos forestales en cada uno de los estratos del segundo IFN, reflejando la percepción y conocimiento de quienes interactúan cotidianamente con los bosques.

Los productos y servicios del bosque se clasifican según el orden de prioridad, destino, frecuencia de extracción y tipo de extractor, así como por cada estrato o región del país (norte, centro y sur), según las respuestas de las personas entrevistadas.

La Tabla 45 presenta los resultados para el estrato norte del país. El 31.9% de los entrevistados indicó que el producto de más alta prioridad es la madera, el 33.3% indicó que su destino es comercial. Respecto a la frecuencia de extracción el 20% manifestó que esta es semestral y el 12.7% indicó que es anual. En relación con el tipo de extractor los resultados reflejan que el 18.7% de las personas entrevistadas consideran que son las organizaciones o compañías locales quienes principalmente extraen la madera y un 10% considera a las organizaciones o compañías fuera del área. Con esto se evidencia el trabajo comunitario de las concesiones forestales del norte del país, ubicadas en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de Biosfera Maya, así como el de empresas privadas ubicadas tanto en áreas protegidas como fuera de ellas. Además, aunque en menor medida, se indicó la participación de hombres mujeres y niños en la recolección de los productos del bosque, siendo los hombres locales los más vinculados a esta actividad.

Tabla 45.

Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y árboles fuera del bosque en el estrato norte del País

Variable	Categorías	01) Madera	02) Leña	03) Postes	04) Carbón	05) Frutal	06) Medicinal	07) Forraje	08) Resina y/o caucho	09) Construcción rural	10) Otro
Prioridad	01) Prioridad 1 (más alta)	31.9	4.8	0.5	0	0	0	0.3	0	1.6	3.2
	02) Prioridad 2	3.5	1.1	1.1	0	1.3	0	0.3	0.8	0.3	10.1
	03) Prioridad 3	2.1	0.8	0.3	0	1.9	0	0	5.9	0	6.1
	04) Prioridad 4	0.5	1.1	0.5	0	0	0	0	2.7	1.1	4.3
	05) Prioridad 5 (más baja)	1.6	0.5	1.1	0	0.5	0.8	0.3	2.9	0	4.5
Destino	00) No aplica	8.3	0.5	1.2	0	1.2	0.7	0.2	6.6	0	10
	01) No sabe	0.5	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0.2
	02) Doméstico	4.1	5.8	0.7	0	0.2	0	0.2	0.5	2.2	3.9
	03) Comercial	33.3	0.5	1.2	0	1.9	0	0.2	4.1	0.5	10.2
Frecuencia de extracción	00) No aplica	8.8	0.5	1.2	0	1.2	0.7	0	6.6	0	9.7
	01) No sabe	3.2	1.9	0	0	0	0	0	0.5	0	0.7
	02) Diario	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	03) Semanal	0	0.2	0	0	0	0	0	0.7	0	0
	04) Quincenal	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Mensual	0.5	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0	1.2
	06) Semestral	20	2.2	1	0	1.2	0	0	2.7	1.7	2.9
	07) Anual	12.7	1	0.7	0	1	0	0.7	0.5	1	8.3
	08) Todo el año	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5
Tipo de extractor	00) No aplica	7.8	0.5	1.2	0	1.2	0.7	0.2	6.6	0	9.7
	01) No sabe	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	1.5
	02) Hombre local	7.3	6.3	1.9	0	1.2	0	0.5	1.5	2.7	7.1
	03) Mujer local	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
	04) Niño local	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Organización o compañía local	18.7	0	0	0	1	0	0	3.2	0	5.6
	06) Persona fuera del Área	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	07) Organización o compañía fuera del área	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08) Organización o compañía internacional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Porcentaje de respuestas de los entrevistados por UM en tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra, en el estrato norte del País. Fuente: elaboración propia con base a la información del segundo IFN

La Tabla 46 presenta los resultados para el estrato centro del país. Es posible observar la importancia que tiene la leña en los departamentos que componen esta región, que se extiende desde el departamento de Huehuetenango hasta Izabal. El 24.4% de las personas entrevistadas indicaron que la leña es el producto de con la prioridad más alta, cuyo destino es en un 36.7% para uso doméstico, mientras que el 13.1% se emplea con fines comerciales. Además, considerando que un 19.1% de las personas manifestó no saber la frecuencia de extracción de la leña, un 16.9% manifestó que se extrae anualmente, un 10.1% respondió que la extracción es mensual y un 6.9% que es semestral. Respecto al tipo de extractor, los entrevistados manifestaron en un 41.4% que el hombre local es el principal responsable de la extracción de leña en la región, un 10.15 indicó su participación en la extracción de otros productos del bosque y un 7.9% en la extracción de madera. Un 3.7% indicó que las mujeres participan en la extracción de leña, siendo relevante también quienes indicaron su participación en la colecta de frutos y otros productos del bosque, aunque con menos participación que los hombres locales. A diferencia del estrato norte, no se indicó la participación significativa en la extracción de productos por parte de organizaciones o compañías locales.

Tabla 46.
Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y arboles fuera del bosque en el estrato centro del País

Variable	Categorías	01) Madera	02) Leña	03) Postes	04) Carbón	05) Frutal	06) Medicinal	07) Forraje	08) Resina y/o caucho	09) Construcción rural	10) Otro
Prioridad	01) Prioridad 1 (más alta)	4	24.4	0.4	0.6	1.5	0	0	1.1	0.2	3.2
	02) Prioridad 2	2.9	11.8	1.7	0	1.9	0	0.2	0.2	0	5.3
	03) Prioridad 3	2.5	13.2	0	0	0.4	0.4	0	0.6	0	2.1
	04) Prioridad 4	1.1	4.8	0	0	1	0.6	0	0	0	1.7
	05) Prioridad 5 (más baja)	1	7.1	0	0	1.1	0	0	0.6	0	2.5
Destino	00) No aplica	0.6	1.7	0	0	0.4	0.2	0	0	0	2.8
	01) No sabe	2.1	9.6	0	0	0.4	0.2	0	0	0	0.6
	02) Doméstico	6.2	36.7	2.1	0.4	2.1	0.7	0.6	0.4	0.2	3.9
	03) Comercial	2.4	13.1	0.2	0.2	3.2	0	0	2.1	0	7.3
Frecuencia de extracción	00) No aplica	0.4	1.5	0	0	0.2	0.4	0	0	0	2.8
	01) No sabe	3	19.1	0.4	0.6	0	0	0.2	0	0.2	1.5
	02) Diario	0	1.1	0	0	0	0	0.4	0	0	0.2
	03) Semanal	0	4.9	0.2	0	0	0	0	1.1	0	0.2
	04) Quincenal	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Mensual	0.7	10.1	0	0	0.4	0.6	0	0	0	0.9
	06) Semestral	1.3	6.9	0	0	0.6	0.2	0	0	0	2.6
	07) Anual	4.9	16.9	1.3	0	4.9	0	0	1.3	0	6.4
	08) Todo el año	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	0.6	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0

Tipo de extractor	00) No aplica	0.7	0.7	0	0.4	0.2	0.2	0	0	0	2.8
	01) No sabe	1.7	11.4	0	0	0.2	0.2	0	0.2	0	0.6
	02) Hombre local	7.9	41.4	2.2	0.2	4.3	0.7	0.6	1.5	0	10.1
	03) Mujer local	0.2	3.7	0	0	1.3	0	0	0	0	0.7
	04) Niño local	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Organización o compañía local	0.4	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0	0
	06) Persona fuera del Área	0.2	2.6	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.4
	07) Organización o compañía fuera del área	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	08) Organización o compañía internacional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Porcentaje de respuestas de los entrevistados por UM en tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra, en el estrato centro del País. Fuente: elaboración propia, con base a la información del segundo IFN.

En la Tabla 47 se presentan los resultados para el estrato sur del país. Es evidente que en este estrato los entrevistados respondieron que los productos prioritarios son la leña y la resina y caucho, concordando con que en este estrato predominan las plantaciones de caucho. El 15.8% de los entrevistados respondieron que la leña, así como la resina y caucho son los productos de más alta prioridad. Con respecto a la leña también un 18.8% respondió que tiene la prioridad más baja, esto se puede explicar por la variabilidad de hábitos de consumo que se presentan a lo largo de todo el estrato sur.

Con respecto al destino de la leña el 24.8% indicó que el mismo es predominantemente comercial y el 17.8% indicó que el mismo es doméstico, para la resina y caucho el 18.8% respondió que su destino es exclusivamente comercial. En relación con la frecuencia de extracción, la leña un 12% no indicó una frecuencia regular, mientras que un 10% indicó que la misma se extrae anualmente, para la resina y caucho el 17% indicó que esta se extrae a diario. En referencia al tipo principal de extractor de productos del bosque los entrevistados indicaron en más del 80% que es el hombre local, el 35.6% se refirió a la leña y el 18.8% a resina y caucho. Además, para este estrato es relevante notar la importancia de la fruta cosechada de árboles, que tiene usos diversos, no limitados únicamente al ámbito forestal.

Tabla 47.

Prioridad, destino, frecuencia y tipo de extractor en porcentaje de los productos de los bosques y árboles fuera del bosque en el estrato sur del País

Variable	Categorías	01) Madera	02) Leña	03) Postes	04) Carbón	05) Frutal	06) Medicinal	07) Forraje	08) Resina y caucho	09) Construcción rural	10) Otro
Prioridad	01) Prioridad 1 (más alta)	4	15.8	3	0	5	0	0	15.8	0	5.9
	02) Prioridad 2	0	7.9	0	0	5.9	0	0	3	0	1
	03) Prioridad 3	0	1	0	0	5.9	0	0	0	0	0
	04) Prioridad 4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	05) Prioridad 5 (más baja)	4	18.8	0	0	2	0	0	0	0	0
Destino	00) No aplica	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01) No sabe	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	02) Doméstico	1	17.8	0	0	5.9	0	0	0	0	0
	03) Comercial	3	24.8	3	0	12.9	0	0	18.8	0	6.9
Frecuencia de extracción	00) No aplica	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	01) No sabe	3	9	3	0	3	0	0	0	0	3
	02) Diario	0	2	0	0	0	0	0	17	0	1
	03) Semanal	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0
	04) Quincenal	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Mensual	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0
	06) Semestral	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	07) Anual	0	10	0	0	13	0	0	0	0	3
	08) Todo el año	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Tipo de extractor	00) No aplica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01) No sabe	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0
	02) Hombre local	4	35.6	3	0	17.8	0	0	18.8	0	6.9
	03) Mujer local	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	04) Niño local	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	05) Organización o compañía local	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
	06) Persona fuera del Área	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	07) Organización o compañía fuera del área	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08) Organización o compañía internacional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09) Otro	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Porcentaje de respuestas de los entrevistados por UM en tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra, en el estrato sur del País. Fuente: elaboración propia con base a la información del segundo IFN.

8.6.2 Abundancia de especies forestales por uso principal

La estimación de la abundancia de especies forestales por uso principal se realizó a partir de la información recolectada en campo para cada árbol con un DAP mayor a 10 cm, en donde se registró el uso principal asignado a la especie, con base a los registros institucionales del INAB y el CONAP así como al conocimiento de su personal técnico. Este procedimiento permitió clasificar los árboles de acuerdo con los usos más comunes como madera, leña, postes, carbón, resinas/gomas, entre otros. Es importante resaltar que los resultados reflejan únicamente los usos reportados en el marco del levantamiento del segundo IFN y que corresponden a los árboles efectivamente medidos en las parcelas, por lo que deben considerarse como una aproximación cualitativa respecto al potencial de uso de los recursos forestales del país y no como un inventario exhaustivo de todas las especies del país.

Esta información permite identificar no solo la diversidad de especies utilizadas, sino también la manera en que los recursos forestales en los distintos tipos de uso de la tierra proveen productos a las comunidades rurales, el mercado forestal local y nacional, entre otros sistemas productivos.

La Tabla 48 presenta la diversidad de especies forestales según su uso principal. Es importante considerar que una misma especie puede estar registrada bajo diferentes categorías de uso principal, por lo que el número total de especies no representa una suma única, sino que incluye posibles repeticiones derivadas de los diversos usos que puede tener una sola especie.

Dentro de las tierras forestales, el bosque latifoliado es el que concentra la mayor diversidad de especies por uso, destacando 315 especies utilizadas como leña, 162 para madera y 50 para postes; además, especies utilizadas para el uso principal de resinas/gomas, como *Castilla elastica*. También se reportan otros usos menores, como carbón y forraje, aunque en proporciones más reducidas. En comparación, los bosques de coníferas muestran una diversidad mucho más baja con solo 8 especies para leña y 11 para madera, sin registros para otros usos. El bosque mixto y el bosque seco reflejan un patrón intermedio, con un número moderado de especies, particularmente para leña, madera y postes. En el caso de plantaciones forestales, se identifican 33 especies con uso principal en madera y 27 como fuente de leña, lo que indica su orientación hacia la producción maderera.

Con respecto a los árboles fuera del bosque en sistemas productivos como café, pastos, granos básicos o sistemas silvopastoriles, se registró una diversidad importante de especies y usos. Por ejemplo, los sistemas en pastos reportan 43 especies para leña, 23 para madera y 14 para postes, lo que evidencia su función relevante en el abastecimiento de productos forestales en paisajes agropecuarios.

Estos resultados evidencian que no solo los bosques contribuyen a la disponibilidad de especies forestales con uso comercial o doméstico, sino también las áreas agrícolas y ganaderas con árboles dispersos, en las cuales los lineamientos de manejo deben considerar más allá del uso y aprovechamiento, la conservación y restauración de las especies, al ser en su mayoría remanentes de bosque.

Tabla 48.
Cantidad de especies arbóreas por uso principal

Categoría general	Categorías de uso de la tierra	Número de especies forestales registrado por usos principales							
		madera	leña	postes	carbón	forraje	resinas/gomas	frutales	medicinal
Tierras forestales	Bosque latifoliado	162	315	50	12	6	6	34	13
	Bosque Coníferas	11	8	0	0	0	0	0	0
	Bosque Mixto	21	60	9	5	0	1	1	0
	Bosque seco	5	44	6	0	2	1	2	4
	Plantaciones forestales	33	27	3	0	0	1	2	1
Árboles fuera de bosque	Granos básicos	16	39	9	1	0	1	4	1
	Hule	2	3	0	0	0	2	0	0
	Café	17	32	5	1	0	0	12	2
	Otros cultivos perennes	7	17	1	0	0	0	3	1
	Sistemas agroforestales	10	38	4	1	0	0	7	2
	Pastos	23	43	14	0	4	1	3	4
	Sistema silvopastoril	19	24	11	0	1	0	4	2
	Árboles dispersos	18	44	8	0	1	0	0	0
	Vegetación arbustiva o natural	14	30	4	0	1	1	0	0
	Matorral o guamil	17	39	8	0	0	0	3	1

Nota. Cantidad de especies forestales por uso principal para las categorías de tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra, según el segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.6.3 Principales especies de árboles según su uso

En complemento del apartado anterior, en el que se presenta la cantidad de especies según su uso, este apartado muestra la información sobre las principales especies arbóreas de acuerdo con su Índice de Valor de Importancia (IVI), considerando usos como madera, leña, postes, carbón, frutales, entre otros.

Un aspecto para considerar es que la identificación de especies representó un reto importante; debido a la falta del acompañamiento permanente de un taxónomo durante todo el levantamiento. Esto pudo ocasionar que algunas especies conocidas localmente no fueran registradas o que ciertas identificaciones quedaran limitadas al nivel de género. En este sentido, los resultados deben interpretarse como una aproximación general al uso de las especies arbóreas, reconociendo que existe un margen de mejora en los procesos de identificación taxonómica en futuros inventarios forestales nacionales.

Conocer las especies de los árboles y sus principales usos es fundamental para diversos aspectos de la gestión forestal sostenible, la valoración de su aporte a la economía local y a los medios de vida, así como para orientar criterios de restauración. Esto implica considerar, más allá de su valor ecológico, el valor de uso que representan para las comunidades. Cada tipo de uso de los árboles conlleva un conjunto específico de beneficios y contribuciones tanto para las comunidades como para los ecosistemas de los que forman parte. A continuación, se detalla la distribución de especies arbóreas según su uso y la importancia de cada uno:

Madera: La madera es un recurso vital para la industria de la construcción, muebles, papel, y otros derivados. Los productos de madera han sido históricamente los principales bienes derivados de los bosques, siendo la primera fuente de ingresos y empleo del sector forestal. Al gestionarse sosteniblemente los bosques, la madera, contribuye al desarrollo rural (FAO, 2022).

Las especies arbóreas más abundantes con uso para madera se detallan en la tabla No. 46. Es relevante observar que, entre las diez más comunes en los ecosistemas boscosos del país, se encuentran coníferas como *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* y *Cupressus lusitanica*. En el caso de las especies latifoliadas, resulta particularmente importante que *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* figuren entre las diez principales especies maderables, ambas de alta relevancia en el comercio internacional y listadas en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Tabla 49.
Principales especies arbóreas para uso de madera

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m ²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pinus oocarpa</i>	29	323	131.6	5.9	12.5	12.4	30.8
2	<i>Pinus maximinoi</i>	16	119	45.7	3.2	4.6	4.3	12.2
3	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	26	90	23.9	5.3	3.5	2.3	11
4	<i>Terminalia buceras</i>	13	72	39.2	2.6	2.8	3.7	9.1
5	<i>Pinus montezumae</i>	12	85	35.9	2.4	3.3	3.4	9.1
6	<i>Cupressus lusitanica</i>	6	84	46.1	1.2	3.2	4.4	8.8
7	<i>Swietenia macrophylla</i>	21	50	27.8	4.3	1.9	2.6	8.8
8	<i>Metopium brownei</i>	24	56	12.5	4.9	2.2	1.2	8.2
9	<i>Pinus tecunumanii</i>	6	73	31.3	1.2	2.8	3	7
10	<i>Cedrela odorata</i>	17	37	21.3	3.4	1.4	2	6.9
	Resto de especies	628	1600	641.9	127.1	61.8	60.7	249.6

Nota. Principales especies arbóreas para uso de madera, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Leña: En el marco del segundo IFN, se registraron 413 especies de árboles cuyo uso principal es leña, lo que refleja la dependencia energética de la leña en las comunidades rurales del país, así como la diversidad de recursos que proveen los ecosistemas boscosos. Los resultados que se presentan a continuación corresponden a bosques y a árboles en otros usos de la tierra, quedando excluidas las plantaciones forestales y las plantaciones de hule, considerando que este producto se obtiene principalmente en estas categorías de uso.

Para fines de interpretación, se presentan de manera diferenciada los resultados de especies latifoliadas y especies coníferas. En el caso de las latifoliadas, se muestran las 10 especies más abundantes según su IVI, mientras que para las coníferas se incluyen las 7 especies registradas en el inventario.

Los resultados muestran que, entre las latifoliadas, especies como *Quercus peduncularis* (17.9% IVI), *Pouteria reticulata* (15.8% IVI), *Quercus sp.* (15.1% IVI) e *Inga vera* (14.7% IVI) concentran la mayor representatividad en los bosques y árboles en otros usos, lo que resalta su papel fundamental en el suministro de leña.

Por su parte, dentro de las coníferas, las especies con mayor importancia relativa son *Pinus hartwegii* (74.3% IVI), *Pinus oocarpa* (66.8% IVI) y *Pinus sp.* (34.1% IVI), seguidas por *Cupressus lusitanica*, *Pinus montezumae*, *Pinus tecunumanii* y *Pinus ayacahuite*.

En conjunto, estos resultados permiten contar con un panorama general de las especies más relevantes registradas para uso de leña en el país, aportando información importante para la planificación de políticas de manejo sostenible y conservación, así como para valorar el papel que cumplen diferentes tipos de bosque en la provisión de este recurso esencial para las comunidades.

Tabla 50.
Principales especies latifoliadas para uso de leña

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Quercus peduncularis</i>	36	272	75.8	7.6	5.1	5.3	18.0
2	<i>Pouteria reticulata</i>	31	260	63.3	6.5	4.9	4.4	15.8
3	<i>Quercus sp.</i>	29	219	70.2	6.1	4.1	4.9	15.1
4	<i>Inga vera</i>	34	205	53.1	7.2	3.8	3.7	14.7
5	<i>Cecropia peltata</i>	42	107	30.3	8.9	2.0	2.1	13.0
6	<i>Vitex gaumeri</i>	31	102	44.8	6.5	1.9	3.1	11.6
7	<i>Gliricidia sepium</i>	26	110	25.5	5.5	2.1	1.8	9.3
8	<i>Guazuma ulmifolia</i>	28	75	17.3	5.9	1.4	1.2	8.5
9	<i>Alnus acuminata</i>	14	142	34.2	3.0	2.7	2.4	8.0
10	<i>Bursera simaruba</i>	23	59	12.7	4.9	1.1	0.9	6.8

Nota. Principales especies arbóreas de latifoliadas para uso de leña, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Tabla 51.
Principales especies de coníferas para uso de leña

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pinus hartwegii</i>	2	53	8.7	0.4	43.4	30.4	74.3
2	<i>Pinus oocarpa</i>	7	37	10.0	1.5	30.3	35.0	66.8
3	<i>Pinus sp.</i>	4	16	5.8	0.8	13.1	20.2	34.1
4	<i>Cupressus lusitanica</i>	4	8	2.0	0.8	6.6	6.9	14.3
5	<i>Pinus montezumae</i>	3	6	1.9	0.6	4.9	6.8	12.3
6	<i>Pinus tecunumanii</i>	1	1	0.1	0.2	0.8	0.4	1.4
7	<i>Pinus ayacahuite</i>	1	1	0.1	0.2	0.8	0.4	1.4

Nota. Principales especies arbóreas de coníferas para uso de leña, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Postes: Los postes de madera lo utilizan para la construcción de viviendas, cercas y otras infraestructuras rurales. La distribución de especies adecuadas garantiza un suministro constante para estas necesidades. Algunas especies son especialmente seleccionadas por su resistencia a la descomposición y durabilidad, lo que es vital para la longevidad de las estructuras.

En la Tabla 52 se enlistan las especies forestales para uso de postes, entre los que predominan se encuentran: *Haematoxylum campechianum*, *Laguncularia racemosa* y *Bursera simaruba*.

Tabla 52.
Principales especies forestales para uso de postes

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Haematoxylum campechianum</i>	11	108	36.8	2.2	15.3	19.2	36.7
2	<i>Laguncularia racemosa</i>	2	100	15.5	0.4	14.2	8	22.6
3	<i>Bursera simaruba</i>	20	63	16.2	4	8.9	8.4	21.4
4	<i>Rhizophora mangle</i>	2	37	16.1	0.4	5.2	8.4	14
5	<i>Spondias mombin</i>	5	44	10	1	6.2	5.2	12.4
6	<i>Gliricidia sepium</i>	13	37	7.4	2.6	5.2	3.9	11.7
7	<i>Persea sp.</i>	1	18	8.7	0,2	2.5	4.5	7.3
8	<i>Gymnanthes lucida</i>	4	25	4.4	0.8	3.5	2.3	6.7
9	<i>Manilkara zapota</i>	8	9	4.7	1.6	1.3	2.5	5.4
10	<i>Spondias purpurea</i>	5	14	2.6	1	2	1.4	4.4
	Resto de especies	128	251	69.7	26.1	35.7	36.2	97.7

Nota. Principales especies forestales y arbóreas para uso de postes, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Frutales: Los árboles frutales proporcionan alimentos esenciales y pueden ser una fuente de ingresos para las comunidades locales a través de la venta de frutas. La integración de árboles frutales en sistemas agroforestales mejora la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas agrícolas.

En la Tabla 53 se enlistan las especies arbóreas para uso de frutales, las especies predominantes son: *Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota*, *Mangifera indica*, *Persea americana*.

Tabla 53.
Principales especies forestales para uso de frutales

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Brosimum alicastrum</i>	22	146	100.7	4.5	23.7	36.7	64.9
2	<i>Manilkara zapota</i>	24	136	56.2	4.9	22.1	20.5	47.4
3	<i>Mangifera indica</i>	9	30	31.4	1.8	4.9	11.5	18.2
4	<i>Persea americana</i>	15	35	17.2	3	5.7	6.3	15
5	<i>Pseudolmedia spuria</i>	12	45	8.5	2.4	7.3	3.1	12.9
6	<i>Byrsonima crassifolia</i>	13	39	6.8	2.6	6.3	2.5	11.4
7	<i>Pimenta dioica</i>	13	21	7	2.6	3.4	2.6	8.6
8	<i>Spondias mombin</i>	5	23	5.1	1	3.7	1.8	6.6
9	<i>Talisia sp.</i>	5	14	3.1	1	2.3	1.1	4.4
10	<i>Spondias purpurea</i>	4	11	3.9	0.8	1.8	1.4	4
	Resto de especies	70	116	34.2	14.3	18.8	12.5	45.5

Nota. Principales especies forestales y arbóreas para uso de frutales, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Carbón: La producción de carbón vegetal es una industria importante en muchas regiones, proporcionando una fuente de energía más eficiente que la leña. La selección de especies específicas para la producción de carbón puede ayudar a minimizar el impacto ambiental y promover prácticas de reforestación.

En la tabla No. 54 se muestran las especies forestales para uso de carbón, entre las especies que predominan: *Quercus sp.*, *Quercus peduncularis*, *Guazuma ulmifolia* y *Quercus oocarpa*.

Tabla 54.
Principales especies forestales para uso de carbón

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m ²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Quercus sp.</i>	4	36	13.2	0.8	36.7	47.5	85
2	<i>Quercus peduncularis</i>	2	20	6	0.4	20.4	21.7	42.5
3	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	19	2.4	0.2	19.4	8.8	28.4
4	<i>Quercus oocarpa</i>	1	3	1.3	0.2	3.1	4.8	8
5	<i>Trichospermum sp.</i>	1	3	1.3	0.2	3.1	4.5	7.8
6	<i>Quercus benthamii</i>	1	2	0.9	0.2	2	3.1	5.3
7	<i>Cupania guatemalensis</i>	1	2	0.4	0.2	2	1.6	3.8
8	<i>Clethra vicentina</i>	1	2	0.4	0.2	2	1.5	3.8
9	<i>Trichilia americana</i>	1	2	0.4	0.2	2	1.4	3.6
10	<i>Manilkara zapota</i>	2	2	0.3	0.4	2	1	3.4
	<i>Resto de especies</i>	7	7	1.2	1.5	7.3	4.1	12.9

Nota. Principales especies arbóreas para uso de carbón, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Uso Medicinal: Especies forestales y arbóreos tienen propiedades medicinales y son esenciales para la medicina tradicional, contribuyendo a la salud y bienestar de las comunidades rurales. La identificación y conservación de especies medicinales ayuda a preservar el conocimiento tradicional y la biodiversidad.

En la Tabla 55 se muestran las especies forestales para uso medicinal, entre las especies que predominan, se encuentran: *Bursera simaruba*, *Cinchona officinalis*, *Salix alba* y *Cecropia peltata*.

Tabla 55.
Principales especies forestales para uso medicinal

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m ²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Bursera simaruba</i>	26	77	18.3	5.3	53.1	50.9	109.2
2	<i>Cinchona officinalis</i>	4	15	4.1	0.8	10.3	11.5	22.6
3	<i>Salix alba</i>	1	5	4	0.2	3.4	11.2	14.8
4	<i>Cecropia peltata</i>	4	10	1.3	0.8	6.9	3.5	11.2
5	<i>Coccoloba barbadensis</i>	1	5	1.6	0.2	3.4	4.5	8.1
6	<i>Bursera graveolens</i>	2	5	1	0.4	3.4	2.8	6.7
7	<i>Tecoma stans</i>	1	4	1.3	0.2	2.8	3.5	6.4
8	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	4	0.8	0.2	2.8	2.2	5.2
9	<i>Bursera bipinnata</i>	2	2	0.6	0.4	1.4	1.6	3.4
10	<i>Pachira aquatica</i>	1	2	0.5	0.2	1.4	1.4	3
	Resto de especies	13	16	2.4	2.6	11.1	6.9	20.7

Nota. Principales especies arbóreas para uso medicinal, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Forraje: Los árboles que proporcionan forraje son fundamentales para la alimentación del ganado, especialmente en áreas donde las pasturas son escasas. Integrar árboles forrajeros en estos sistemas mejora la productividad del suelo y proporciona sombra y nutrientes para el ganado.

En la tabla No. 56 se muestran las especies forestales para uso de forraje, entre las especies que predominan, se encuentran: *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Ochroma pyramidale*, *Crescentia alata*.

Tabla 56.
Principales especies forestales para uso de forraje

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Gliricidia sepium</i>	4	9	1.5	0.8	25.7	18.7	45.2
2	<i>Guazuma ulmifolia</i>	3	5	1.6	0.6	14.3	19.7	34.6
3	<i>Ochroma pyramidale</i>	1	4	1	0.2	11.4	12.3	23.9
4	<i>Crescentia alata</i>	1	2	1.4	0.2	5.7	17.5	23.4
5	<i>Melicoccus oliviformis</i>	1	3	0.7	0.2	8.6	8.4	17.2
6	<i>Trophis racemosa</i>	2	3	0.5	0.4	8.6	5.7	14.6
7	<i>Brosimum alicastrum</i>	2	2	0.5	0.4	5.7	5.9	12
8	<i>Erythrina berteroana</i>	1	1	0.4	0.2	2.9	4.4	7.4
9	<i>Cassia grandis</i>	1	2	0.1	0.2	5.7	1.3	7.2
10	<i>Leucaena diversifolia</i>	1	1	0.2	0.2	2.9	2.6	5.6
	Resto de especies	3	3	0.1	0.6	8.5	3.5	12.9

Nota. Principales especies arbóreas para uso forrajero, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Resinas y/o caucho: La resina y/o caucho obtenidas de ciertas especies de árboles son materias primas valiosas para diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, cosmética y alimentaria. La explotación sostenible puede agregar valor a los productos forestales y generar ingresos adicionales para las comunidades.

En la Tabla 57 se muestran las especies forestales y arbóreas que predominan: *Hevea brasiliensis* (plantaciones), *Manilkara zapota*, *Protium copal*, *Castilla elástica*.

Tabla 57.

Principales especies forestales para uso de resina y/o caucho.

No.	Nombre científico	Unidad de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en m ²	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Manilkara zapota</i>	28	150	60.2	5.7	35	47.7	88.4
2	<i>Hevea brasiliensis</i>	6	188	47.6	1.2	43.9	37.8	82.9
3	<i>Protium copal</i>	23	56	12.4	4.7	13.1	9.8	27.6
4	<i>Castilla elastica</i>	3	15	2.1	0.6	3.5	1.7	5.8
5	<i>Pinus oocarpa</i>	1	13	3.2	0.2	3	2.5	5.7
6	<i>Bursera bipinnata</i>	2	3	0.1	0.4	0.7	0.1	1.2
7	<i>Pouteria belizensis</i>	1	1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.6
8	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	1	1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.6

Nota. Principales especies forestales y arbóreas para uso de resina y/o caucho, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.6.4 Productos forestales no maderables (PFNM)

De acuerdo con la FAO (2010), los productos forestales no maderables son aquellos de origen biológico, distintos a la madera, derivados de los bosques, otras tierras boscosas y de los árboles fuera del bosque. En otras palabras, se trata de productos asociados al bosque que no provienen directamente de la madera del árbol, como frutos, semillas, fibras, resinas, gomas, plantas medicinales, entre otros.

En el Segundo IFN, los PFNM se evaluaron a partir de la cantidad de plantas encontradas en las parcelas de muestreo, expresada como densidad por hectárea. El conteo se realizó en las parcelas circulares de 15 metros de radio, registrando todas las plantas presentes. A partir de estos datos, la densidad por hectárea se obtuvo extrapolando el número de individuos registrados en cada parcela a la superficie equivalente de una hectárea.

En total, 177 UM presentaron especies de las cuales se obtienen PFNM, lo que permite contar información a nivel de reconocimiento, sobre su distribución y abundancia en el país.

En cuanto a su distribución territorial, los PFNM se encontraron en 12 departamentos del país. Los registros más altos se dieron en Petén (170 plantas: principalmente xate y “otros” PFNM), Huehuetenango (117 plantas, destacando el xate), San Marcos (137 plantas, con predominio de mimbres y xate) y Alta Verapaz (76 plantas, distribuidas entre bayal, mimbres, xate y otros). Otros departamentos con presencia significativa incluyen Quiché, Baja Verapaz, Izabal, El Progreso y Quetzaltenango, mientras que en Santa Rosa, Suchitepéquez y Retalhuleu la presencia fue menor.

Las estimaciones de densidad por tipo de bosque muestran que el bosque latifoliado concentra los valores más altos para la mayoría de los PFNM, con 910 plantas/ha de xate, 473 plantas/ha de otros PFNM, 184 plantas/ha de bayal y 114 plantas/ha de mimbre. En el caso del bosque de coníferas, solo se registró la categoría “otros” con 122 plantas/ha, mientras que el bosque mixto presentó 64 plantas/ha en esta misma categoría. Por su parte, el bosque seco alcanzó 180 plantas/ha en “otros” PFNM.

En la categoría “otros”, se registraron especies comercializadas a nivel local, como el *mashan* (Gen. *Calathea*), la palma de guano (*Sabal morrisiana*), la palma de corozo (*Scheelea sp.*), la palma de chapay (*Astrocaryum mexicanum*), la pimienta (*Pimienta dioca*) y la palma de botán (*Sabal mauritiiformis*).

Tabla 58.
Densidad de producto no maderable (Plantas/ha) según el tipo de bosque

Cobertura y uso de la tierra	Productos no maderables (Plantas/ha)			
	Bayal	Mimbre	Xate	Otros
Bosque latifoliado	184	114	910	473
Bosque de coníferas				122
Bosque mixto				64
Bosque seco				180

Nota. Densidad de productos no maderables (plantas/ha) por tipo de bosque, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.6.5 Especies arbóreas según su función ecológica.

Las funciones ecológicas registradas corresponden a los servicios de provisión de hábitat y recursos que ofrecen las especies arbóreas a la fauna, específicamente como sitios de refugio, anidación, descanso y fuentes de alimentación. La fuente principal de la información fueron las preguntas y encuestas realizadas a los encargados y propietarios de los terrenos; por tal razón, los resultados deben interpretarse como una aproximación que ofrece un panorama general de la función ecológica de las especies arbóreas, correspondientes a un estudio a nivel de reconocimiento. Es importante aclarar que estos resultados se construyeron con base en la totalidad de los árboles registrados, tanto en tierras forestales como en otros usos de la tierra, sumando un total de 10,852 individuos medidos en campo.

Las funciones ecológicas registradas por cada árbol son: de refugio, anidación, descanso y alimentación, las cuales se describen a continuación:

Refugio

En la Tabla 59 se enlistan las especies con función de refugio, entre los predominantes se encuentran: *Pinus oocarpa*, *Hevea brasiliensis*, *Quercus sp.*, *Quercus peduncularis*.

Tabla 59.
Principales especies forestales para refugio

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pinus oocarpa</i>	16	216	73.7	3.2	6.1	7	16.2
2	<i>Hevea brasiliensis</i>	6	223	54	1.2	6.3	5.1	12.6
3	<i>Quercus sp.</i>	16	159	50.6	3.2	4.5	4.8	12.5
4	<i>Quercus peduncularis</i>	22	143	37.7	4.5	4	3.6	12
5	<i>Castilla elastica</i>	4	180	41.3	0.8	5	3.9	9.8
6	<i>Alnus acuminata</i>	11	133	32.5	2.2	3.7	3.1	9
7	<i>Cupressus lusitanica</i>	4	80	45.3	0.8	2.2	4.3	7.3
8	<i>Bursera simaruba</i>	17	71	15.7	3.4	2	1.5	6.9
9	<i>Laguncularia racemosa</i>	2	100	15.5	0.4	2.8	1.5	4.7
10	<i>Cecropia peltata</i>	11	27	12.1	2.2	0.8	1.1	4.1
	Resto de especies	662	2236	681.4	134.2	62.6	64.1	261

Nota. Especies arbóreas clasificadas según su función ecológica como refugio, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Anidación

En la Tabla 60 se enlistan las especies con función para anidación, entre los predominantes se encuentran: *Quercus sp.* *Laguncularia racemosa*, *Quercus peduncularis* y *Pinus hartwegii*.

Tabla 60.
Principales especies forestales para anidación

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Quercus sp.</i>	11	80	21.3	2.2	6	5.5	13.8
2	<i>Laguncularia racemosa</i>	1	99	15.3	0.2	7.5	4	11.7
3	<i>Quercus peduncularis</i>	13	45	12.6	2.6	3.4	3.3	9.3
4	<i>Pinus hartwegii</i>	4	61	13.8	0.8	4.6	3.6	9
5	<i>Bursera simaruba</i>	15	33	10.7	3	2.5	2.8	8.3
6	<i>Gliricidia sepium</i>	12	39	9.2	2.4	2.9	2.4	7.8
7	<i>Cecropia peltata</i>	14	26	5.9	2.8	2	1.5	6.3
8	<i>Spondias mombin</i>	4	33	7.5	0.8	2.5	2	5.3
9	<i>Cedrela odorata</i>	8	18	8.3	1.6	1.4	2.2	5.1
10	<i>Guazuma ulmifolia</i>	8	28	3.7	1.6	2.1	1	4.7
	Resto de especies	362	861	276.1	73.5	65.1	71.7	210.2

Nota: Especies forestales y arbóreas clasificadas según su función ecológica como anidación, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Descanso

En la Tabla 61 se enlistan las especies con función para descanso, entre los predominantes se encuentran: *Pouteria reticulata*, *Bursera simaruba*, *Haematoxylum campechianum*, *Pinus oocarpa* y *Hevea brasiliensis*.

Tabla 61.
Principales especies forestales para descanso

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pouteria reticulata</i>	26	213	51.4	5.3	4.7	3.8	13.8
2	<i>Bursera simaruba</i>	38	115	27.1	7.7	2.6	2	12.3
3	<i>Haematoxylum campechianum</i>	15	133	45.8	3	3	3.4	9.4
4	<i>Pinus oocarpa</i>	13	123	49.8	2.6	2.7	3.7	9.1
5	<i>Hevea brasiliensis</i>	5	182	48	1	4	3.6	8.6
6	<i>Protium copal</i>	28	80	14.3	5.7	1.8	1.1	8.5
7	<i>Quercus peduncularis</i>	21	98	27.3	4.3	2.2	2	8.5
8	<i>Vitex gaumeri</i>	21	70	34.1	4.3	1.6	2.5	8.3
9	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	23	80	21.4	4.7	1.8	1.6	8
10	<i>Terminalia buceras</i>	14	76	42.3	2.8	1.7	3.2	7.7
	Resto de especies	1145	3337	977.1	231.7	73.9	73.1	378.9

Nota. Especies forestales y arbóreas clasificadas según su función ecológica como descanso, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Alimentación

En la Tabla 62 se enlistan las especies con función para alimentación, entre los predominantes se encuentran: *Manilkara zapota*, *Brosimum alicastrum*, *Quercus sp.* y *Persea americana*.

Tabla 62.
Principales especies forestales para alimentación

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Manilkara zapota</i>	44	284	120.2	8.9	15.3	17.5	41.6
2	<i>Brosimum alicastrum</i>	30	191	128.5	6.1	10.3	18.7	35
3	<i>Quercus sp.</i>	11	82	30.3	2.2	4.4	4.4	11
4	<i>Pseudolmedia spuria</i>	19	82	16.4	3.8	4.4	2.4	10.6
5	<i>Persea americana</i>	18	52	26.1	3.6	2.8	3.8	10.2
6	<i>Pouteria reticulata</i>	10	79	22.2	2	4.2	3.2	9.5
7	<i>Spondias mombin</i>	17	61	17.2	3.4	3.3	2.5	9.2
8	<i>Quercus peduncularis</i>	12	68	17.1	2.4	3.7	2.5	8.6
9	<i>Bursera simaruba</i>	17	47	12.1	3.4	2.5	1.8	7.7
10	<i>Mangifera indica</i>	9	26	26.9	1.8	1.4	3.9	7.1
	Resto de especies	195	580	169.5	39.7	31.1	24.6	95.5

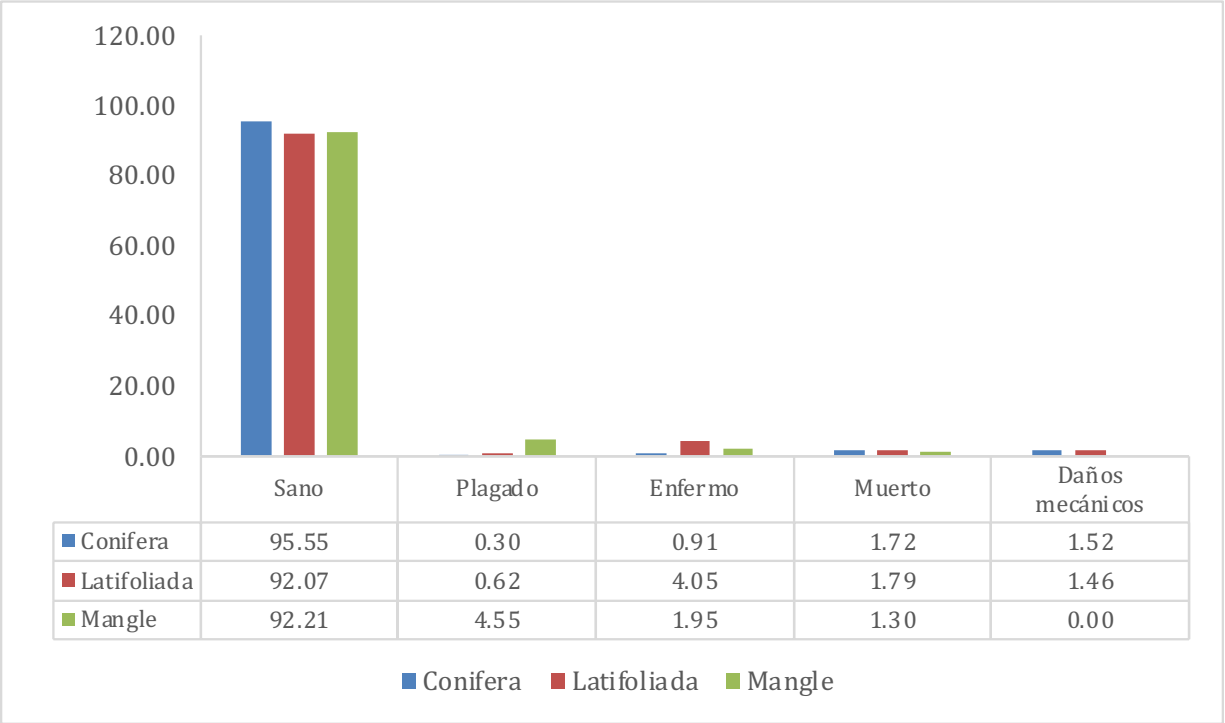
Nota. Especies forestales y arbóreas clasificadas según la función ecológica de alimentación, según el Índice de Valor de Importancia (IVI), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.7 Condición fitosanitaria de las especies arbóreas.

La condición fitosanitaria de los árboles constituye un indicador del estado de salud de los bosques, ya que refleja la incidencia de plagas, enfermedades, daños mecánicos y mortalidad, en contraste con el porcentaje de individuos sanos. En el marco del segundo IFN, la información se recopiló de cada individuo muestreado en las UM, complementada a través de entrevistas directas con los propietarios o encargados de los terrenos. Los datos presentados corresponden a árboles registrados en bosques, lo que equivale a un total de 8,052 individuos evaluados. Esta información debe considerarse referencial, correspondiente a un estudio de reconocimiento.

Los resultados muestran que, las especies de coníferas, la gran mayoría de los árboles se reportan como sanos (95.5%), mientras que los afectados por plagas (0.3%), enfermedades (0.9%), daños mecánicos (1.5%) y mortalidad (1.7%) representan proporciones muy bajas. Con respecto a las especies latifoliadas, el 92.1% de los individuos se encuentran sanos, con mayores incidencias relativas de enfermedades (4.0%), seguidas de mortalidad (1.8%), daños mecánicos (1.5%) y plagas (0.6%). En el caso de las especies de mangle, el 92.2% de los árboles están sanos, mientras que los principales problemas corresponden a plagas (4.5%), enfermedades (1.9%) y mortalidad (1.3%).

Figura 11.
Porcentaje de árboles según condición fitosanitaria.



Nota. La figura muestra el porcentaje de árboles por condición fitosanitaria y tipo (conífera, latifoliada y mangle), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.8 Regeneración natural

La regeneración natural se refiere a la reproducción del bosque mediante los procesos naturales del mismo, los cuales pueden favorecerse mediante técnicas silviculturales (INAB, 2022b).

Para la captura de esta información, se registraron los individuos menores a 10 cm de DAP, observados en una parcela anidada de 3 metros de radio dentro de cada una de las parcelas principales de las unidades de muestreo. Los resultados se clasificaron en dos categorías:

- Latizales: individuos de 5 cm a 9.9 cm de DAP.
- Brinzales: individuos con una altura mayor de 30 cm y hasta 4.9 cm de DAP (INAB y CONAP, 2020a).

Los resultados proporcionan valiosa información sobre la dinámica de la regeneración natural en el país y muestran que está presente en todos los departamentos, evidenciando la capacidad de recuperación de los ecosistemas forestales guatemaltecos. En total, se registraron 182 UM con latizales y 222 UM con brinzales, siendo estos últimos más abundantes, lo que indica la existencia de nuevos individuos al bosque en sus primeras etapas de desarrollo.

En cuanto a ecosistemas específicos, el bosque de mangle presentó 808 latizales y 14,804 brinzales. Sin embargo, este resultado debe interpretarse con reserva, ya que solo se levantaron 3 UM en este tipo de bosque, por lo que no necesariamente es representativo del ecosistema a nivel nacional.

El cálculo de la densidad de latizales y brinzales se realizó extrapolando el número de individuos registrados en la superficie de cada parcela de 3 metros de radio a la densidad por hectárea, lo que permite comparar entre distintas coberturas y regiones. La tabla No. 60 muestra los resultados obtenidos por tipo de bosque

Tabla 63.
Densidad de latizales (individuos de 5 cm a 9.9 cm de DAP) y brinzales (individuos mayores de 30 cm de altura y hasta 4.9 cm de DAP) por tipos de bosque.

Tipos de bosque	Regeneración (Plantas/ha)	
	Latizal	Brinzal
Bosque latifoliado	774	3,182
Bosque de coníferas	166	949
Bosque mixto	574	2,078
Bosque seco	1,146	2,354

Nota. Densidad de regeneración (plantas/ha) por tipo de bosque, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.9 Atributos de los bosques

El análisis de los atributos del bosque, realizado a partir de las UM levantadas en campo durante el segundo IFN, proporciona una visión general sobre las características y dinámica de los ecosistemas forestales del país. Entre los atributos evaluados se incluyen las clases de desarrollo del bosque, el origen de la repoblación y la composición de la estructura vertical, los cuales permiten comprender la condición actual de los bosques, su capacidad de regeneración y la complejidad estructural que presentan. Estos resultados deben interpretarse como una aproximación general y referencial para orientar la gestión y conservación de los recursos forestales en Guatemala.

8.9.1 Clases de desarrollo del bosque

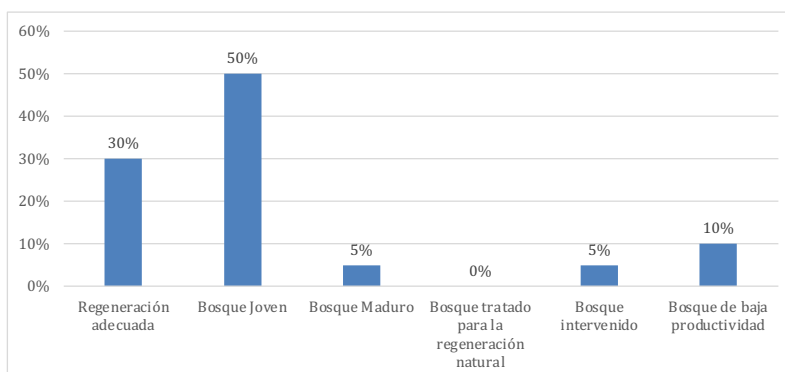
Las clases de desarrollo del bosque se refiere al proceso de cambio y evolución que experimenta un bosque a lo largo del tiempo, desde su establecimiento inicial hasta su estado maduro. Esta variable permite evaluar en qué etapa de crecimiento se encuentran los rodales, aportando información útil para la planificación del manejo y la conservación. En el marco del segundo IFN, el análisis de este atributo se centró en los bosques de coníferas y bosques mixtos, debido a que presentan una estructura más homogénea y manejable en cuanto a clases de desarrollo. En el caso de los bosques latifoliados, el análisis no se incluyó, dado que su carácter disetáneo, con presencia de árboles de diferentes edades y tamaños en un mismo espacio, dificulta una clasificación clara en clases de desarrollo.

Para este análisis, se utilizaron las clases de desarrollo definidas en los lineamientos técnicos de manejo forestal, los cuales guardan una estrecha relación con las categorías aplicadas en campo durante la colecta de datos del IFN. Los lineamientos técnicos establecen una clasificación que comprende: regeneración no adecuada, regeneración adecuada, bosques jóvenes, bosques medianos, bosques maduros, bosques tratados para la regeneración natural y bosques de baja productividad (INAB, 2015b).

Con base en el análisis realizado en 14 UM establecidas en áreas con 100% de cobertura de bosque de coníferas, y considerando la superficie nacional estimada para este tipo de bosque de aproximadamente 153 mil hectáreas, se identificaron diferentes clases de desarrollo del bosque. Los resultados muestran en la figura 12, que el 50% corresponde a bosques jóvenes, mientras que un 30% se encuentra en etapa de regeneración adecuada. En menor proporción, se reportan bosques maduros (5%), bosques intervenidos (5%) y bosques de baja productividad (10%). No se registraron superficies clasificadas como bosques tratados para la regeneración natural. Estos resultados permiten tener un panorama general a nivel de reconocimiento, de la condición actual de los bosques de coníferas del país.

Figura 12.

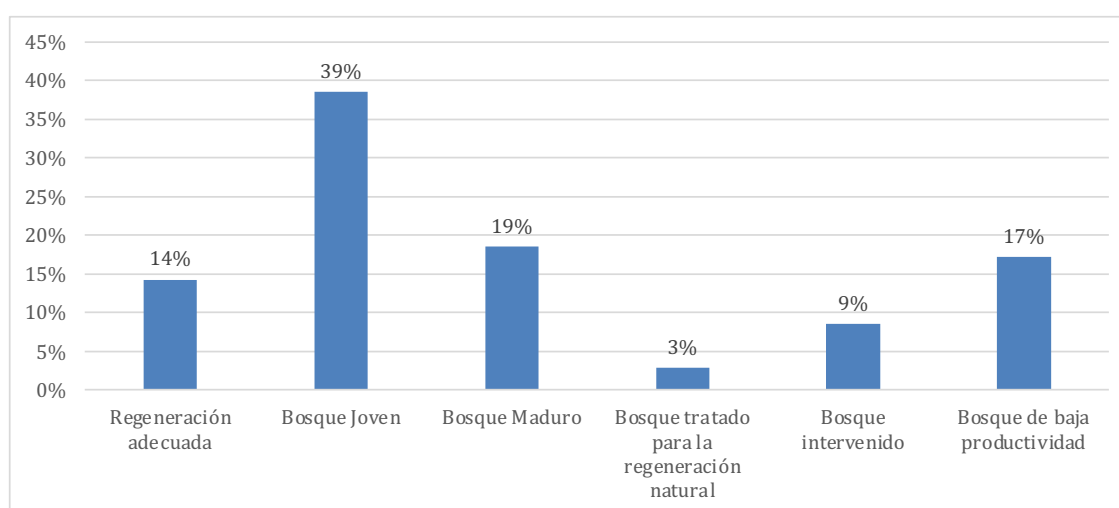
Clases de desarrollo del bosque de coníferas



Nota. La figura muestra los resultados de las clases de desarrollo del bosque de coníferas, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

El análisis de las clases de desarrollo del bosque mixto se realizó con base en 52 UM, considerando una superficie nacional estimada de 728 mil hectáreas para este tipo de bosque. Los resultados muestran que el 39% de la superficie corresponde a bosques jóvenes, mientras que un 19% se encuentra en la categoría de bosques maduros y un 14% en regeneración adecuada. En menor proporción, se identificaron bosques tratados para la regeneración natural (3%), bosques intervenidos (9%) y bosques de baja productividad (17%). Estos resultados ofrecen una idea general del estado actual del bosque mixto en el país, evidenciando una estructura en transición hacia etapas intermedias y maduras, pero también con presencia de áreas degradadas o de baja productividad que representan un reto para el manejo y conservación sostenible.

Figura 13.
Clases de desarrollo del bosque mixto



Nota. La figura muestra los resultados de las clases de desarrollo del bosque de mixtos, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Una de las oportunidades identificadas para futuros inventarios es la definición de parámetros técnicos y cuantitativos que permitan establecer con mayor precisión el estado sucesional de los bosques y el grado de degradación forestal. Contar con estos parámetros facilitará la estandarización de la información, reducirá la subjetividad en la clasificación realizada por los técnicos en campo y permitirá un análisis más robusto de la dinámica y calidad de los bosques a nivel nacional.

8.9.2 Origen de la repoblación de los bosques

El origen de la repoblación del bosque nos ayuda a comprender los procesos que han dado lugar a la cobertura forestal actual. Esta variable permite diferenciar si los bosques provienen de un proceso natural de regeneración o si son resultado de acciones humanas de manejo, como la reforestación o la restauración.

En el marco del segundo IFN, la definición del origen de la repoblación fue realizada por el técnico responsable de la colecta de información en campo, a partir de la observación de las características del sitio y el historial de uso del terreno compartido por los propietarios o encargados, por lo que esta información debe considerarse como cualitativa, correspondiente a un estudio a nivel de reconocimiento. Para este análisis se consideraron tres categorías principales: regeneración natural, reforestación y restauración.

Los resultados se presentan en la Tabla 64 para el bosque natural, a partir de la evaluación de 232 UM. Se observó que la regeneración natural constituye el origen predominante de los bosques, representando el 30.14% del área evaluada, con una densidad promedio de 376.7 árboles por hectárea. En menor medida, se identificaron áreas de reforestación, que abarcan el 1.34% del área, con una densidad de 239.2 árboles por hectárea. Finalmente, la restauración fue la categoría menos frecuente, con 0.23% del área y una densidad de 254.6 árboles por hectárea.

Tabla 64.
Origen de la repoblación de los bosques

Categorías	Origen de la repoblación	Área (%)	Densidad (árboles/ha)
Bosque	Regeneración Natural	30.14	376.7
	Reforestación	1.34	239.2
	Restauración	0.23	254.6

Nota. Porcentaje del origen de la repoblación de los bosques y árboles fuera de bosque, con base a la información del segundo IFN, elaboración propia.

8.9.3 Composición de la estructura vertical del bosque

La estructura vertical del bosque se refiere a la distribución de la vegetación en diferentes estratos o niveles de altura, lo que refleja tanto la complejidad como la diversidad de los ecosistemas forestales. Analizar esta estructura permite comprender mejor las dinámicas de competencia por luz, espacio y nutrientes entre los diferentes tipos de vegetación, además de ofrecer información clave para la gestión forestal sostenible y la conservación de la biodiversidad.

Para evaluar la estructura vertical del bosque, en cada parcela del segundo IFN se estableció un transecto de 30 metros de longitud orientado de sur a norte, ubicado dentro de la parcela circular de 15 metros de radio. A lo largo de este transecto se realizaron observaciones cada 3 metros, registrando la presencia o ausencia de las categorías de estratos de vegetación:

- **Árboles dominantes:** individuos que sobresalen por encima del dosel principal del bosque.
- **Árboles intermedios:** individuos que conforman el estrato medio, ubicados por debajo de los dominantes pero aún dentro del dosel.
- **Sotobosque:** vegetación leñosa menor y regeneración natural que crece bajo el dosel.
- **Herbáceas:** plantas de porte bajo, principalmente hierbas y gramíneas, que cubren el estrato inferior del bosque.

El análisis se realizó con base en 143 UM, correspondientes a parcelas clasificadas con cobertura 100% tierras forestales, lo que asegura que los resultados reflejen condiciones propias de ecosistemas forestales sin influencia directa de otros usos de la tierra.

Los resultados que se presentan en la tabla No. 65 evidencian que la estructura vertical del bosque varía de forma significativa entre las regiones del país:

- **Región Norte:** presenta los valores más altos de cobertura de sotobosque (91%) y herbáceas (92%), junto con una presencia considerable de árboles dominantes (61%) e intermedios (68%). Esto refleja ecosistemas más densos y complejos, con una marcada estratificación de la vegetación.
- **Región Centro:** muestra los porcentajes más bajos en casi todas las categorías, con 29% de dominantes, 23% de intermedios, 44% de sotobosque y 55% de herbáceas, lo que sugiere una menor complejidad estructural en comparación con las demás regiones.
- **Región Sur:** destaca por una alta presencia de árboles dominantes (75%) y un sotobosque bien representado (64%), aunque presenta un bajo porcentaje de herbáceas (26%), posiblemente asociado a la cobertura más cerrada del dosel que limita la entrada de luz al estrato inferior.

Tabla 65.
Porcentaje de presencia por categorías de estructura vertical

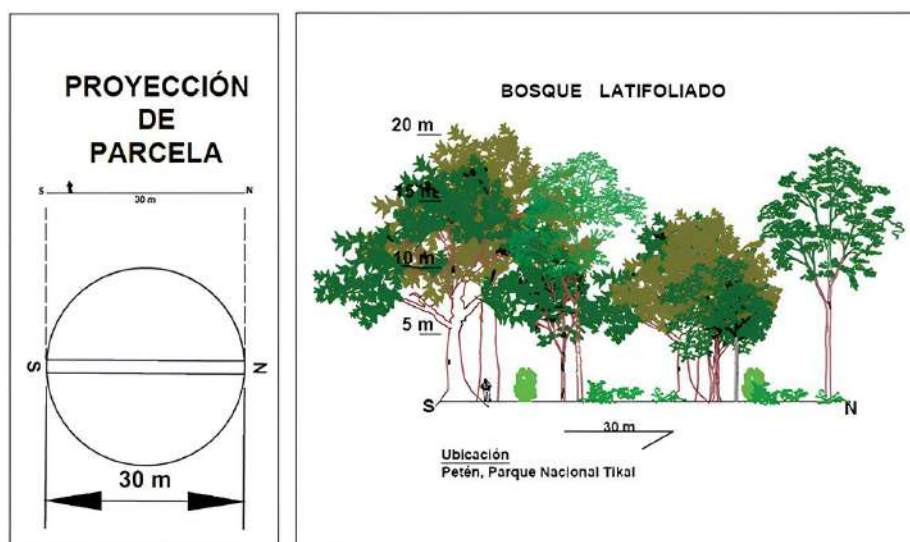
Región	% de presencia por categorías de estructura vertical			
	dominantes	intermedios	sotobosque	herbáceas
Norte	61	68	91	92
Centro	29	23	44	55
Sur	75	22	64	26

Nota: La tabla muestra el porcentaje de presencia por categorías de estructura vertical de los bosques, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Además de los cálculos porcentuales de la estructura vertical, se elaboraron esquemas representativos de la distribución de árboles en las Unidades de Muestreo (UM). Para este fin, se seleccionó una UM por cada tipo de bosque evaluado (latifoliadas, coníferas, mixto, seco y mangle). Los esquemas fueron desarrollados tomando como base el transecto de 30 metros aplicado en campo. A partir de este transecto y utilizando el azimuth registrado para cada árbol, se identificaron los individuos más cercanos y se representaron gráficamente, lo que permitió ilustrar de manera visual la disposición espacial y la estructura de los bosques en cada tipo de cobertura.

En la figura 14 se muestra la estructura vertical de la parcela 2 y UM 583 del bosque latifoliado, ubicado en el departamento de Petén, específicamente en el parque nacional de Tikal en donde se encontraron árboles, sotobosque y plantas herbáceas, las alturas de los árboles se encuentran entre el rango de 7 a 20 metros, las especies encontradas son: *Aspidosperma megalocarpon*, *Cupania guatemalensis*, *Laetia thamnina*, *Manilkara zapota*, *Pouteria belizensis*, *Wimmeria bartlettii* y *Zanthoxylum ekmanii*.

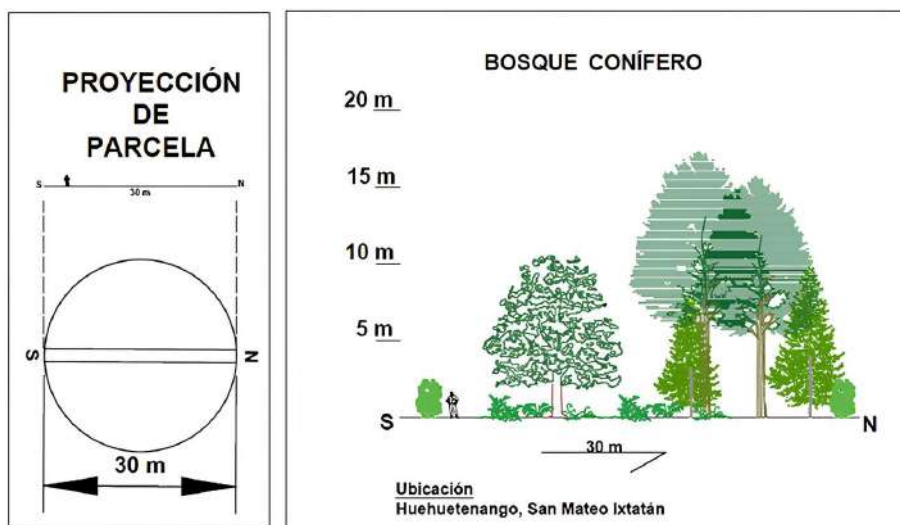
Figura 14
Estructura vertical del bosque latifoliado



Nota. Estructura vertical de la parcela 2 y UM 583 del bosque latifoliado, con base a la información del segundo IFN. Elaborado por: Edgar Flores.

En la figura 15 se muestra la estructura vertical de la parcela 1 y UM 374 del bosque conífero, ubicado en el municipio de San Mateo Ixtatán departamento de Huehuetenango en donde se encontraron árboles, sotobosque y plantas herbáceas, las alturas de los árboles se encuentran entre el rango de 8 a 17 metros, las especies encontradas son: *Pinus hartwegii*.

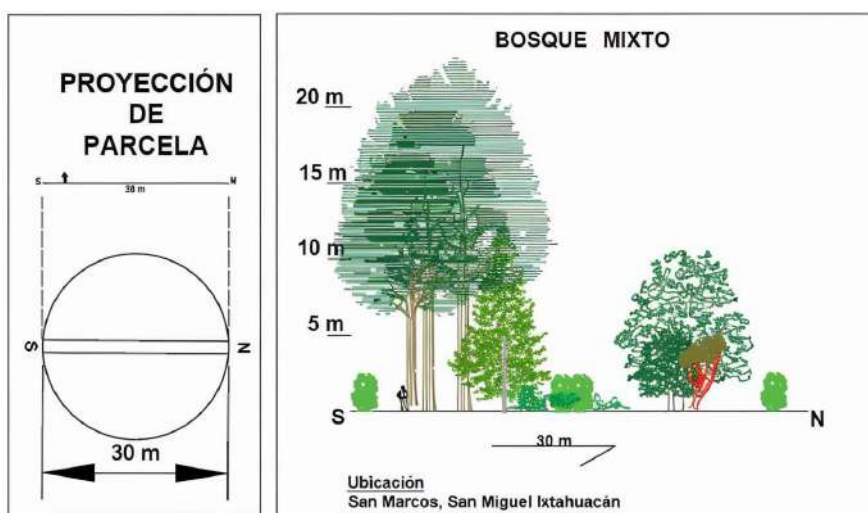
Figura 15.
Estructura vertical del bosque conífero



Nota. Estructura vertical de la parcela 1 y UM 374 del bosque conífero, con base a la información del segundo IFN. Elaborado por: Edgar Flores.

En la figura 16 se muestra la estructura vertical de la parcela 1 y UM 661 del bosque mixto, ubicado en el municipio de San Miguel Ixtahuacán departamento de San Marcos, en donde se encontraron árboles, sotobosque y plantas herbáceas, las alturas de los árboles se encuentran entre el rango de 4.5 a 23 metros, las especies encontradas son: *Pinus sp.*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus sp.*, *Arbutus Xalapensis*.

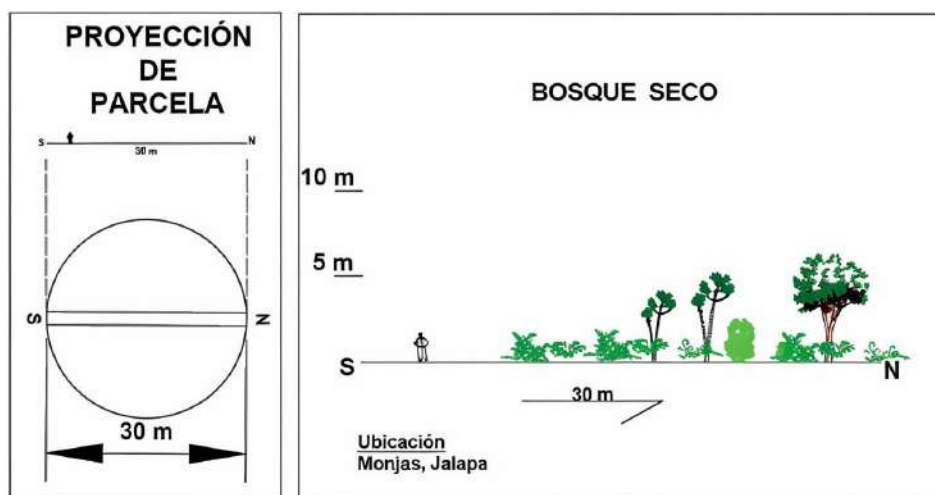
Figura 16.
Estructura vertical del bosque mixto



Nota.: Estructura vertical de la parcela 1 y UM 661 del bosque mixto, con base a la información del segundo IFN. Elaborado por: Edgar Flores.

En la figura 17 se muestra la estructura vertical de la parcela 1 y UM 112 del bosque seco, ubicado en el municipio de Monjas departamento de Jalapa, en donde se encontraron árboles, sotobosque y plantas herbáceas, las alturas de los árboles se encuentran entre el rango de 4 a 6 metros, las especies encontradas son: *Cecropia peltata* y *Bursera simaruba*.

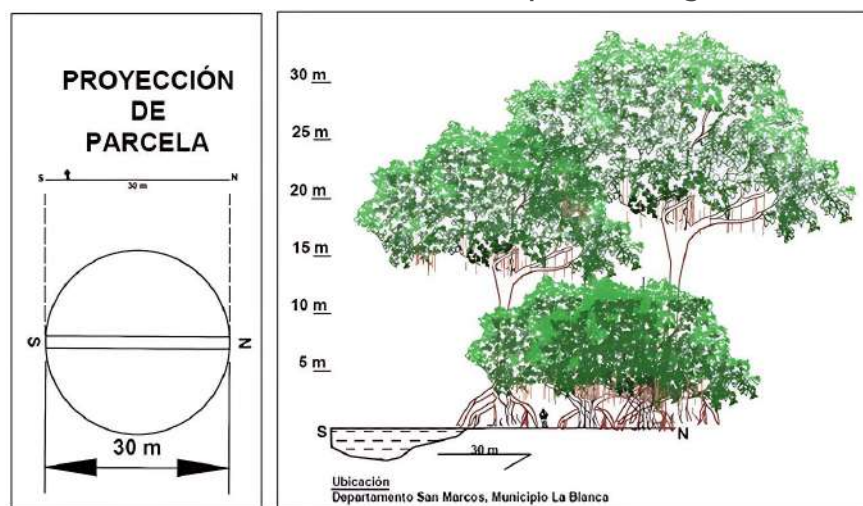
Figura 17.
Estructura vertical del bosque seco



Nota. Estructura vertical de la parcela 1 y UM 112 del bosque seco, con base a la información del segundo IFN. Elaborado por: Edgar Flores.

En la figura 18 se muestra la estructura vertical de la parcela 3 y UM 76 del bosque de mangle, ubicado en el municipio de La Blanca del departamento de San Marcos, en donde se encontraron árboles y sotobosque de 13 a 34 metros de altura, las especies encontradas son: *Rhizophora mangle* conocido como mangle rojo.

Figura 18.
Estructura vertical del bosque de mangle



Nota. Estructura vertical de la parcela 3 y UM 76 del bosque de mangle, con base a la información del segundo IFN. Elaborado por: Edgar Flores.

8.9.4 Forma de fuste de los árboles de especies latifoliadas y coníferas

La forma del fuste del árbol se refiere a la estructura que presenta el tronco a medida que crece. Esta puede variar significativamente entre diferentes especies y también estar influenciada por factores ambientales y de manejo forestal. Entre los factores más determinantes se encuentran la genética propia de la especie y las condiciones del sitio en que se desarrolla el árbol, tales como pendiente, competencia, disponibilidad de luz y exposición al viento.

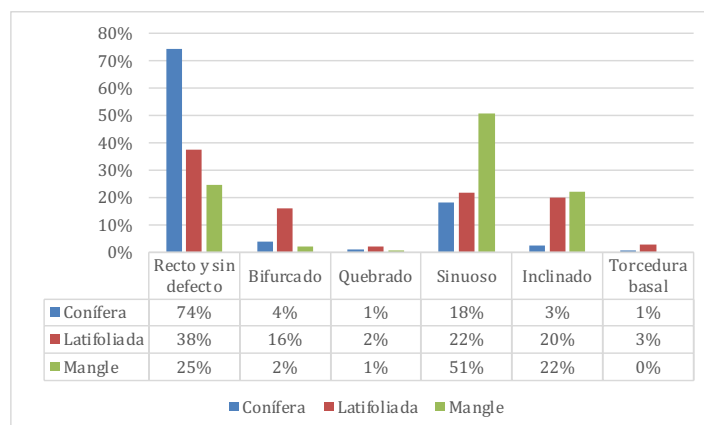
En el Segundo IFN, la evaluación de la forma del fuste se realizó exclusivamente en árboles de bosques, sin incluir las plantaciones forestales. El análisis se basó en un total de 8,052 árboles medidos en campo, considerando únicamente individuos con un DAP mayor a 10 cm.

Los resultados muestran diferencias entre coníferas y latifoliadas. En las coníferas, el 73 % de los árboles presentan un fuste recto, seguido por un 19 % con fuste sinuoso. Las demás formas tienen menor representación: bifurcado (3 %), inclinado (3 %), quebrado (1 %) y torcido (1 %).

En las latifoliadas, la cantidad de fustes rectos es menor (37 %), con una distribución más equilibrada entre otras formas: sinuoso (21 %), bifurcado (14 %), inclinado (23 %) y en menor cantidad se encontraron individuos con fustes torcidos (3 %) y quebrados (2 %).

Con respecto al mangle, es importante considerar que la información obtenida corresponde únicamente a 3 UM, no obstante, la información sobre la forma del fuste describe características de los individuos muestreados. La cantidad de fustes rectos y sin defectos es menor que en latifoliadas y coníferas, con un 25%, la mayoría de individuos presentaron un fuste sinuoso (51%).

Figura 19.
Porcentaje de especies forestales y arbóreos según la forma de fuste de coníferas y latifoliadas



Nota. Porcentaje de especies forestales y arbóreos según la forma de fuste y tipo de bosques (conifera, latifoliada y mangle), con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.10 Perturbaciones naturales y antropogénicas

La identificación de las perturbaciones ambientales y antropogénicas permite comprender las presiones y amenazas que afectan directamente a la estructura, composición, integralidad y funcionalidad de los ecosistemas del país. Estas variables fueron identificadas en campo por el técnico forestal responsable del levantamiento, a partir de observaciones directas durante la colecta de información y mediante entrevistas con los propietarios o encargados de los terrenos. Si bien la información presentada en este apartado es cualitativa y a nivel de reconocimiento, proporciona datos importantes sobre elementos a considerar en la gestión de riesgo.

El análisis se realizó para las 494 UM, lo que ofrece un panorama general de las principales perturbaciones que se encontraron en estos territorios. Para su presentación, los resultados se han organizado en dos capítulos:

1. **Perturbaciones naturales**, que incluyen eventos como sequía, erosión, deslizamientos, daño por viento, plagas y enfermedades, inundaciones, entre otros factores que afectan la salud y regeneración de los ecosistemas.
2. **Perturbaciones antropogénicas**, que abarcan actividades humanas tales como la tala de árboles, cambio de uso del suelo como infraestructura, cultivos agrícolas, pastoreo y la elaboración de brechas u otras acciones que impactan en los ecosistemas de las distintas categorías de uso de la tierra.

8.10.1 Perturbaciones naturales

Los resultados del segundo IFN sobre las perturbaciones naturales se presentan en la Tabla 66, y muestran que el 76.9% de las UM no presentaron evidencia de perturbaciones. Por el contrario, el 8.3% presenta evidencia de erosión, de los cuales el 3.5% de es de baja magnitud, el 2.7% de moderada magnitud y el 1.7% de alta magnitud. Además, un 4.7% presentó evidencia de sequías, de las cuales el 2.5% de se categorizó con magnitud moderada, el 1.1% con baja magnitud, y el 0.5% con alta magnitud. Finalmente, el 4.3% presentó evidencia de inundaciones, un 1.7% de baja magnitud y un 1.2% tanto de moderada como de alta magnitud.

Considerando que un 24.4% de las UM experimentan perturbaciones como erosión, sequía e inundaciones, es esencial establecer un sistema de monitoreo continuo para detectar y evaluar estas perturbaciones. Esto permitirá una respuesta rápida y efectiva para mitigar sus efectos y prevenir daños mayores.

Tabla 66.
Porcentaje de perturbación natural y magnitud

Perturbación natural	Magnitud de la perturbación natural				Total general
	01) No aplica	02) Poco	03) Moderado	04) Mucho	
01) Sin perturbación	76.9				76.9
02) Sequía	0.5	1.1	2.5	0.5	4.7
03) Erosión	0.4	3.5	2.7	1.7	8.3
04) Deslizamientos	0.1	0.7	0.7	0.7	2.2
05) Daño por viento	0.2	1.6	0.7		2.5
06) Plagas y enfermedades		0.4			0.4
07) Inundación	0.3	1.7	1.2	1.2	4.3
08) Erupción volcánica					
09) Otro	0.1	0.5		0.2	0.8
Total general	78.5	9.5	7.8	4.3	100

Nota. Porcentaje de perturbaciones naturales y magnitud, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

8.10.2 Perturbaciones antropogénicas y magnitud

En la Tabla 67 se presentan los porcentajes de perturbaciones según su tipo y magnitud para las 494 UM. La principal perturbación antropogénica es el cambio de uso del suelo hacia pastoreo, que afecta al 18.7% de las UM, de las cuales un 13.9% presentó perturbación severa, un 3% moderada y un 1.8% leve. La tala de árboles se evidenció en el 14.7% de las UM, con un 7% de perturbación severa, un 3.4% leve y 3.3% moderada. El cambio de uso del suelo para cultivos agrícolas se evidenció en el 14.7% de las UM.

Esta información ayuda a fomentar prácticas agroforestales que permitan la coexistencia de la ganadería y la conservación de los bosques, desarrollar programas de reforestación y restauración ecológica en las zonas más afectadas y promover la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que minimicen la degradación del suelo y la pérdida de cobertura forestal.

Tabla 67.
Porcentaje de perturbación antropogénica y magnitud.

Perturbación antropogénica	Magnitud de la perturbación natural				Total general
	01) No aplica	02) Poco	03) Moderado	04) Mucho	
01) Sin perturbación	42.7				42.7
02) Tala	1	3.4	3.3	7	14.7
03) Infraestructura	0.1	0.1	0.8	1	2
04) Minería		0.2	0.1		0.3
05) Cultivos	0.6	3.1	5.2	5.8	14.7
06) Poda		1.1	1.7	0.1	2.9
07) Brecha	0.5	0.3	1.4	0.2	2.4
08) Pastoreo	0.3	1.8	3	13.7	18.8
09) Otro	0.3	0.6	0.3	0.3	1.5
Total general	45.5	10.6	15.8	28.1	100

Nota. Porcentaje de perturbaciones antropogénicas y magnitud, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

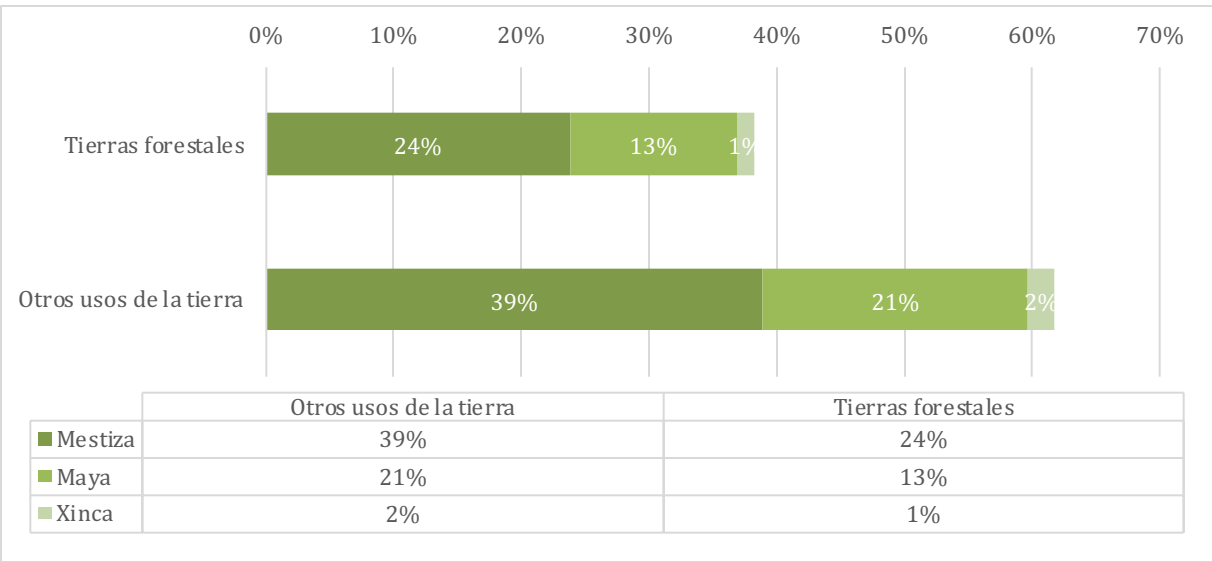
8.11 Características de las poblaciones cercanas a las UM

En el marco del segundo IFN también se recopiló información sobre algunas características de las poblaciones cercanas a las UM, específicamente relacionadas con el pueblo étnico y la comunidad lingüística predominante, así como con la actividad económica principal en el área. Esta información fue proporcionada directamente por los propietarios o encargados de los terrenos, por lo que debe interpretarse como una aproximación general a la dinámica sociocultural y productiva de las zonas donde se ubican las parcelas. Para este análisis se consideraron las 494 UM a nivel nacional, y los resultados se presentan con base a las categorías generales de tierras forestales y otros usos de la tierra, lo que permite identificar posibles relaciones entre la cobertura del suelo y las características socioeconómicas de las comunidades vinculadas a estas áreas.

8.11.1 Pueblo étnico y comunidad lingüística.

Guatemala es un país que posee una población con una amplia variedad de pueblos étnicos y comunidades lingüísticas. En la Figura 20 se presentan los porcentajes de pueblos étnicos vinculados a tierras forestales y otros usos de la tierra. El 63% corresponde al pueblo mestizo o ladino, el 34% al pueblo maya, y el 3% al pueblo xinca. Del total, el 38% de los datos fue recolectado en tierras forestales, mientras que el 62% restante proviene de otros usos de la tierra.

Figura 20.
Pueblo étnicos en tierras forestales y otros usos de la tierra



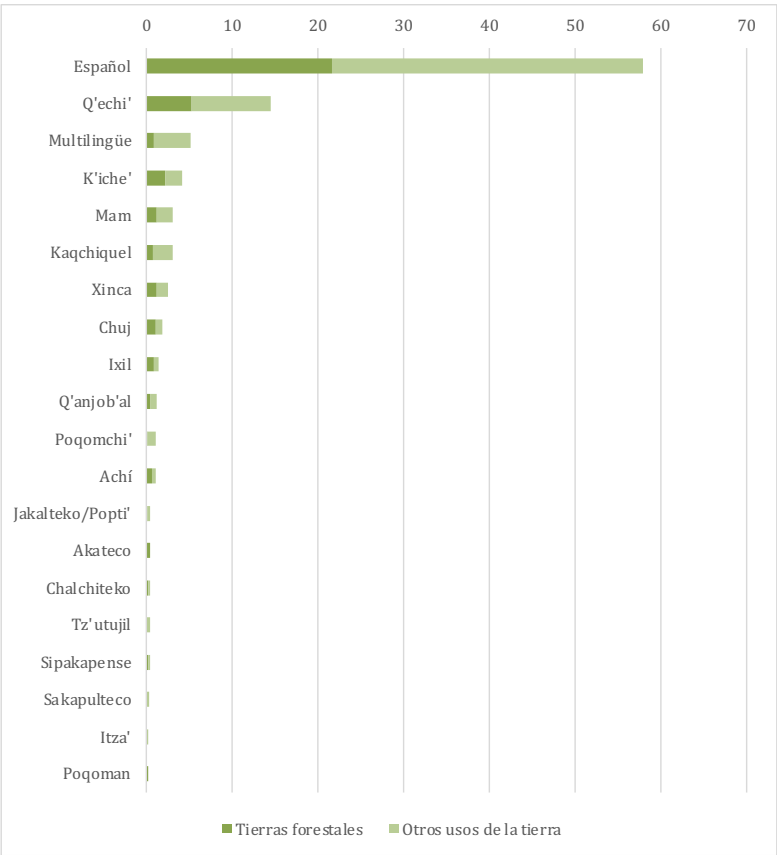
Nota. Porcentaje de pueblos étnicos registrados por tierras forestales y otros usos de la tierra del segundo IFN, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las comunidades lingüísticas, Guatemala es conocida por la gran diversidad de idiomas que se hablan en el país. El español es el idioma oficial y se habla ampliamente en todo el país. Sin embargo, también se hablan numerosos idiomas indígenas, muchas de los cuales son de origen maya, como el k'iche', el kaqchikel, el q'eqchi', el mam, entre otros. Además, existen idiomas como el garífuna y el xinca, que son habladas en territorios específicos.

La figura 21 muestra que el 60% de las personas encuestadas en las UM hablan español, seguidas por un 14.2% que habla q'eqchi', un 4.2% k'iche', y un 3% kaqchikel y mam, respectivamente. El resto de los idiomas se representan en porcentajes menores.

Esta información destaca la diversidad de idiomas, culturas y conocimientos tradicionales sobre el manejo de la tierra y los recursos naturales en el país. Este conocimiento es fundamental para evaluar si las políticas y programas de manejo forestal se están comunicando de manera efectiva a todas las comunidades. Además, hace evidente la importancia de incluir materiales y recursos en varios idiomas para garantizar una participación inclusiva y desarrollar estrategias de comunicación que influyan positivamente en las prácticas de manejo forestal.

Figura 21:
Porcentaje de comunidad lingüística en tierras forestales y otros usos de la tierra.



Nota. Porcentaje de comunidades lingüísticas registradas del segundo IFN, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

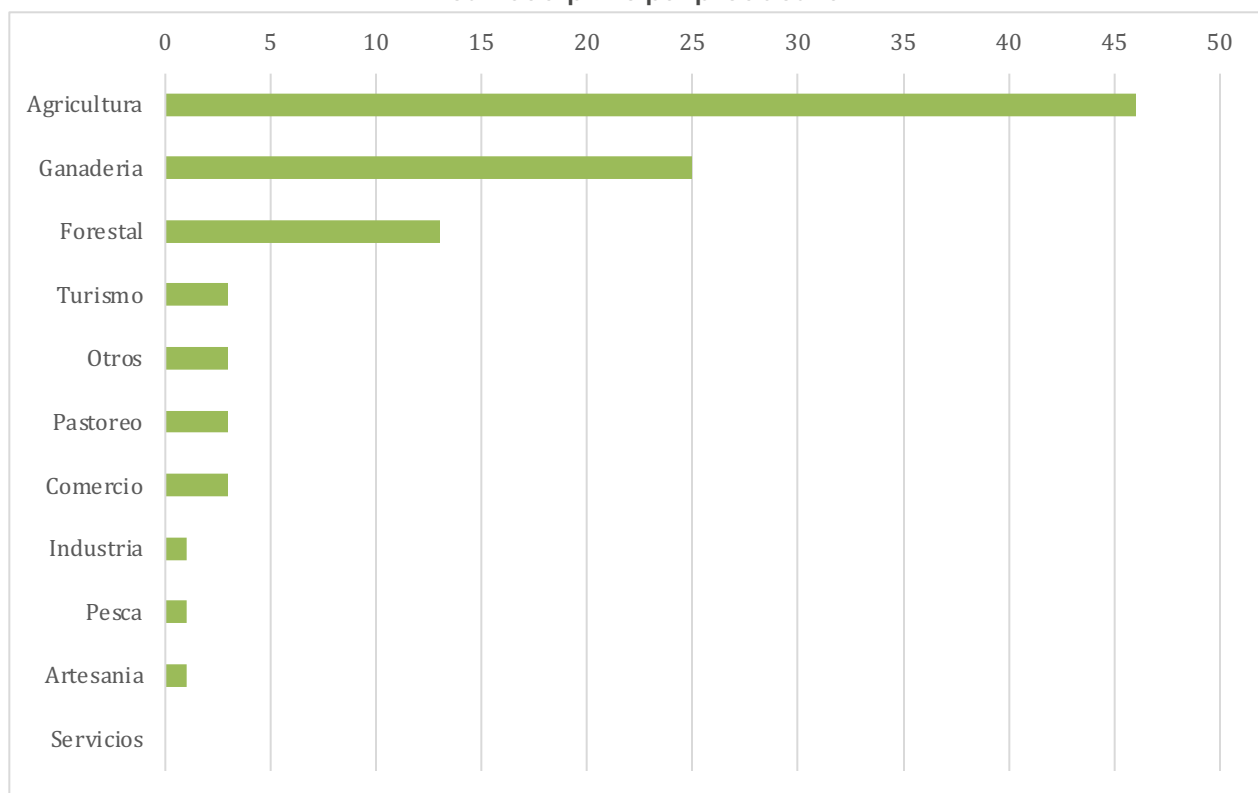
8.11.2 Actividad principal productiva.

Guatemala tiene una amplia variedad de actividades productivas que contribuyen a su economía, entre ellos: agricultura, actividades del sector forestal, turismo, comercio, artesanías, ganadería, pesca e industria.

La entrevista realizada contempló las principales actividades productivas, cada entrevistado podía responder una o más categorías. En la Figura 22, se muestra que el 46% de las respuestas brindadas corresponde a la agricultura como principal actividad productiva, el 25% corresponde a ganadería y el 13% a actividades del sector forestal.

Esta información proporciona una visión de las principales actividades productivas en los territorios donde se ubicaron las UM y permite conocer las tendencias a nivel nacional.

Figura 22.
Actividad principal productiva



Nota. La figura muestra el porcentaje de las actividades principales registradas en el segundo IFN, con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.



CONCLUSIONES



9. CONCLUSIONES

El segundo Inventario Forestal Nacional -IFN-, representa un esfuerzo significativo en la recopilación de información de campo y análisis de los recursos forestales de Guatemala. Liderado por el Instituto Nacional de Bosques -INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, se contó con el acompañamiento técnico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- y el apoyo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, organizaciones no gubernamentales, sector privado y académico.

El segundo IFN debe interpretarse como una herramienta de referencia nacional, cuya principal utilidad radica en proveer información que describe el estado de recursos arbóreos en tierras forestales y en otros usos de la tierra, permitiendo la toma de decisiones informada sobre aspectos vinculados a la administración de los recursos forestales del país.

Los resultados aportan información integral y multipropósito sobre variables dasométricas, como el volumen total, área basal, densidad (árboles por hectárea), biomasa y carbono fijado en los diferentes reservorios, incluyendo el suelo en tierras forestales y en otros usos de la tierra; abordando aspectos cualitativos que describen la diversidad de familias y especies, estructura, composición y condición de los bosques, considerando también elementos de carácter socioeconómico.

Las variables presentan diferentes niveles de precisión según las categorías de uso de la tierra. En el nivel general, las categorías de tierras forestales presentan muy alta precisión en las estimaciones de superficie; entre muy alta y media para volumen, área basal, densidad, biomasa y carbono aéreo y subterráneo. En la categoría de árboles en otros usos de la tierra, la precisión es muy alta para la superficie y media a baja para las variables dasométricas, biomasa y carbono aéreo y subterráneo. Para ambas categorías de uso de la tierra en el nivel general, la biomasa y carbono en hojarasca y madera muerta presentan precisiones media y baja, respectivamente; por el contrario el carbono en suelo muestra alta precisión.

En el nivel 1, para la variable superficie en las categorías de tierras forestales, cultivos y pastizales se estima con precisión alta a media, mientras que los humedales, cuerpos de agua, asentamientos y árboles dispersos presentan errores elevados y, por tanto, precisiones bajas a muy bajas. Con respecto al nivel 2, las estimaciones para la categoría de bosque mantienen precisiones muy altas a altas en todas las variables, en las plantaciones forestales la precisión es baja debido a la alta variabilidad que presentan las UM en esta categoría de uso. En el nivel 3 las variables presentan distintas precisiones. Para los bosques latifoliados los resultados son de alta precisión, para los bosques mixtos se tienen precisiones medias a bajas y para

los bosques de coníferas y bosques secos presentan precisiones bajas a muy bajas. Los resultados para el bosque de mangle presentan precisiones bajas, además de poca representatividad, al haberse levantado únicamente 3 UM. Las variables que presentan baja precisión y/o baja representatividad deben considerarse a nivel referencial, correspondiendo a un nivel de detalle de reconocimiento que no deja de ser relevante para mostrar las condiciones generales y tendencias de la variable evaluada.

Se estimó que las tierras forestales cubren 4,139,855 hectáreas (38 % del territorio nacional), mientras que otros usos de la tierra abarcan 6,749,045 hectáreas (62 %), para un total evaluado de 10,888,900 hectáreas. De esta cobertura forestal, el bosque representa 3,908,971 hectáreas (35.9 % del país), con la siguiente distribución: bosque latifoliado (2,695,287 ha), bosque mixto (798,230 ha), bosque de coníferas (153,506 ha), bosque seco (222,132 ha) y bosque de mangle (39,818 ha). Además, las plantaciones forestales representan 230,883 hectáreas adicionales.

El inventario presenta la diversidad de especies arbóreas presentes en las tierras forestales del país y en otros usos de la tierra, con el registro de 10,852 árboles pertenecientes a 82 familias y 492 especies distintas.

Se estimó que los árboles en tierras forestales tienen un volumen total promedio de 113.3 m³/ha, un volumen a nivel nacional de 469,045,572 m³. Con respecto a los árboles en la categoría otros usos de la tierra, presentan un volumen total promedio de 17.0 m³/ha, un volumen total a nivel nacional de 114,733,765 m³. Los resultados también indican que los bosques del país tienen un área basal promedio de 14.4 m²/ha, las plantaciones 9.1 m²/ha y los árboles en otros usos de la tierra 2.4 m²/ha; así como una densidad de 349.3 árboles/ha en bosques y 55.5 árboles/ha en otros usos de la tierra.

Con respecto al carbono fijado, se estima un total de 415.2 millones de toneladas de carbono en tierras forestales y árboles en otros usos de la tierra. A esto se suma el carbono contenido en el suelo, que alcanza 1,425 millones de toneladas a 30 cm de profundidad, para un total de 1,840 millones de toneladas de carbono fijado a nivel nacional. Estos resultados reafirman la importancia de los bosques, plantaciones y árboles en otros usos de la tierra como reservorios de carbono y su papel en la mitigación del cambio climático, además de su valor en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.

Finalmente, se identificaron áreas de mejora para futuros inventarios forestales, entre ellas la necesidad de institucionalizar el proceso, reforzar los protocolos de control de calidad, fortalecer capacidades técnicas (con énfasis en la inclusión de mujeres y jóvenes), implementar protocolos de seguridad y emergencia, y fomentar la participación de comunidades locales e indígenas. Estas acciones son claves para optimizar la gestión y conservación de los recursos forestales, garantizando la continuidad y efectividad de los próximos ciclos del IFN.

RECOMENDACIONES

10. RECOMENDACIONES

Para mejorar la eficiencia, consistencia y sostenibilidad del IFN, se recomienda sistematizar las experiencias y lecciones aprendidas para generar conocimiento en cada fase del proceso, incluyendo la planificación y diseño del muestreo, la recolección de datos en campo, el control de calidad y almacenamiento de datos, el análisis y procesamiento de la información, la generación de informes y la implementación de programas de capacitación.

Para aumentar la precisión y fiabilidad de los datos del IFN, se recomienda adoptar un enfoque integral que incluya el desarrollo de protocolos de calidad, la capacitación continua en las mejores prácticas, el uso adecuado de herramientas y técnicas de muestreo, la implementación de procesos de validación, y la integración de tecnologías avanzadas, como la captura de datos móviles, para mejorar la eficiencia en la recolección y gestión de la información.

Para mejorar la cobertura y garantizar el acceso a las unidades de muestreo en futuros inventarios, se recomienda fortalecer el involucramiento de las comunidades locales e indígenas, reconociendo su conocimiento ancestral y su papel fundamental en la gestión sostenible de los recursos forestales. Esto puede lograrse a través de la participación inclusiva en todas las etapas del inventario, desde la planificación y el diseño de los métodos de muestreo hasta la recolección y validación de datos.

Se recomienda desarrollar una estrategia de comunicación a nivel nacional para el IFN, con el objetivo de socializar sus fines, avances y beneficios, y así fomentar el apoyo y la participación de la población. Esta estrategia debería incluir campañas informativas, actividades de sensibilización y espacios de diálogo que permitan a la ciudadanía comprender la importancia del inventario forestal y contribuir a su éxito. Se recomienda fortalecer las capacidades en la identificación de especies forestales a nivel local y nacional mediante la colaboración con universidades. Esto puede lograrse a través de convenios que promuevan la formación especializada, la investigación conjunta y el intercambio de conocimientos entre académicos, estudiantes, técnicos y profesionales. Este enfoque contribuirá a mejorar la precisión en la identificación de especies y a formar recurso humano capacitado.

Fomentar la participación de mujeres y jóvenes, reconociendo su potencial para aportar nuevas perspectivas y fortalecer la sostenibilidad en la gestión de los recursos forestales.

Vincular los resultados del inventario con los sistemas nacionales e internacionales de información forestal y cambio climático.



REFERENCIAS

11. REFERENCIAS

- Arreaga Gramajo, W. E. (2002). Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4600>
- Calderón Amaya, A., & Chip T. Scott, C. (2020). Software para inventarios forestales (SilvaMetricus). Servicio Forestal de los Estados Unidos; FAO. <https://www.silvahn.com/>
- Casanoves, F., Cifuentes Jara, M., & Chacón León, M. (2017). Estimación del carbono a partir de inventarios forestales nacionales Buenas prácticas para la recolección, manejo y análisis de datos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8696>
- CEAB-UVG. (2018). Protocolos Metodológicos para el Cálculo de Emisiones por Deforestación, Medición y Cuantificación de Carbono en Sistemas Terrestres y Análisis de Causas y Agentes de la Deforestación (p. 56). Universidad del Valle de Guatemala. https://res.cloudinary.com/webuvg/image/upload/v1573141247/WEB/Investigacion/Centros%20de%20investigaci%C3%B3n/Centro%20de%20Estudios%20Ambientales%20y%20Biodiversidad%20CEAB/Publicaciones/Cambio%20clim%C3%A1tico/Otras%20publicaciones/3.CEAB_2018_protocolos_emisiones.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Cifuentes Jara, M., Rivera, C. G., Magaña, J., Velásquez Mazariegos, S., & Torres Gómez, D. (2018). Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8718>
- CONACYT-CONAFOR. (2016). Modelos Biométricos [Excel]. <http://fcfposgrado.ujed.mx/sibifor/inicio/>
- CONAP. (2008). Libro Guatemala y su Biodiversidad 2008. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Oficina Técnica de Biodiversidad. https://sip.conap.gob.gt/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Guatemala-y-su-Biodiversidad_2008.pdf
- CONAP. (2012). Manual para la Administración Forestal en Áreas Protegidas (p. 338). Consejo Nacional de Áreas Protegidas. http://138.117.140.116/Documentos/MBVS/Manual%20Forestal_CONAP.pdf
- FAO. (2010). Terminos y definiciones. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación. <https://www.fao.org/4/am665s/am665s00.pdf>

- FAO. (2021). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Wwww.Fao.Org. <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/es>
- FAO. (2022). El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>
- FAO. (2023). Terminos y definiciones de los recursos forestales mundiales 2025. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cdd2d882-02a5-4970-9ec8-2d78f3cd3ed6/content>
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J. L., & Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. *Oecologia*, 115(1), 39-53. <https://doi.org/10.1007/s004420050489>
- INAB. (1999). Manual Tecnico Forestal [Manual Tecnico Forestal]. Instituto Nacional de Bosques.
- INAB. (2013). Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales de Teca (p. 37). Instituto Nacional de Bosques. https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/Crecimiento%20y%20Productividad%20Plantacions%20Forestales%20de%20Teca.pdf
- INAB. (2015a). Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala (p. 213). Instituto Nacional de Bosques. <https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/Dinamica%20de%20Crecimiento%20y%20Productividad%20en%20Plantaciones.pdf>
- INAB. (2015b). Lineamientos Tecnicos de Manejo Forestal. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2972/technical/Lineamientos%20Tecnicos%20de%20Manejo%20Forestal.pdf?v=1709094868
- INAB. (2018). Manual de Criterios y Parámetros PROBOSQUE para la Modalidad de Restauración de Tierras Forestales Degradadas y Manejo de Bosques Naturales para el Ecosistema de Bosque Seco. GIZ.
- INAB. (2019). Paquete tecnológico forestal de *Vochysia guatemalensis* (p. 64). Instituto Nacional de Bosques. http://mangomaps.inab.gob.gt/PTF_Vochysia_guatemalensis.pdf
- INAB. (2020). Guía para la identificación de los Bosques Estratégicos. Instituto Nacional de Bosques.
- INAB. (2021). La industria de melina en el mercado forestal (p. 1). Instituto

Nacional de Bosques. <https://www.inab.gob.gt/images/boletines/2021/abril/boletinMELINA.pdf>

INAB. (2022a). Guía sobre Criterios y parámetros técnicos, para la evaluación del bosque latifoliado (p. 73). <https://restauracionforestal.inab.gob.gt/images/biblioteca/guias-de-restauracion-forestal/Gu%C3%ADa%20sobre%20Criterios%20y%20par%C3%A1metros%20t%C3%A9cnicos,%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20bosque%20latifoliado.pdf>

INAB. (2022b). Reglamento PROBOSQUE. Instituto Nacional de Bosques. https://www.inab.gob.gt/images/centro_descargas/reglamentos/Res.%20JD.01.35.2023%20Reglamento%20PROBOSQUE.pdf

INAB. (2024, septiembre 9). Resolución Acta número: JD 25.2024. https://www.inab.gob.gt/images/informacionpublica/2024/Diciembre/Valor_Madera_en_Pie_Resoluci%C3%B3n_JD.02.25.2024.pdf

INAB, & CONAP. (2020a). Manual de campo para implementar el inventario forestal nacional 2020. Instituto Nacional de Bosques y Consejo Nacional de Áreas Protegidas. <https://www.inab.gob.gt/images/ifn/Manual%20de%20campo%20para%20implementar%20el%20IFN%202020.pdf>

INAB, & CONAP. (2020b). Marco Metodológico para el segundo ciclo del inventario forestal nacional de Guatemala. Instituto Nacional de Bosques y Consejo Nacional de Áreas Protegidas. <http://www.portal.inab.gob.gt/images/inventario-forestal/Marco%20Metodologico%20IFN%202020.pdf>

INAB, & FAO. (2003). Inventario Nacional Forestal de Guatemala 2002-2003. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.inab.gob.gt/images/inventario-forestal/IFN%20final.pdf>

IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Programa de inventarios de gases de efecto invernadero del IPCC.

IPCC. (2018). Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 oC con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471-477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>

Léfevre, C., Rekik, F., Alcantará, V., & Wiese, L. (2017). Carbono Orgánico del Suelo: El potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e5e1fa9-ef55-4198-9160-fa580483f991/content>

Ley forestal, 101-96, Congreso de la República de Guatemala, 101-96 (1996). https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/15._Ley_Forestal_Decreto_101_96.pdf

MARN, MAGA, INAB, & CONAP. (2020). Estrategia Nacional REDD+ Guatemala (2020-2050) (ENREDD+) Bosque | Gente | Futuro. Grupo de Coordinación Interinstitucional GCI. https://redd.unfccc.int/media/estrategia_nacional_redd__2__1_.pdf

MITECO, M. (2024). GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE ABSORCIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guiapa_tcm30-479094.pdf

Mokany, K., Raison, R. J., & Prokushkin, A. S. (2006). Critical analysis of root: Shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12(1), 84-96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2002). MANUAL DE METODOS BÁSICOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS EN ECOLOGÍA VEGETAL.

Nájera, A., Pereira, L., & Chapas, J. (2010). Lineamientos Técnicos de Manejo Forestal Sostenible para los Bosques Pino Encino de Mesoamérica. Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica.

Peters, R. (1977). Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Instituto Nacional Forestal y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Rodas, L., Quezada, M., Valencia, S., Marroquín, A., Hernández, B., & Martínez, J. (2018). Encinos de Guatemala (p. 134). Universidad de San Carlos de Guatemala.

Torres Rojo, J. M., & Guevara Sanginés, A. (2022). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906303.pdf>

Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Aguirre-Calderón, C. G., Zamudio-Sánchez, F. J., López-Martínez, J. O., Corral-Rivas, J. J., & Treviño-Garza, E. J. (2018). Manual del Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) (p. 100) [Herramientas para el manejo de los bosques templados y tropicales de México]. CONAFOR.



ANEXOS

12. ANEXOS

12.1 Formulario de control de calidad de información de campo (FCC1)



FCC1

Formulario de control de calidad de información de campo

I. Información general de la Unidad de Muestreo

Instrucciones: Llenar los siguientes espacios con la información que se solicita.

Código de parcela:	Fecha de establecimiento:
Nombre del jefe de brigada:	
Fecha de evaluación:	
Nombre y firma del jefe de brigada de control de calidad:	
Firma:	

II. Verificación de datos

Instrucciones: Verifique los datos de las variables indicadas para cada formulario y defina si la información es verdadera (v) o falsa (f).

Formulario	No.	Variable	Coincidencia (v/f)	Observaciones
1. Información general de la UM	1	ID, UM		
	2	Departamento		
	3	Municipio		
	4	Poblado		
	5	Ubicación dentro de AP		
	6	Nombre del AP		
3. Centro y marca permanente	7	Accesibilidad		
	8	Coordenada teórica X		
	9	Coordenada teórica Y		
	10	Coordenada real X		
	11	Coordenada real Y		
	12	Altitud		
	13	Reubicación de MP		
	14	Azimut de referencia al CP-C1		
	15	Azimut de referencia al CP-C2		
	16	Azimut de referencia al CP-C3		
	17	Azimut de referencia al CP-C4		
	18	Distancia de referencia al CP-C1		
	19	Distancia de referencia al CP-C2		
	20	Distancia de referencia al CP-C3		
	21	Distancia de referencia al CP-C4		



4. Condiciones del terreno	22	Uso de la tierra Cuadrante 1		
	23	Uso de la tierra Cuadrante 2		
	24	Uso de la tierra Cuadrante 3		
	25	Uso de la tierra Cuadrante 4		
	26	Formas de vida asociadas al bosque		
	27	Posición topográfica		
	28	Pendiente del terreno N-S		
	29	Pendiente del terreno E-O		
	30	Perturbación natural		
5.2 Estado del uso de la tierra	31	Magnitud de la perturbación		
	32	Incendios		
	33	Tipo de incendios		
	34	Tiempo de incendio		
	35	Tipo de árboles fuera de bosque		
	36	Funciones del bosque		
	37	Protección hídrica		
	38	Perturbación antropogénica		
	39	Magnitud de la perturbación		
	40	Clase de desarrollo del bosque		
	41	Origen de la repoblación		
	42	Tratamiento silvícola		
	43	Propósito del aprovechamiento forestal		
	44	Profundidad efectiva		
8. Suelo	45	Pedregosidad		
	46	Drenaje		
	47	Color del suelo		
	48	3 m		
9. Estructura del bosque	49	6 m		
	50	9 m		
	51	12 m		
	52	15 m		
	53	18 m		
	54	21 m		
	55	24 m		
	56	27 m		
	57	30 m		
	58	Especie		
11. Productos no maderables	59	Total, de individuos		
	60	Cuadrante		
	61	Cantidad de árboles		
12. Árboles	62	Azimut		



12. Árboles	63	Distancia		
	64	DAP		
	65	H total		
	66	H comercial		
	67	Forma del fuste		
	68	Estado fitosanitario		
	69	Grado o condición sanitaria		
13. Tocones	70	Cantidad de tocones		
	71	Azimut		
	72	Distancia		
	73	Diámetro a la punta		
	74	Altura		
	75	Tiempo estimado de la corta		
	76	Origen del corte		
	77	Estado de descomposición		



12.2 Cantidad de unidades de muestreo (UM) por categoría de uso de la tierra.

La Tabla 68 muestra la cantidad de UM por categoría de uso de la tierra, siendo importante destacar que una misma UM puede contener más de un uso de la tierra, por lo que una UM puede contabilizarse en más de una categoría. Esto debido a que la categoría de uso de la tierra se estableció por cada uno de los 12 cuadrantes, 4 dentro de cada una de las 3 parcelas que conformaron cada UM.

Esta información se incluye como referencia general, con el objetivo de brindar información sobre la distribución del muestreo realizado en el país.

Tabla 68.
Cantidad de UM registradas en el segundo IFN por categorías de uso de la tierra

Categorías de uso de la tierra			Unidades Muestreadas
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
1000) Tierras forestales	1100 Bosque	1110) Bosque latifoliado	150
		1120) Bosque de coníferas	13
		1130) Bosque de mangle	3
		1140) Bosque mixto	52
		1150) Bosque Seco	13
	1200 Plantaciones	1210) Plantaciones forestales latifoliado	14
		1220) Plantaciones forestales de coníferas	4
2000) Tierras de cultivo	2100 Cultivos anuales	2110) Cultivo de caña de azúcar	19
		2120) Cultivo de arroz	1
		2130) Cultivo de granos básicos (frijol y maíz)	60
		2140) Cultivo de Hortalizas	8
		2150) Otros cultivos anuales	23
	2200 Cultivos perennes	2210) Cultivo de Hule	14
		2220) Cultivo de palma africana	7
		2230) Cultivo de café	24
		2240) Cultivo de banano	7
		2250) Otros cultivos perennes	23
	2300 Sistemas agroforestales	2300) Sistemas agroforestales	22
	2400 Barbecho o en descanso	2400) Barbecho ó en descanso	13
3000) Pastizales	3100 Pastos	3100) Pastos	109
	3200 Sistema silvopastoril	3200) Sistemas silvopastoriles	25

4000) Humedales y cuerpos de agua	4100 Laguna	4100) Laguna	11
	4200 Río	4200) Río	12
	4400 Humedal	4400) Humedal	4
5000) Asentamiento	5100 Tejido urbano	5100) Tejido urbano	12
	5200 Infraestructura	5200) Infraestructura	20
6000) Otras tierras	6100 Árboles dispersos	6100) Árboles dispersos	31
	6200 Suelo desnudo	6200) Suelo desnudo	3
	6300 No suelo	6350) Afloramiento rocoso	1
		6360) Rocas	3
	6400 Vegetación arbustiva o natural	6400) Vegetación arbustiva o natural	26
	6500 Matorral o guamil	6500) Matorral o guamil	41

Nota. La cantidad unidades de muestreo son específicamente para las variables que son calculadas a partir de los árboles, por lo que no aplica para madera muerta caída, hojarasca y suelo.

12.3 Especies forestales dentro del bosque identificadas en el IFN

Además de las especies con los mayores valores de importancia, se registró una gran diversidad de especies arbóreas con menor representatividad individual pero que, en conjunto, conforman una proporción significativa de la estructura del bosque. Este resto de especies, incluye 1,279 individuos distribuidos en múltiples unidades de muestreo, con una contribución del 52 % en densidad relativa, 48 % en dominancia relativa y un IVI acumulado del 164 %.

Estas especies cumplen funciones ecológicas importantes, como la regeneración natural, la provisión de hábitat para la fauna, y la diversidad genética del ecosistema forestal. Aunque cada una posee una frecuencia o dominancia individual baja, su presencia conjunta es fundamental para mantener la integridad y resiliencia de los bosques evaluados.

A continuación, el detalle del resto de especies dentro de bosque:

Tabla 69.

Resto de especies forestales dentro del bosque identificadas en el IFN

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Pinus tecunumanii</i>	6	74	31	0.3	0.9	1.3	2.4
2	<i>Eugenia capuli</i>	9	94	20	0.5	1.1	0.8	2.4
3	<i>Guazuma ulmifolia</i>	19	71	13	1.0	0.9	0.5	2.3
4	<i>Laguncularia racemosa</i>	2	100	15	0.1	1.2	0.6	1.9
5	<i>Vochysia guatemalensis</i>	6	74	18	0.3	0.9	0.7	1.9
6	<i>Cordia alliodora</i>	21	44	7	1.1	0.5	0.3	1.9
7	<i>Pouteria belizensis</i>	10	64	14	0.5	0.8	0.6	1.9
8	<i>Pinus ayacahuite</i>	4	38	29	0.2	0.5	1.2	1.8
9	<i>Coccoloba barbadensis</i>	12	58	12	0.6	0.7	0.5	1.8
10	<i>Pinus sp.</i>	7	58	19	0.4	0.7	0.7	1.8
11	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	15	29	17	0.8	0.4	0.7	1.8
12	<i>Terminalia amazonia</i>	17	31	14	0.9	0.4	0.5	1.8
13	<i>Byrsonima crassifolia</i>	17	44	7	0.9	0.5	0.3	1.7
14	<i>Calophyllum brasiliense</i>	14	27	15	0.7	0.3	0.6	1.7
15	<i>Cojoba arborea</i>	11	43	13	0.6	0.5	0.5	1.6
16	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	13	38	11	0.7	0.5	0.4	1.6
17	<i>Quercus sapotifolia</i>	7	60	11	0.4	0.7	0.4	1.5
18	<i>Tectona grandis</i>	3	50	19	0.2	0.6	0.8	1.5
19	<i>Simira salvadorensis</i>	17	27	8	0.9	0.3	0.3	1.5
20	<i>Swartzia cubensis</i>	15	20	12	0.8	0.2	0.5	1.5
21	<i>Schizolobium parahyba</i>	15	31	9	0.8	0.4	0.4	1.5
22	<i>Hedyosmum mexicanum</i>	7	57	11	0.4	0.7	0.4	1.5
23	<i>Krugiodendron ferreum</i>	14	34	8	0.7	0.4	0.3	1.4
24	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	9	42	12	0.5	0.5	0.5	1.4
25	<i>Pinus hartwegii</i>	3	61	14	0.2	0.7	0.6	1.4
26	<i>Pimenta dioica</i>	15	27	8	0.8	0.3	0.3	1.4
27	<i>Rhizophora mangle</i>	3	44	17	0.2	0.5	0.7	1.4
28	<i>Pinus pseudostrobus</i>	7	37	14	0.4	0.5	0.5	1.4
29	<i>Leucaena diversifolia</i>	7	62	5	0.4	0.8	0.2	1.3
30	<i>Bursera bipinnata</i>	9	52	4	0.5	0.6	0.2	1.3
31	<i>Alnus jorullensis</i>	5	42	12	0.3	0.5	0.5	1.2
32	<i>Simarouba glauca</i>	13	23	7	0.7	0.3	0.3	1.2
33	<i>Blomia prisca</i>	9	28	10	0.5	0.3	0.4	1.2
34	<i>Cedrela odorata</i>	9	19	12	0.5	0.2	0.5	1.2
35	<i>Spondias purpurea</i>	7	27	12	0.4	0.3	0.5	1.2

36	<i>Colubrina elliptica</i>	8	42	6	0.4	0.5	0.2	1.2
37	<i>Drypetes brownii</i>	9	28	8	0.5	0.3	0.3	1.1
38	<i>Pouteria sapota</i>	8	27	9	0.4	0.3	0.4	1.1
39	<i>Mariosousa dolichostachya</i>	9	26	8	0.5	0.3	0.3	1.1
40	<i>Quercus conspersa</i>	5	37	9	0.3	0.5	0.4	1.1
41	<i>Arbutus xalapensis</i>	12	23	4	0.6	0.3	0.2	1.1
42	<i>Pinus caribaea</i>	1	37	14	0.1	0.5	0.6	1.1
43	<i>Alseis yucatanensis</i>	8	27	8	0.4	0.3	0.3	1.1
44	<i>Pouteria campechiana</i>	10	23	7	0.5	0.3	0.3	1.1
45	<i>Gymnanthes lucida</i>	7	35	6	0.4	0.4	0.2	1.0
46	<i>Simarouba amara</i>	11	19	6	0.6	0.2	0.2	1.0
47	<i>Quercus skinneri</i>	5	34	9	0.3	0.4	0.4	1.0
48	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	6	33	8	0.3	0.4	0.3	1.0
49	<i>Pachira aquatica</i>	7	27	8	0.4	0.3	0.3	1.0
50	<i>Ochroma pyramidale</i>	8	26	6	0.4	0.3	0.2	0.9
51	<i>Quercus acutifolia</i>	6	28	7	0.3	0.3	0.3	0.9
52	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	9	19	6	0.5	0.2	0.2	0.9
53	<i>Cordia sp.</i>	7	24	7	0.4	0.3	0.3	0.9
54	<i>Coccoloba floribunda</i>	9	23	4	0.5	0.3	0.2	0.9
55	<i>Inga vera</i>	8	22	6	0.4	0.3	0.2	0.9
56	<i>Frangula capreifolia</i>	2	30	11	0.1	0.4	0.4	0.9
57	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	7	21	6	0.4	0.3	0.3	0.9
58	<i>Ulmus mexicana</i>	4	22	10	0.2	0.3	0.4	0.9
59	<i>Wimmeria bartlettii</i>	8	18	5	0.4	0.2	0.2	0.8
60	<i>Caesalpinia velutina</i>	8	22	3	0.4	0.3	0.1	0.8
61	<i>Syzygium jambos</i>	3	24	9	0.2	0.3	0.4	0.8
62	<i>Astronium graveolens</i>	10	11	4	0.5	0.1	0.1	0.8
63	<i>Ficus insipida</i>	4	4	13	0.2	0.1	0.5	0.8
64	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	7	20	4	0.4	0.2	0.2	0.8
65	<i>Inga edulis</i>	6	23	4	0.3	0.3	0.2	0.8
66	<i>Oreopanax xalapensis</i>	5	25	5	0.3	0.3	0.2	0.8
67	<i>Pleradenophora tuerckheimiana</i>	2	3	15	0.1	0.0	0.6	0.7
68	<i>Quercus elliptica</i>	2	30	7	0.1	0.4	0.3	0.7
69	<i>Rehdera penninervia</i>	6	18	6	0.3	0.2	0.2	0.7
70	<i>Cupania guatemalensis</i>	7	20	3	0.4	0.2	0.1	0.7
71	<i>Guatteria anomala</i>	2	26	7	0.1	0.3	0.3	0.7
72	<i>Laetia thamnina</i>	8	15	3	0.4	0.2	0.1	0.7
73	<i>Bucida sp.</i>	2	13	11	0.1	0.2	0.4	0.7

74	<i>Persea sp.</i>	2	19	9	0.1	0.2	0.4	0.7
75	<i>Persea donnell-smithii</i>	7	14	4	0.4	0.2	0.2	0.7
76	<i>Matayba oppositifolia</i>	7	15	4	0.4	0.2	0.1	0.7
77	<i>Byrsonima bucidifolia</i>	7	15	3	0.4	0.2	0.1	0.7
78	<i>Persea americana</i>	4	13	7	0.2	0.2	0.3	0.7
79	<i>Liquidambar styraciflua</i>	4	13	7	0.2	0.2	0.3	0.6
80	<i>Vatairea lundellii</i>	6	8	6	0.3	0.1	0.2	0.6
81	<i>Acacia sp.</i>	5	15	5	0.3	0.2	0.2	0.6
82	<i>Curatella americana</i>	3	23	5	0.2	0.3	0.2	0.6
83	<i>Talisia sp.</i>	6	16	4	0.3	0.2	0.1	0.6
84	<i>Ateleia gummifera</i>	7	14	2	0.4	0.2	0.1	0.6
85	<i>Lonchocarpus rugosus</i>	4	20	5	0.2	0.2	0.2	0.6
86	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	5	18	4	0.3	0.2	0.1	0.6
87	<i>Hampea trilobata</i>	3	26	4	0.2	0.3	0.2	0.6
88	<i>Ocotea veraguensis</i>	4	21	4	0.2	0.3	0.2	0.6
89	<i>Terminalia oblonga</i>	5	8	6	0.3	0.1	0.3	0.6
90	<i>Zuelania guidonia</i>	8	10	2	0.4	0.1	0.1	0.6
91	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	5	22	2	0.3	0.3	0.1	0.6
92	<i>Quercus oleoides</i>	4	22	3	0.2	0.3	0.1	0.6
93	<i>Ostrya virginiana subsp. guatemalensis</i>	4	21	3	0.2	0.3	0.1	0.6
94	<i>Sideroxylon capiri</i>	7	7	4	0.4	0.1	0.1	0.6
95	<i>Tecoma stans</i>	5	18	3	0.3	0.2	0.1	0.6
96	<i>Quercus purulhana</i>	1	16	8	0.1	0.2	0.3	0.6
97	<i>Virola koschnyi</i>	5	8	5	0.3	0.1	0.2	0.6
98	<i>Quercus alba</i>	2	14	7	0.1	0.2	0.3	0.6
99	<i>Clethra pachecoana</i>	5	13	3	0.3	0.2	0.1	0.6
100	<i>Quercus lancifolia</i>	2	18	5	0.1	0.2	0.2	0.5
101	<i>Talisia floresii</i>	6	11	3	0.3	0.1	0.1	0.5
102	<i>Apeiba glabra</i>	4	17	3	0.2	0.2	0.1	0.5
103	<i>Sebastiania tuerckheimiana</i>	3	19	4	0.2	0.2	0.1	0.5
104	<i>Brunellia costaricensis</i>	2	15	6	0.1	0.2	0.2	0.5
105	<i>Bursera graveolens</i>	4	12	4	0.2	0.1	0.2	0.5
106	<i>Aspidosperma sp.</i>	4	11	4	0.2	0.1	0.2	0.5
107	<i>Gmelina arborea</i>	2	15	5	0.1	0.2	0.2	0.5
108	<i>Ocotea sp.</i>	5	11	3	0.3	0.1	0.1	0.5
109	<i>Cecropia angustifolia</i>	3	12	5	0.2	0.1	0.2	0.5
110	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	6	7	2	0.3	0.1	0.1	0.5
111	<i>Oreopanax capitatus</i>	1	18	5	0.1	0.2	0.2	0.5
112	<i>Vachellia collinsii</i>	5	15	1	0.3	0.2	0.0	0.5

113	<i>Quercus crassifolia</i>	4	11	3	0.2	0.1	0.1	0.5
114	<i>Eugenia laevis</i>	3	17	3	0.2	0.2	0.1	0.5
115	<i>Ficus pertusa</i>	3	8	5	0.2	0.1	0.2	0.5
116	<i>Piscidia piscipula</i>	4	11	3	0.2	0.1	0.1	0.5
117	<i>Sapium macrocarpum</i>	1	3	9	0.1	0.0	0.4	0.5
118	<i>Swartzia panamensis</i>	6	8	1	0.3	0.1	0.1	0.5
119	<i>Dialium guianense</i>	4	5	4	0.2	0.1	0.2	0.4
120	<i>Trichilia martiana</i>	4	10	3	0.2	0.1	0.1	0.4
121	<i>Alfaroa guatemalensis</i>	4	11	2	0.2	0.1	0.1	0.4
122	<i>Casimiroa edulis</i>	2	15	4	0.1	0.2	0.2	0.4
123	<i>Hieronyma oblonga</i>	2	10	5	0.1	0.1	0.2	0.4
124	<i>Lonchocarpus sp.</i>	5	9	2	0.3	0.1	0.1	0.4
125	<i>Saurauia villosa</i>	3	15	3	0.2	0.2	0.1	0.4
126	<i>Inga sapindoides</i>	3	13	3	0.2	0.2	0.1	0.4
127	<i>Platymiscium yucatanum</i>	5	7	2	0.3	0.1	0.1	0.4
128	<i>Castilla elastica</i>	3	14	2	0.2	0.2	0.1	0.4
129	<i>Chione venosa</i>	1	15	5	0.1	0.2	0.2	0.4
130	<i>Cordia dodecandra</i>	5	8	2	0.3	0.1	0.1	0.4
131	<i>Quercus acuta</i>	2	15	3	0.1	0.2	0.1	0.4
132	<i>Acosmium panamense</i>	5	7	2	0.3	0.1	0.1	0.4
133	<i>Inga fagifolia</i>	4	10	2	0.2	0.1	0.1	0.4
134	<i>Bourreria mollis</i>	3	12	3	0.2	0.1	0.1	0.4
135	<i>Coccoloba belizensis</i>	3	12	2	0.2	0.1	0.1	0.4
136	<i>Trema micrantha</i>	3	11	3	0.2	0.1	0.1	0.4
137	<i>Trichilia glabra</i>	4	10	2	0.2	0.1	0.1	0.4
138	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	5	7	1	0.3	0.1	0.1	0.4
139	<i>Quercus polymorpha</i>	1	13	4	0.1	0.2	0.2	0.4
140	<i>Tabebuia ochracea</i>	4	4	3	0.2	0.1	0.1	0.4
141	<i>Heliocarpus mexicanus</i>	3	13	1	0.2	0.2	0.1	0.4
142	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	2	13	2	0.1	0.2	0.1	0.4
143	<i>Leucaena leucocephala</i>	2	4	5	0.1	0.1	0.2	0.4
144	<i>Myrsine coriacea</i>	1	16	3	0.1	0.2	0.1	0.4
145	<i>Zanthoxylum ekmanii</i>	3	10	2	0.2	0.1	0.1	0.4
146	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	2	9	3	0.1	0.1	0.1	0.3
147	<i>Coccoloba caracasana</i>	1	9	4	0.1	0.1	0.2	0.3
148	<i>Diospyros salicifolia</i>	5	5	0	0.3	0.1	0.0	0.3
149	<i>Licaria excelsa</i>	1	5	5	0.1	0.1	0.2	0.3
150	<i>Aspidosperma stegomeris</i>	4	5	1	0.2	0.1	0.1	0.3

151	<i>Nectandra sp.</i>	3	8	2	0.2	0.1	0.1	0.3
152	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	3	9	1	0.2	0.1	0.1	0.3
153	<i>Ximenia americana</i>	3	8	2	0.2	0.1	0.1	0.3
154	<i>Bumelia mayana</i>	3	3	3	0.2	0.0	0.1	0.3
155	<i>Calliandra mexicana</i>	3	8	2	0.2	0.1	0.1	0.3
156	<i>Citrus aurantium</i>	4	5	1	0.2	0.1	0.1	0.3
157	<i>Nectandra globosa</i>	3	4	3	0.2	0.1	0.1	0.3
158	<i>Swietenia humilis</i>	3	9	1	0.2	0.1	0.1	0.3
159	<i>Trophis racemosa</i>	4	6	1	0.2	0.1	0.0	0.3
160	<i>Jatropha curcas</i>	4	5	1	0.2	0.1	0.0	0.3
161	<i>Quercus segoviensis</i>	2	12	1	0.1	0.1	0.1	0.3
162	<i>Acacia cookii</i>	4	5	1	0.2	0.1	0.0	0.3
163	<i>Annona squamosa</i>	4	5	1	0.2	0.1	0.0	0.3
164	<i>Guettarda macrosperma</i>	3	7	1	0.2	0.1	0.1	0.3
165	<i>Acacia pennatula</i>	2	11	1	0.1	0.1	0.1	0.3
166	<i>Allophylus camptostachys</i>	4	4	1	0.2	0.1	0.0	0.3
167	<i>Allophylus racemosus</i>	3	7	1	0.2	0.1	0.1	0.3
168	<i>Blepharidium guatemalense</i>	1	12	2	0.1	0.1	0.1	0.3
169	<i>Conostegia xalapensis</i>	1	9	3	0.1	0.1	0.1	0.3
170	<i>Gliricidia sp.</i>	3	5	2	0.2	0.1	0.1	0.3
171	<i>Ledenbergia macrantha Standl.</i>	1	12	2	0.1	0.1	0.1	0.3
172	<i>Licaria peckii</i>	3	6	1	0.2	0.1	0.1	0.3
173	<i>Lysiloma bagamense</i>	3	4	2	0.2	0.1	0.1	0.3
174	<i>Mouriri sp.</i>	2	10	1	0.1	0.1	0.1	0.3
175	<i>Clethra mexicana</i>	4	4	1	0.2	0.1	0.0	0.3
176	<i>Tabebuia rosea</i>	3	7	1	0.2	0.1	0.0	0.3
177	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	4	4	1	0.2	0.1	0.0	0.3
178	<i>Magnolia mexicana</i>	2	8	2	0.1	0.1	0.1	0.3
179	<i>Poeppigia procera</i>	2	8	2	0.1	0.1	0.1	0.3
180	<i>Catalpa bignonioides</i>	2	7	2	0.1	0.1	0.1	0.3
181	<i>Ceiba aesculifolia</i>	1	13	1	0.1	0.2	0.0	0.3
182	<i>Cinchona officinalis</i>	3	5	1	0.2	0.1	0.0	0.3
183	<i>Lonchocarpus purpureus</i>	1	6	3	0.1	0.1	0.1	0.3
184	<i>Perymenium grande Hemsl.</i>	3	6	1	0.2	0.1	0.0	0.3
185	<i>Sideroxylon capiri subsp. tempisque</i>	3	3	1	0.2	0.0	0.1	0.3
186	<i>Toxicodendron striatum</i>	2	8	1	0.1	0.1	0.1	0.3

187	<i>Coccoloba sp.</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
188	<i>Sapium lateriflorum</i>	2	5	2	0.1	0.1	0.1	0.2
189	<i>Saurauia aspera</i>	3	5	1	0.2	0.1	0.0	0.2
190	<i>Trichospermum mexicanum</i>	1	7	3	0.1	0.1	0.1	0.2
191	<i>Avicennia germinans</i>	1	8	2	0.1	0.1	0.1	0.2
192	<i>Calliandra carcerea</i>	1	7	2	0.1	0.1	0.1	0.2
193	<i>Erythrina berteroana</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
194	<i>Faramaea occidentalis</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
195	<i>Lysiloma acapulcense</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
196	<i>Ocotea lundelli</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
197	<i>Quercus oocarpa</i>	2	5	2	0.1	0.1	0.1	0.2
198	<i>Rhus striata</i>	2	7	1	0.1	0.1	0.1	0.2
199	<i>Xylopia frutescens</i>	2	6	1	0.1	0.1	0.1	0.2
200	<i>Acacia auriculiformis</i>	2	6	1	0.1	0.1	0.1	0.2
201	<i>Acacia confusa</i>	2	6	1	0.1	0.1	0.1	0.2
202	<i>Crataegus mexicana</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
203	<i>Diphysa americana</i>	3	3	1	0.2	0.0	0.0	0.2
204	<i>Gyranthera micrantha</i>	1	8	2	0.1	0.1	0.1	0.2
205	<i>Mosannonna depressa</i>	3	4	1	0.2	0.1	0.0	0.2
206	<i>Theobroma bicolor</i>	1	9	2	0.1	0.1	0.1	0.2
207	<i>Alchornea integrifolia</i>	3	3	0	0.2	0.0	0.0	0.2
208	<i>Bauhinia unguolata</i>	3	3	1	0.2	0.0	0.0	0.2
209	<i>Eugenia sp.</i>	3	3	0	0.2	0.0	0.0	0.2
210	<i>Forestiera durangensis</i>	1	9	1	0.1	0.1	0.1	0.2
211	<i>Guarea glabra</i>	3	3	0	0.2	0.0	0.0	0.2
212	<i>Hippomane mancinella</i>	2	6	1	0.1	0.1	0.0	0.2
213	<i>Hirtella americana</i>	3	3	1	0.2	0.0	0.0	0.2
214	<i>Licania platypus</i>	3	3	1	0.2	0.0	0.0	0.2
215	<i>Morella cerifera</i>	1	9	1	0.1	0.1	0.1	0.2
216	<i>Myrica cerifera</i>	1	10	1	0.1	0.1	0.0	0.2
217	<i>Plumeria rubra</i>	3	3	0	0.2	0.0	0.0	0.2
218	<i>Sloanea terniflora</i>	1	2	3	0.1	0.0	0.1	0.2
219	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	3	3	0	0.2	0.0	0.0	0.2
220	<i>Eugenia bumelioides</i>	1	6	2	0.1	0.1	0.1	0.2
221	<i>Quercus pacayana</i>	1	4	2	0.1	0.1	0.1	0.2
222	<i>Ceiba pentandra</i>	2	2	2	0.1	0.0	0.1	0.2
223	<i>Erblichia odorata</i>	2	6	1	0.1	0.1	0.0	0.2
224	<i>Ficus maxima</i>	2	4	1	0.1	0.1	0.0	0.2
225	<i>Ficus sp.</i>	2	4	1	0.1	0.1	0.0	0.2
226	<i>Sideroxylon salicifolium</i>	2	4	1	0.1	0.1	0.0	0.2

227	<i>Trichospermum sp.</i>	1	4	2	0.1	0.1	0.1	0.2
228	<i>Annona sp.</i>	2	3	1	0.1	0.0	0.0	0.2
229	<i>Buddleja megalcephala</i>	1	5	1	0.1	0.1	0.1	0.2
230	<i>Prunus serotina subsp. capuli</i>	2	3	1	0.1	0.0	0.0	0.2
231	<i>Swietenia sp.</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.1	0.2
232	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	3	1	0.1	0.0	0.0	0.2
233	<i>Billia rosea</i>	1	6	1	0.1	0.1	0.0	0.2
234	<i>Croton reflexifolius</i>	2	4	0	0.1	0.1	0.0	0.2
235	<i>Diospyros ebenum</i>	1	7	1	0.1	0.1	0.0	0.2
236	<i>Erythrina folkersii</i>	2	3	0	0.1	0.0	0.0	0.2
237	<i>Hernandia sonora</i>	1	2	2	0.1	0.0	0.1	0.2
238	<i>Ilex guianensis</i>	1	3	2	0.1	0.0	0.1	0.2
239	<i>Pithecellobium sp.</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.0	0.2
240	<i>Qualea paraensis</i>	1	3	2	0.1	0.0	0.1	0.2
241	<i>Saurauia laevigata</i>	1	4	2	0.1	0.1	0.1	0.2
242	<i>Terminalia catappa</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.0	0.2
243	<i>Anacardium sp.</i>	1	5	1	0.1	0.1	0.0	0.2
244	<i>Bocconia arborea</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.1	0.2
245	<i>Calliandra houstoniana</i>	1	7	0	0.1	0.1	0.0	0.2
246	<i>Genipa americana</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.0	0.2
247	<i>Vismia baccifera</i>	1	2	2	0.1	0.0	0.1	0.2
248	<i>Amyris sylvatica</i>	1	4	1	0.1	0.1	0.0	0.1
249	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	1	2	2	0.1	0.0	0.1	0.1
250	<i>Erythrina macrophylla</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
251	<i>Guarea sp.</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
252	<i>Matayba sp.</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
253	<i>Oreopanax pycnocarpus</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
254	<i>Prunus lundelliana</i>	2	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
255	<i>Psidium sp.</i>	1	4	1	0.1	0.1	0.0	0.1
256	<i>Tabebuia donell-smithii</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
257	<i>Andira galeottiana</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
258	<i>Andira inermis</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
259	<i>Casimiroa emarginata</i>	1	5	1	0.1	0.1	0.0	0.1
260	<i>Cecropia obtusifolia</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
261	<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
262	<i>Coccoloba reflexiflora</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
263	<i>Croton draco</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
264	<i>Karwinskia calderonii</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1

265	<i>Melicoccus oliviformis</i>	1	4	1	0.1	0.1	0.0	0.1
266	<i>Sapindus saponaria</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
267	<i>Symphonia globulifera</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
268	<i>Tabernaemontana grandiflora</i>	2	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
269	<i>Vachelia cornigera</i>	1	5	1	0.1	0.1	0.0	0.1
270	<i>Calatola laevigata</i>	1	4	1	0.1	0.1	0.0	0.1
271	<i>Clethra vicentina</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
272	<i>Hevea brasiliensis</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
273	<i>Annona muricata</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
274	<i>Bellucia grossularioides</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
275	<i>Eschweilera juruensis</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
276	<i>Licaria sp.</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
277	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
278	<i>Pseudolmedia glabrata</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
279	<i>Quercus tristis</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
280	<i>Thouinia sp.</i>	1	3	1	0.1	0.0	0.0	0.1
281	<i>Triplaris americana</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
282	<i>Vachellia pennatula</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
283	<i>Chrysobalanus icaco</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
284	<i>Hauya elegans subsp. cornuta</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
285	<i>Pithecellobium dulce</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
286	<i>Plumeria sp.</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
287	<i>Quercus benthamii</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
288	<i>Quercus robur</i>	1	3	0	0.1	0.0	0.0	0.1
289	<i>Zollernia tango</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
290	<i>Allophylus cominia</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
291	<i>Annona reticulata</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
292	<i>Cassia sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
293	<i>Celtis trinervia</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
294	<i>Cordia alba</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
295	<i>Dacryodes olivifera</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
296	<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
297	<i>Heliocarpus americanus</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
298	<i>Inga sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
299	<i>Lysiloma sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
300	<i>Mouriri barinensis</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
301	<i>Quararibea cordata</i>	1	2	1	0.1	0.0	0.0	0.1
302	<i>Sebastiania adenophora</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
303	<i>Theobroma cacao</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1

304	<i>Thouinidium decandrum</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
305	<i>Trichilia americana</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
306	<i>Belotia campbellii</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
307	<i>Brosimum costaricanum</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
308	<i>Bursera excelsa</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
309	<i>Cascabela thevetia</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
310	<i>Cavanillesia platanifolia</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
311	<i>Cestrum racemosum</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
312	<i>Clethra sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
313	<i>Crataegus arcana</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
314	<i>Furcraea guatemalensis</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
315	<i>Guarea kunthiana</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
316	<i>Inga paterno</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
317	<i>Luehea sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
318	<i>Nephelium lappaceum</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
319	<i>Pouteria glomerata</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
320	<i>Pouteria sp.</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
321	<i>Quercus crispipilis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
322	<i>Schefflera morototoni</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
323	<i>Sickingia salvadorensis</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
324	<i>Sideroxylon persimile</i>	1	1	1	0.1	0.0	0.0	0.1
325	<i>Sterculia apetala</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
326	<i>Weinmannia wercklei</i>	1	2	0	0.1	0.0	0.0	0.1
327	<i>Acacia mearnsii</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
328	<i>Acalypha skutchii</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
329	<i>Albizia adinocephala</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
330	<i>Albizia saman</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
331	<i>Alnus nepalensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
332	<i>Amanoa sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
333	<i>Annona purpurea</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
334	<i>Apeiba tibourbou</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
335	<i>Astronium sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
336	<i>Ateleia herbert-smithii</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
337	<i>Bauhinia seleriana</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
338	<i>Brachychiton discolor</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
339	<i>Bucida macrostachya</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
340	<i>Buddleja americana</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
341	<i>Bursera diversifolia</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
342	<i>Calycophyllum multiflorum</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
343	<i>Calyptranthes paxillata</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1

344	<i>Capparis sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
345	<i>Carapa guianensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
346	<i>Casearia nitida</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
347	<i>Chrysophyllum cainito</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
348	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
349	<i>Coccoloba acapulcensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
350	<i>Colubrina arborescens</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
351	<i>Coutaportla guatemalensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
352	<i>Crescentia alata</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
353	<i>Cupania belizensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
354	<i>Dalbergia granadillo</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
355	<i>Dalbergia stevensonii</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
356	<i>Ficus cotinifolia</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
357	<i>Forchhammeria pallida</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
358	<i>Goetzea elegans</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
359	<i>Guatteria sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
360	<i>Hymenaea courbaril</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
361	<i>Inga densiflora</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
362	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
363	<i>Jatropha gaumeri</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
364	<i>Lysiloma aurita Benth</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
365	<i>Magnolia guatemalensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
366	<i>Mangifera indica</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
367	<i>Myroxylon balsamum</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
368	<i>Nectandra cuspidata</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
369	<i>Oreopanax sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
370	<i>Palicourea eurycarpa</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
371	<i>Piper aduncum</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
372	<i>Pleradenophora longicuspis</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
373	<i>Pleradenophora sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
374	<i>Prunus avium</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
375	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
376	<i>Psidium guajava</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
377	<i>Quercus crispifolia</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
378	<i>Schizolobium amazonicum</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
379	<i>Tamarindus indica</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
380	<i>Terminalia macrostachya</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1

381	<i>Thouinia canescens</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
382	<i>Ulmus sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
383	<i>Vitex sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	0.0	0.1
384	<i>Acacia picachensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
385	<i>Adelia barbinervis</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
386	<i>Annona cherimola</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
387	<i>Blakea standleyana</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
388	<i>Buddleja nitida</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
389	<i>Bursera heteresthes</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
390	<i>Byrsonima spicata</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
391	<i>Casearia sylvestris</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
392	<i>Crescentia cujete</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
393	<i>Diospyros sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
394	<i>Erythrina guatemalensis</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
395	<i>Hampea stipitata</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
396	<i>Hedyosmum bonplandianum</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
397	<i>Ilex discolor</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
398	<i>Juniperus standleyi</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
399	<i>Licania hypoleuca</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
400	<i>Malmea depressa</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
401	<i>Malpighia glabra</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
402	<i>Mortoniiodendron guatemalense</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
403	<i>Pouteria viridis</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
404	<i>Prunus serotina</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
405	<i>Randia armata</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
406	<i>Tabernaemontana flavicans</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
407	<i>Vismia camparaguey</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
408	<i>Ximenia sp.</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
409	<i>Zanthoxylum fagara</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1
410	<i>Zanthoxylum panamense</i>	1	1	0	0.1	0.0	-	0.1

12.4 Resto de especies arbóreas en otros usos de la tierra en el IFN

Las categorías fuera de tierras forestales, se registró una gran diversidad de especies arbóreas asociadas a otros usos del suelo. Si bien estas especies no presentan altos valores individuales de frecuencia o dominancia, en conjunto representan una proporción significativa de la estructura arbórea en estos entornos. Su distribución refleja tanto procesos de regeneración natural como prácticas agroforestales y usos tradicionales del paisaje.

A continuación se detallan las especies forestales y arbóreas en otros usos de la tierra:

Tabla 70.
Resto de especies arbóreas en otros usos de la tierra.

No.	Nombre científico	Unidades de muestreo donde está presente la especie	Número total de individuos	Área basal total en (m²)	Frecuencia relativa (%)	Densidad relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI especie (%)
1	<i>Ficus insipida</i>	4	11	13	0.54	0.43	1.66	2.63
2	<i>Inga edulis</i>	6	25	6	0.81	0.98	0.71	2.50
3	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	8	11	7	1.09	0.43	0.88	2.40
4	<i>Inga fagifolia</i>	7	19	5	0.95	0.74	0.57	2.26
5	<i>Erythrina berteroa</i>	6	17	6	0.81	0.67	0.71	2.19
6	<i>Pinus montezumae</i>	5	18	7	0.68	0.70	0.81	2.19
7	<i>Vitex gaumeri</i>	9	12	4	1.22	0.47	0.48	2.17
8	<i>Schizolobium parahyba</i>	7	14	3	0.95	0.55	0.42	1.92
9	<i>Ficus crassiuscula</i>	2	6	10	0.27	0.23	1.21	1.71
10	<i>Terminalia buceras</i>	4	8	6	0.54	0.31	0.76	1.61
11	<i>Quercus crassifolia</i>	4	16	3	0.54	0.63	0.41	1.58
12	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	5	13	3	0.68	0.51	0.39	1.58
13	<i>Byrsonima bucidifolia</i>	2	8	7	0.27	0.31	0.89	1.47
14	<i>Vatairea lundellii</i>	4	6	5	0.54	0.23	0.67	1.44
15	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	5	9	3	0.68	0.35	0.37	1.40
16	<i>Metopium brownei</i>	5	11	2	0.68	0.43	0.24	1.35
17	<i>Sapium glandulosum</i>	2	8	6	0.27	0.31	0.75	1.33
18	<i>Alnus jorullensis</i>	5	10	2	0.68	0.39	0.24	1.31
19	<i>Hymenaea courbaril</i>	4	4	5	0.54	0.16	0.61	1.31
20	<i>Pinus hartwegii</i>	4	12	2	0.54	0.47	0.30	1.31
21	<i>Terminalia oblonga</i>	3	11	4	0.41	0.43	0.44	1.28
22	<i>Perymenium grande Hemsl.</i>	4	10	3	0.54	0.39	0.34	1.27
23	<i>Pinus pseudostrobus</i>	3	10	4	0.41	0.39	0.46	1.26
24	<i>Tabebuia rosea</i>	5	8	2	0.68	0.31	0.27	1.26
25	<i>Salix humboldtiana</i>	2	8	5	0.27	0.31	0.66	1.24
26	<i>Crescentia cujete</i>	3	7	4	0.41	0.27	0.53	1.21
27	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	5	6	2	0.68	0.23	0.26	1.17
28	<i>Eriobotrya japonica</i>	5	7	1	0.68	0.27	0.16	1.11

29	<i>Genipa americana</i>	4	9	2	0.54	0.35	0.21	1.10
30	<i>Sambucus canadensis</i>	4	5	3	0.54	0.20	0.35	1.09
31	<i>Swietenia macrophylla</i>	4	7	2	0.54	0.27	0.28	1.09
32	<i>Ochroma pyramidale</i>	3	10	2	0.41	0.39	0.28	1.08
33	<i>Acosmium panamense</i>	2	6	4	0.27	0.23	0.55	1.05
34	<i>Croton sp.</i>	1	11	4	0.13	0.43	0.49	1.05
35	<i>Lysiloma aurita Benth</i>	4	7	2	0.54	0.27	0.24	1.05
36	<i>Prunus serotina subsp. capuli</i>	4	5	2	0.54	0.20	0.31	1.05
37	<i>Ficus maxima</i>	3	3	4	0.41	0.12	0.51	1.04
38	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	3	7	3	0.41	0.27	0.34	1.02
39	<i>Coccoloba barbadensis</i>	1	11	4	0.13	0.43	0.44	1.00
40	<i>Sapindus saponaria</i>	4	6	2	0.54	0.23	0.23	1.00
41	<i>Cinchona officinalis</i>	1	11	3	0.13	0.43	0.43	0.99
42	<i>Ceiba pentandra</i>	2	2	5	0.27	0.08	0.58	0.93
43	<i>Pachira aquatica</i>	3	7	2	0.41	0.27	0.22	0.90
44	<i>Prunus serotina</i>	4	4	2	0.54	0.16	0.20	0.90
45	<i>Protium copal</i>	3	7	1	0.41	0.27	0.18	0.86
46	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	3	7	1	0.41	0.27	0.18	0.86
47	<i>Psidium guajava</i>	4	6	1	0.54	0.23	0.08	0.85
48	<i>Salix alba</i>	1	5	4	0.13	0.20	0.50	0.83
49	<i>Pinus sp.</i>	3	4	2	0.41	0.16	0.22	0.79
50	<i>Litsea glaucescens</i>	2	6	2	0.27	0.23	0.27	0.77
51	<i>Cupressus lusitanica</i>	3	5	1	0.41	0.20	0.15	0.76
52	<i>Leucaena diversifolia</i>	3	6	1	0.41	0.23	0.11	0.75
53	<i>Calophyllum brasiliense</i>	3	4	1	0.41	0.16	0.16	0.73
54	<i>Clethra pachecoana</i>	2	8	1	0.27	0.31	0.15	0.73
55	<i>Tecoma stans</i>	2	6	2	0.27	0.23	0.21	0.71
56	<i>Clusia flava</i>	1	9	2	0.13	0.35	0.21	0.69
57	<i>Croton niveus</i>	2	6	1	0.27	0.23	0.18	0.68
58	<i>Manilkara zapota</i>	3	4	1	0.41	0.16	0.11	0.68
59	<i>Trichospermum mexicanum</i>	1	6	3	0.13	0.23	0.31	0.67
60	<i>Clusia salvinii</i>	1	2	4	0.13	0.08	0.44	0.65

61	<i>Inga laurina</i>	3	4	1	0.41	0.16	0.08	0.65
62	<i>Mariosousa dolichostachya</i>	1	5	3	0.13	0.20	0.32	0.65
63	<i>Saurauia aspera</i>	2	6	1	0.27	0.23	0.15	0.65
64	<i>Astronium graveolens</i>	3	3	1	0.41	0.12	0.11	0.64
65	<i>Licania platypus</i>	3	3	1	0.41	0.12	0.11	0.64
66	<i>Vochysia guatemalensis</i>	2	3	2	0.27	0.12	0.25	0.64
67	<i>Acacia mearnsii</i>	2	6	1	0.27	0.23	0.13	0.63
68	<i>Terminalia amazonia</i>	3	3	1	0.41	0.12	0.10	0.63
69	<i>Vachellia hindsii</i>	2	5	1	0.27	0.20	0.16	0.63
70	<i>Buddleja nitida</i>	2	6	1	0.27	0.23	0.11	0.61
71	<i>Caesalpinia velutina</i>	2	5	1	0.27	0.20	0.14	0.61
72	<i>Piscidia piscipula</i>	2	5	1	0.27	0.20	0.14	0.61
73	<i>Heliocarpus mexicanus</i>	2	3	2	0.27	0.12	0.20	0.59
74	<i>Manilkara sp.</i>	2	2	2	0.27	0.08	0.24	0.59
75	<i>Saurauia villosa</i>	2	5	1	0.27	0.20	0.09	0.56
76	<i>Annona reticulata</i>	1	5	2	0.13	0.20	0.22	0.55
77	<i>Ficus aurea</i>	2	4	1	0.27	0.16	0.12	0.55
78	<i>Arbutus xalapensis</i>	2	4	1	0.27	0.16	0.10	0.53
79	<i>Swietenia humilis</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.14	0.53
80	<i>Zanthoxylum fagara</i>	1	5	2	0.13	0.20	0.20	0.53
81	<i>Allophylus racemosus</i>	1	6	1	0.13	0.23	0.16	0.52
82	<i>Amyris barbata</i>	1	6	1	0.13	0.23	0.16	0.52
83	<i>Erythrina fusca</i>	1	7	1	0.13	0.27	0.12	0.52
84	<i>Nectandra globosa</i>	1	5	1	0.13	0.20	0.18	0.51
85	<i>Virola koschnyi</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.16	0.51
86	<i>Lonchocarpus sp.</i>	2	4	1	0.27	0.16	0.07	0.50
87	<i>Swinglea lutinosa</i>	1	6	1	0.13	0.23	0.14	0.50
88	<i>Toxicodendron striatum</i>	2	4	1	0.27	0.16	0.07	0.50
89	<i>Maclura tinctoria</i>	2	4	0	0.27	0.16	0.06	0.49
90	<i>Quercus crispipilis</i>	1	4	2	0.13	0.16	0.20	0.49
91	<i>Swartzia panamensis</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.10	0.49
92	<i>Coccoloba acapulcensis</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.09	0.48
93	<i>Cordia gerascanthus</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.12	0.47

94	<i>Eugenia guatemalensis</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.12	0.47
95	<i>Haematoxylum campechianum</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.08	0.47
96	<i>Inga cookii</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.08	0.47
97	<i>Vachellia farnesiana</i>	2	4	0	0.27	0.16	0.04	0.47
98	<i>Vachellia pennatula</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.08	0.47
99	<i>Cecropia angustifolia</i>	2	3	1	0.27	0.12	0.07	0.46
100	<i>Crescentia alata</i>	1	3	2	0.13	0.12	0.21	0.46
101	<i>Erythrina poeppigiana</i>	1	2	2	0.13	0.08	0.25	0.46
102	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.11	0.46
103	<i>Hieronyma oblonga</i>	2	3	0	0.27	0.12	0.06	0.45
104	<i>Pouteria sapota</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.09	0.44
105	<i>Brunellia costaricensis</i>	1	5	1	0.13	0.20	0.10	0.43
106	<i>Karwinskia calderonii</i>	1	4	1	0.13	0.16	0.14	0.43
107	<i>Oreopanax xalapensis</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.08	0.43
108	<i>Persea donnell-smithii</i>	2	3	0	0.27	0.12	0.04	0.43
109	<i>Andira inermis</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.07	0.42
110	<i>Dendropanax arboreus</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.07	0.42
111	<i>Pinus ayacahuite</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.07	0.42
112	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	2	2	1	0.27	0.08	0.07	0.42
113	<i>Vachellia collinsii</i>	2	3	0	0.27	0.12	0.03	0.42
114	<i>Acacia sp.</i>	2	2	0	0.27	0.08	0.06	0.41
115	<i>Jatropha curcas</i>	2	2	0	0.27	0.08	0.05	0.40
116	<i>Gyranthera sp.</i>	1	4	1	0.13	0.16	0.10	0.39
117	<i>Syzygium jambos</i>	1	4	1	0.13	0.16	0.10	0.39
118	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.17	0.38
119	<i>Dalbergia Retusa</i>	1	1	2	0.13	0.04	0.21	0.38
120	<i>Rhus terebinthifolia</i>	2	2	0	0.27	0.08	0.03	0.38
121	<i>Citrus aurantium</i>	1	4	1	0.13	0.16	0.08	0.37
122	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	1	4	1	0.13	0.16	0.08	0.37
123	<i>Cojoba arborea</i>	1	1	2	0.13	0.04	0.19	0.36
124	<i>Tabebuia ochracea</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.15	0.36
125	<i>Sapium lateriflorum</i>	1	3	1	0.13	0.12	0.10	0.35

126	<i>Tabebuia donell-smithii</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.18	0.35
127	<i>Gmelina arborea</i>	1	3	1	0.13	0.12	0.09	0.34
128	<i>Lysiloma acapulcense</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.13	0.34
129	<i>Conostegia icosandra</i>	1	3	1	0.13	0.12	0.08	0.33
130	<i>Calliandra houstoniana</i>	1	3	1	0.13	0.12	0.07	0.32
131	<i>Acacia deanei</i>	1	3	1	0.13	0.12	0.06	0.31
132	<i>Bourreria mollis</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.10	0.31
133	<i>Conocarpus erectus</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.10	0.31
134	<i>Pleradenophora tuerckheimiana</i>	1	3	0	0.13	0.12	0.06	0.31
135	<i>Quercus conspersa</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.10	0.31
136	<i>Calyptranthes chytraculia</i>	1	3	0	0.13	0.12	0.05	0.30
137	<i>Pouteria belizensis</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.09	0.30
138	<i>Pouteria amygdalina</i>	1	3	0	0.13	0.12	0.04	0.29
139	<i>Trichilia breviflora</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.08	0.29
140	<i>Sideroxylon obtusifolium subsp. buxifolium</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.11	0.28
141	<i>Sebastiania adenophora</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.10	0.27
142	<i>Vachelia cornigera</i>	1	2	1	0.13	0.08	0.06	0.27
143	<i>Curatella americana</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.05	0.26
144	<i>Diphysa spinosa</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.05	0.26
145	<i>Erythrina falkersii</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.09	0.26
146	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.05	0.26
147	<i>Simarouba glauca</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.05	0.26
148	<i>Acacia auriculiformis</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
149	<i>Annona purpurea</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
150	<i>Blomia prisca</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
151	<i>Bucida macrostachya</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.08	0.25
152	<i>Diospyros bumelioides</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
153	<i>Erythrina guatemalensis</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
154	<i>Ostrya virginiana subsp. guatemalensis</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.04	0.25
155	<i>Quercus insignis</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.08	0.25

156	<i>Acacia confusa</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
157	<i>Andira galeottiana</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
158	<i>Annona squamosa</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
159	<i>Casimiroa edulis</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.07	0.24
160	<i>Cordia dentata</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
161	<i>Nectandra cuspidata</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
162	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.03	0.24
163	<i>Tamarindus indica</i>	1	1	1	0.13	0.04	0.07	0.24
164	<i>Adenanthera microsperma</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.06	0.23
165	<i>Prunus sp.</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.02	0.23
166	<i>Annona cherimola</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.01	0.22
167	<i>Cassia grandis</i>	1	2	0	0.13	0.08	0.01	0.22
168	<i>Citrus sinensis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.05	0.22
169	<i>Acacia pennatula</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.04	0.21
170	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.04	0.21
171	<i>Colubrina elliptica</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.04	0.21
172	<i>Licaria peckii</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.04	0.21
173	<i>Albizia adinocephala</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
174	<i>Ampelocera hottlei</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
175	<i>Brosimum alicastrum</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
176	<i>Cecropia obtusifolia</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
177	<i>Ceiba aesculifolia</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
178	<i>Clusia lusoria</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
179	<i>Coccoloba belizensis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
180	<i>Crataegus arcana</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
181	<i>Exostema mexicanum</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
182	<i>Inga sapindoides</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
183	<i>Leucaena leucocephala</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
184	<i>Ocotea sp.</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
185	<i>Prunus amygdalus</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
186	<i>Quercus elliptica</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
187	<i>Rehdera penninervia</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
188	<i>Senna bicapsularis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
189	<i>Simarouba amara</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
190	<i>Trichospermum sp.</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20

191	<i>Vismia baccifera</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.03	0.20
192	<i>Allophylus camptostachys</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
193	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
194	<i>Annona muricata</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
195	<i>Bellucia grossularioides</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
196	<i>Bixa orellana</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
197	<i>Bocconia arborea</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
198	<i>Bursera graveolens</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
199	<i>Calycophyllum multiflorum</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
200	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
201	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
202	<i>Cordia alba</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
203	<i>Cordia dodecandra</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
204	<i>Cordia sp.</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
205	<i>Croton draco</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
206	<i>Erblichia odorata</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
207	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
208	<i>Eysenhardtia adenostylis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
209	<i>Guarea glabra</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
210	<i>Guazuma crinita</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
211	<i>Licaria excelsa</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
212	<i>Miconia hondurensis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
213	<i>Pimenta dioica</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
214	<i>Prunus persica</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
215	<i>Prunus salicina</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
216	<i>Quercus sapotifolia</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
217	<i>Simira salvadorensis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.02	0.19
218	<i>Annona sp.</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
219	<i>Coccoloba caracasana</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
220	<i>Ficus cotinifolia</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
221	<i>Laurus nobilis</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
222	<i>Myrsine coriacea</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
223	<i>Quercus skinneri</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
224	<i>Terminalia catappa</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18

225	<i>Theobroma bicolor</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
226	<i>Vismia camparaguey</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.18
227	<i>Citrus limon</i>	1	1	0	0.13	0.04	0.01	0.17

12.5 Ecuaciones alométricas de volumen de madera en rollo total

En la tabla No. 71 se muestran las ecuaciones alométricas utilizadas para estimar volumen de madera en rollo total, es decir, únicamente el volumen del fuste del árbol, sin incluir ramas.

Donde:

Vrt = volumen rollo total con corteza, excluye las ramas (para latifoliadas)

V= volumen total sin corteza (para coníferas)

D = diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros

H = altura total del árbol en metros.

Tabla 71.

Ecuaciones alométricas de volumen total con y sin corteza desde la base a la altura total

Estrato	Formula	Especie
Norte	$Vrt = \exp(-10.06001321 + 1.98160359 \cdot \log(D) + 1.03695598 \cdot \log(H))$	<i>Swietenia macrophylla</i>
	$Vrt = \exp(-10.09141259 + 1.93246219 \cdot \log(D) + 1.06194865 \cdot \log(H))$	<i>Spondias mombin</i>
	$Vrt = \exp(-10.22400164 + 1.93392327 \cdot \log(D) + 1.12044335 \cdot \log(H))$	<i>Ceiba aesculifolia</i> , <i>Ceiba pentandra</i>
	$Vrt = \exp(-8.81312542 + 1.56449274 \cdot \log(D) + 1.08361129 \cdot \log(H))$	<i>Metopium brownei</i>

		<p> <i>Acacia auriculiformis</i>, <i>Acacia confusa</i>, <i>Acacia cookii</i>, <i>Acalypha skutchii</i>, <i>Albizia saman</i>, <i>Alchornea integrifolia</i>, <i>Alfaroa guatemalensis</i>, <i>Allophylus camptostachys</i>, <i>Allophylus cominia</i>, <i>Allophylus racemosus</i>, <i>Alseis yucatanensis</i>, <i>Amyris sylvatica</i>, <i>Andira galeottiana</i>, <i>Annona purpurea</i>, <i>Annona sp.</i>, <i>Annona squamosa</i>, <i>Apeiba glabra</i>, <i>Arbutus xalapensis</i>, <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>, <i>Aspidosperma macrocarpon</i>, <i>Aspidosperma megalocarpon</i>, <i>Aspidosperma sp.</i>, <i>Aspidosperma stegomeris</i>, <i>Ateleia gummiifera</i>, <i>Ateleia herbert-smithii</i>, <i>Bauhinia unguolata</i>, <i>Bellucia grossularioides</i>, <i>Belotia campbellii</i>, <i>Bixa orellana</i>, <i>Blomia prisca</i>, <i>Bocconia arborea</i>, <i>Bourreria mollis</i>, <i>Brachychiton discolor</i>, <i>Brosimum costaricanum</i>, <i>Bucida sp.</i>, <i>Bumelia mayana</i>, <i>Bursera bipinnata</i>, <i>Bursera excelsa</i>, <i>Bursera graveolens</i>, <i>Bursera heteresthes</i>, <i>Byrsonima bucidifolia</i>, <i>Byrsonima crassifolia</i>, <i>Caesalpinia velutina</i>, <i>Calatola laevigata</i>, <i>Calliandra carceera</i>, <i>Calliandra mexicana</i>, <i>Calophyllum brasiliense</i>, <i>Capparis sp.</i>, <i>Casearia nitida</i>, <i>Casimiroa edulis</i>, <i>Casimiroa emarginata</i>, <i>Cassia sp.</i>, <i>Cavanillesia platanifolia</i>, <i>Cecropia angustifolia</i>, <i>Cecropia obtusifolia</i>, <i>Cecropia peltata</i>, <i>Celtis trinervia</i>, <i>Chrysophyllum cainito</i>, <i>Chrysophyllum mexicanum</i>, <i>Cinchona officinalis</i>, <i>Citrus aurantium</i>, <i>Clethra pachecoana</i>, <i>Clethra sp.</i>, <i>Clusia flava</i>, <i>Coccoloba acapulcensis</i>, <i>Coccoloba barbadensis</i>, <i>Coccoloba belizensis</i>, <i>Coccoloba caracasana</i>, <i>Coccoloba floribunda</i>, <i>Coccoloba reflexiflora</i>, <i>Coccoloba sp.</i>, <i>Cojoba arborea</i>, <i>Colubrina arborescens</i>, <i>Colubrina elliptica</i>, <i>Cordia alliodora</i>, <i>Cordia dodecandra</i>, <i>Cordia sp.</i>, <i>Crataegus mexicana</i>, <i>Crescentia cujete</i>, <i>Croton draco</i>, <i>Croton reflexifolius</i>, <i>Cupania belizensis</i>, <i>Cupania guatemalensis</i>, <i>Dalbergia granadillo</i>, <i>Dalbergia stevensonii</i>, <i>Dendropanax arboreus</i>, <i>Desconocida Desconocida</i>, <i>Diospyros salicifolia</i>, <i>Diphysa spinosa</i>, <i>Drypetes brownii</i>, <i>Erblichia odorata</i>, <i>Erythrina berterioana</i>, <i>Erythrina folkersii</i>, <i>Eugenia capuli</i>, <i>Eugenia sp.</i>, <i>Exostema mexicanum</i>, <i>Faramaea occidentalis</i>, <i>Ficus crassiuscula</i>, <i>Ficus insipida</i>, <i>Ficus pertusa</i>, <i>Ficus sp.</i>, <i>Forchhammeria pallida</i>, <i>Frangula capreifolia</i>, <i>Genipa americana</i>, <i>Gliricidia sp.</i>, <i>Gmelina arborea</i>, <i>Goetzea elegans</i>, <i>Guarea glabra</i>, <i>Guarea kunthiana</i>, <i>Guarea sp.</i>, <i>Guatteria sp.</i>, <i>Guettarda combsii</i>, <i>Guettarda macrosperma</i>, <i>Gymnanthes lucida</i>, <i>Gyranthera micrantha</i>, <i>Gyranthera sp.</i>, <i>Hampea stipitata</i>, <i>Hampea trilobata</i>, <i>Hedyosmum mexicanum</i>, <i>Heliocarpus americanus</i>, <i>Heliocarpus appendiculatus</i>, <i>Hieronyma alchorneoides</i>, <i>Hieronyma oblonga</i>, <i>Hirtella americana</i>, <i>Ilex guianensis</i>, <i>Inga densiflora</i>, <i>Inga edulis</i>, <i>Inga fagifolia</i>, <i>Inga paterno</i>, <i>Inga sapindoides</i>, <i>Inga sp.</i>, <i>Inga vera</i>, <i>Jacquinia aurantiaca</i>, <i>Jatropha curcas</i>, <i>Jatropha gaumeri</i>, <i>Krugiodendron ferreum</i>, <i>Laetia thamnina</i>, <i>Licania hypoleuca</i>, <i>Licania platypus</i>, <i>Licaria peckii</i>, <i>Licaria sp.</i>, <i>Lonchocarpus guatemalensis</i>, <i>Lonchocarpus purpureus</i>, <i>Lonchocarpus sp.</i>, <i>Lysiloma acapulcense</i>, <i>Lysiloma bagamense</i>, <i>Lysiloma sp.</i>, <i>Malmea depressa</i>, <i>Mangifera indica</i>, <i>Manilkara sp.</i>, <i>Mariosousa dolichostachya</i>, <i>Matayba oppositifolia</i>, <i>Matayba sp.</i>, <i>Mortoniendron guatemalense</i>, <i>Mosannona depressa</i>, <i>Mosquitoxylum jamaicense</i>, <i>Mauriri barinensis</i>, <i>Mouriri sp.</i>, <i>Nectandra cuspidata</i>, <i>Nectandra globosa</i>, <i>Nectandra sp.</i>, <i>Ocotea lundelli</i>, <i>Ocotea sp.</i>, <i>Ocotea veraguensis</i>, <i>Oreopanax pycnocarpus</i>, <i>Oreopanax sp.</i>, <i>Oreopanax xalapensis</i>, <i>Persea americana</i>, <i>Persea donnell-smithii</i>, <i>Persea sp.</i>, <i>Pimenta dioica</i>, <i>Piscidia piscipula</i>, <i>Pithecellobium sp.</i>, <i>Platymiscium dimorphandrum</i>, <i>Pleradenophora longicuspis</i>, <i>Pleradenophora sp.</i>, <i>Pleradenophora tuerckheimiana</i>, <i>Plumeria sp.</i>, <i>Pouteria amygdalina</i>, <i>Pouteria belizensis</i>, <i>Pouteria campechiana</i>, <i>Pouteria reticulata</i>, <i>Pouteria sapota</i>, <i>Pouteria sp.</i>, <i>Protium copal</i>, <i>Prunus amygdalus</i>, <i>Prunus lundelliana</i>, <i>Prunus serotina subsp. capuli</i>, <i>Pseudolmedia spuria</i>, <i>Quararibea cordata</i>, <i>Quercus acuta</i>, <i>Quercus oleoides</i>, <i>Quercus sapotifolia</i>, <i>Randia armata</i>, <i>Rehdera penninervia</i>, <i>Roseodendron donnell-smithii</i>, <i>Sapium lateriflorum</i>, <i>Saurauia aspera</i>, <i>Schefflera morototoni</i>, <i>Schizolobium amazonicum</i>, <i>Sebastiania adenophora</i>, <i>Sebastiania tuerckheimiana</i>, <i>Sideroxylon capiri</i>, <i>Sideroxylon capiri subsp. tempisque</i>, <i>Sideroxylon obtusifolium subsp. buxifolium</i>, <i>Sideroxylon persimile</i>, <i>Sideroxylon salicifolium</i>, <i>Simarouba amara</i>, <i>Simarouba glauca</i>, <i>Simira salvadorensis</i>, <i>Spondias purpurea</i>, <i>Swartzia panamensis</i>, <i>Swietenia humilis</i>, <i>Swietenia sp.</i>, <i>Symphonia globulifera</i>, <i>Tabebuia ochracea</i>, <i>Tabebuia rosea</i>, <i>Talisia floresii</i>, <i>Talisia sp.</i>, <i>Tecoma stans</i>, <i>Tectona grandis</i>, <i>Terminalia buceras</i>, <i>Terminalia oblonga</i>, <i>Thouinia canescens</i>, <i>Thouinia sp.</i>, <i>Trema micrantha</i>, <i>Trichillia americana</i>, <i>Trichillia martiana</i>, <i>Trichospermum sp.</i>, <i>Ulmus sp.</i>, <i>Vachellia cornigera</i>, <i>Vachellia collinsii</i>, <i>Virola koschnyi</i>, <i>Vitex gaumeri</i>, <i>Vitex sp.</i>, <i>Vochysia guatemalensis</i>, <i>Wimmeria bartlettii</i>, <i>Ximenia americana</i>, <i>Xylopia frutescens</i>, <i>Zanthoxylum ekmanii</i>, <i>Zanthoxylum fagara</i>, <i>Zanthoxylum panamense</i> </p>
	<p> $Vrt = \exp(-9.41737421 + 1.76385327 \cdot \log(D) + 1.04067089 \cdot \log(H))$ </p>	<p> <i>Alvaradoa amorphoides</i>, <i>Castilla elástica</i>, <i>Ficus aurea</i>, <i>Ficus maxima</i>, <i>Hippomane mancinella</i>, <i>Ochroma pyramidale</i>, <i>Pachira aquatica</i>, <i>Plumeria rubra</i>, <i>Pseudobombax ellipticum</i>, <i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>, <i>Terminalia amazonia</i>, <i>Trophis racemosa</i> </p>

Centro	$Vrt = \exp(-9.53415154 + 1.85980581 \cdot \log(D) + 0.96989346 \cdot \log(H))$	<i>Brosimum alicastrum</i>
	$Vrt = \exp(-9.5643815 + 1.82330416 \cdot \log(D) + 1.01741981 \cdot \log(H))$	<i>Acosmium panamense</i> , <i>Andira inermis</i> , <i>Dialium guianense</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Haematoxylum brasiletto</i> , <i>Haematoxylum campechianum</i> , <i>Lonchocarpus castilloi</i> , <i>Lysiloma latisiliquum</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Platymiscium yucatanum</i> , <i>Schizolobium parahyba</i> , <i>Swartzia cubensis</i> , <i>Vatairea lundellii</i> , <i>Zanthoxylum caribaeum</i> , <i>Zanthoxylum riedelianum</i>
	$Vrt = \exp(-9.60981068 + 1.8285472 \cdot \log(D) + 1.01082458 \cdot \log(H))$	<i>Annona muricata</i>
	$Vrt = \exp(-9.64583328 + 1.79389367 \cdot \log(D) + 1.03915044 \cdot \log(H))$	<i>Cedrela odorata</i>
	$Vrt = \exp(-9.80434696 + 1.91033696 \cdot \log(D) + 1.03262007 \cdot \log(H))$	<i>Apeiba tibourbou</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i>
	$Vrt = \exp(-9.83322527 + 1.92412457 \cdot \log(D) + 1.00970142 \cdot \log(H))$	<i>Astronium graveolens</i> , <i>Melicoccus oliviformis</i> , <i>Sapindus saponaria</i>
	$Vrt = \exp(-9.84923104 + 1.91175328 \cdot \log(D) + 1.04555238 \cdot \log(H))$	<i>Manilkara zapota</i>
	$Vrt = \exp(-9.88284891 + 1.92178549 \cdot \log(D) + 1.04714889 \cdot \log(H))$	<i>Bursera simaruba</i>
	$Vrt = \exp(-9.98357915 + 1.95005045 \cdot \log(D) + 1.05153755 \cdot \log(H))$	<i>Trichilia glabra</i> , <i>Zuelania guidonia</i>
	$V = 0.0044171177 + 0.0000285570 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus maximinoi</i>
	$V = 0.0050811768 + 0.0000286052 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus pseudostrobus</i>
	$V = 0.0134651922 + 0.0000289134 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Cupressus lusitanica</i>
	$V = 0.0179835819 + 0.0000283104 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus hartwegii</i>
	$V = -0.0197725259 + 0.0000288708 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus ayacahuite</i>
	$V = -0.0229946375 + 0.0000277515 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus montezumae</i>
	$V = 0.02682287659 + 0.0000287215 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus oocarpa</i> , <i>Pinus sp.</i> , <i>Pinus tecunumanii</i>
	$V = 0.0684728026 + 0.0000309465 \cdot D^2 \cdot H$	<i>Pinus caribaea</i>
	$Vrt = \exp(-10.01137401 + 1.97688779 \cdot \log(D) + 1.02860759 \cdot \log(H))$	<i>Acacia pennatula</i> , <i>Acosmium panamense</i> , <i>Caesalpinia velutina</i> , <i>Cassia grandis</i> , <i>Cojoba arborea</i> , <i>Dialium guianense</i> , <i>Diphyssa americana</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Erythrina fusca</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Haematoxylum campechianum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> , <i>Inga paterno</i> , <i>Inga vera</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Lonchocarpus rugosus</i> , <i>Lysiloma acapulcense</i> , <i>Platymiscium dimorphandrum</i> , <i>Schizolobium parahyba</i> , <i>Zanthoxylum riedelianum</i> .
	$Vrt = \exp(-10.12597512 + 2.04755627 \cdot \log(D) + 0.96453516 \cdot \log(H))$	<i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Crescentia cujete</i> , <i>Curatella americana</i>
	$Vrt = \exp(-10.1261214 + 1.97537735 \cdot \log(D) + 1.05085957 \cdot \log(H))$	<i>Astronium graveolens</i> , <i>Sapindus saponaria</i> , <i>Spondias mombin</i> , <i>Spondias purpurea</i> , <i>Toxicodendron striatum</i>
	$Vrt = \exp(-10.22400164 + 1.93392327 \cdot \log(D) + 1.12044335 \cdot \log(H))$	<i>Ceiba aesculifolia</i>
	$Vrt = \exp(-9.05936092 + 1.68198628 \cdot \log(D) + 1.0337615 \cdot \log(H))$	<i>Dendropanax arboreus</i> , <i>Oreopanax capitatus</i> , <i>Oreopanax xalapensis</i> , <i>Psidium guajava</i>
	$Vrt = \exp(-9.73746695 + 1.85643537 \cdot \log(D) + 1.07354086 \cdot \log(H))$	<i>Adelia barbinervis</i> , <i>Cecropia obtusifolia</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Croton draco</i> , <i>Croton niveus</i> , <i>Simira salvadorensis</i>
	$Vrt = \exp(-9.80434696 + 1.91033696 \cdot \log(D) + 1.03262007 \cdot \log(H))$	<i>Conostegia xalapensis</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Prunus serótina</i> , <i>Prunus serotina</i> subsp. <i>Capuli</i> , <i>Quercus crassifolia</i> , <i>Quercus crispifolia</i> , <i>Quercus oocarpa</i> , <i>Quercus polymorpha</i> , <i>Quercus sapotifolia</i> , <i>Quercus skinneri</i> , <i>Sambucus canadensis</i> , <i>Tecoma stans</i> , <i>Trema micrantha</i> , <i>Trichospermum mexicanum</i>

$\text{Vrt}=\exp(-9.82944377+1.9060093*\log(D)+1.04047533*\log(H))$	<p><i>Acacia auriculiformis</i>, <i>Acacia confusa</i>, <i>Acacia deanei</i>, <i>Acacia mearnsii</i>, <i>Acacia picachensis</i>, <i>Acacia sp.</i>, <i>Adenanthra microsperma</i>, <i>Alchornea integrifolia</i>, <i>Alfaroa guatemalensis</i>, <i>Allophylus camptostachys</i>, <i>Allophylus racemosus</i>, <i>Alnus acuminata</i>, <i>Alnus jorullensis</i>, <i>Alnus nepalensis</i>, <i>Amanoa sp.</i>, <i>Amyris barbata</i>, <i>Anacardium sp.</i>, <i>Annona cherimola</i>, <i>Annona sp.</i>, <i>Apeiba glabra</i>, <i>Arbutus xalapensis</i>, <i>Astronium sp.</i>, <i>Bauhinia seleriana</i>, <i>Bauhinia unguolata</i>, <i>Billia rosea</i>, <i>Blakea standleyana</i>, <i>Blomia prisca</i>, <i>Bourreria mollis</i>, <i>Brunellia costaricensis</i>, <i>Buddleja americana</i>, <i>Buddleja megaloccephala</i>, <i>Buddleja nitida</i>, <i>Bursera bipinnata</i>, <i>Bursera diversifolia</i>, <i>Byrsonima bucidifolia</i>, <i>Byrsonima spicata</i>, <i>Calliandra houstoniana</i>, <i>Calycophyllum multiflorum</i>, <i>Calycophyllum spruceanum</i>, <i>Calyptanthus chytraculia</i>, <i>Carapa guianensis</i>, <i>Cascabela thevetia</i>, <i>Casearia sylvestris</i>, <i>Casimiroa edulis</i>, <i>Castilla elastica</i>, <i>Catalpa bignonioides</i>, <i>Cecropia angustifolia</i>, <i>Cecropia peltata</i>, <i>Chione venosa</i>, <i>Chiranthodendron pentadactylon</i>, <i>Chrysobalanus icaco</i>, <i>Citharexylum donnell-smithii</i>, <i>Citrus aurantium</i>, <i>Citrus limon</i>, <i>Clethra mexicana</i>, <i>Clethra pachecoana</i>, <i>Clethra vicentina</i>, <i>Clusia lusoria</i>, <i>Clusia salvinii</i>, <i>Cochlospermum vitifolium</i>, <i>Conostegia icosandra</i>, <i>Cordia alba</i>, <i>Cordia dentata</i>, <i>Cordia gerascanthus</i>, <i>Cordia sp.</i>, <i>Coutaportia guatemalensis</i>, <i>Crataegus arcana</i>, <i>Crescentia alata</i>, <i>Cupania guatemalensis</i>, <i>Dacryodes olivifera</i>, <i>Desconocida Desconocida</i>, <i>Diospyros bumelioides</i>, <i>Diospyros ebenum</i>, <i>Diospyros sp.</i>, <i>Erblichia odorata</i>, <i>Eriobotrya japonica</i>, <i>Erythrina berteroa</i>, <i>Erythrina guatemalensis</i>, <i>Eschweilera juruensis</i>, <i>Eucalyptus camaldulensis</i>, <i>Eugenia bumelioides</i>, <i>Eugenia guatemalensis</i>, <i>Eugenia laevis</i>, <i>Eysenhardtia adenostylis</i>, <i>Ficus cotinifolia</i>, <i>Ficus sp.</i>, <i>Forestiera durangensis</i>, <i>Frangula capreifolia</i>, <i>Furcraea guatemalensis</i>, <i>Genipa americana</i>, <i>Grevillea robusta</i>, <i>Guazuma crinita</i>, <i>Guettarda combsii</i>, <i>Guettarda macrosperma</i>, <i>Haematoxylum brasiletto</i>, <i>Hauya elegans subsp. cornuta</i>, <i>Hedyosmum bonplandianum</i>, <i>Hedyosmum mexicanum</i>, <i>Heliocarpus appendiculatus</i>, <i>Heliocarpus mexicanus</i>, <i>Hieronyma alchorneoides</i>, <i>Hieronyma oblonga</i>, <i>Hirtella americana</i>, <i>Ilex discolor</i>, <i>Inga cookii</i>, <i>Inga edulis</i>, <i>Inga fagifolia</i>, <i>Inga sapindoides</i>, <i>Inga vera subsp. spuria</i>, <i>Jatropha curcas</i>, <i>Juniperus standleyi</i>, <i>Karwinskia calderonii</i>, <i>Laurus nobilis</i>, <i>Ledenbergia macrantha Standl.</i>, <i>Leucaena diversifolia</i>, <i>Lonchocarpus guatemalensis</i>, <i>Luehea sp.</i>, <i>Lysiloma aurita Benth.</i>, <i>Magnolia guatemalensis</i>, <i>Malpighia glabra</i>, <i>Mangifera indica</i>, <i>Mariosousa dolichostachya</i>, <i>Miconia hondurensis</i>, <i>Morrellia cerifera</i>, <i>Myrica cerifera</i>, <i>Myrsine coriacea</i>, <i>Nectandra sp.</i>, <i>Nephelium lappaceum</i>, <i>Ocotea sp.</i>, <i>Ostrya virginiana subsp. guatemalensis</i>, <i>Palicourea eurycarpa</i>, <i>Persea donnell-smithii</i>, <i>Persea sp.</i>, <i>Perymenium grande Hemsl.</i>, <i>Pimenta dioica</i>, <i>Pithecellobium dulce</i>, <i>Poeppigia procera</i>, <i>Pouteria amygdalina</i>, <i>Pouteria belizensis</i>, <i>Pouteria glomerata</i>, <i>Pouteria viridis</i>, <i>Prunus avium</i>, <i>Prunus persica</i>, <i>Prunus salicina</i>, <i>Prunus sp.</i>, <i>Psidium friedrichsthalianum</i>, <i>Psidium sp.</i>, <i>Quercus acuta</i>, <i>Quercus acutifolia</i>, <i>Quercus alba</i>, <i>Quercus benthamii</i>, <i>Quercus conspersa</i>, <i>Quercus crispipilis</i>, <i>Quercus elliptica</i>, <i>Quercus insignis</i>, <i>Quercus lancifolia</i>, <i>Quercus pacayana</i>, <i>Quercus peduncularis</i>, <i>Quercus purulhana</i>, <i>Quercus robur</i>, <i>Quercus segoviensis</i>, <i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus tristis</i>, <i>Rhus striata</i>, <i>Rhus terebinthifolia</i>, <i>Saurauia aspera</i>, <i>Saurauia laevigata</i>, <i>Saurauia villosa</i>, <i>Senna bicapsularis</i>, <i>Sickingia salvadorensis</i>, <i>Swartzia panamensis</i>, <i>Syzygium jambos</i>, <i>Tabebuia donell-smithii</i>, <i>Tabebuia ochracea</i>, <i>Tabernaemontana flavicans</i>, <i>Tamarindus indica</i>, <i>Tectona grandis</i>, <i>Terminalia macrostachya</i>, <i>Terminalia oblonga</i>, <i>Theobroma bicolor</i>, <i>Theobroma cacao</i>, <i>Thouinidium decandrum</i>, <i>Trichilia martiana</i>, <i>Triplaris americana</i>, <i>Vachellia cornigera</i>, <i>Vachellia collinsii</i>, <i>Vachellia farnesiana</i>, <i>Vachellia hindsii</i>, <i>Vachellia pennatula</i>, <i>Vatairea lundellii</i>, <i>Virola koschnyi</i>, <i>Vismia baccifera</i>, <i>Vismia camparaguey</i>, <i>Vochysia guatemalensis</i>, <i>Weinmannia wercklei</i>, <i>Ximenia sp.</i>, <i>Zollernia tango</i>.</p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.843341+1.92700277*\log(D)+1.00612327*\log(H))$	<p><i>Alvaradoa amorphoides</i>, <i>Annona muricata</i>, <i>Annona reticulata</i>, <i>Annona squamosa</i>, <i>Bucida macrostachya</i>, <i>Faramaea occidentalis</i>, <i>Ficus aurea</i>, <i>Ficus insipida</i>, <i>Ficus maxima</i>, <i>Ficus pertusa</i>, <i>Hevea brasiliensis</i>, <i>Maclura tinctoria</i>, <i>Ochroma pyramidale</i>, <i>Pachira aquatica</i>, <i>Pseudolmedia glabrata</i>, <i>Terminalia amazonia</i>, <i>Terminalia catappa</i>.</p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.84669352+1.93536382*\log(D)+1.01473381*\log(H))$	<p><i>Magnolia mexicana</i>, <i>Ulmus mexicana</i></p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.8528306+1.93994057*\log(D)+1.0307694*\log(H))$	<p><i>Calophyllum brasiliense</i>, <i>Litsea glaucescens</i>, <i>Manilkara zapota</i>, <i>Nectandra globosa</i>, <i>Ocotea veraguensis</i>, <i>Persea americana</i>, <i>Pouteria reticulata</i>, <i>Pouteria sapota</i></p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.86139158+1.93994057*\log(D)+1.04126898*\log(H))$	<p><i>Bursera graveolens</i>, <i>Bursera simaruba</i>, <i>Protium copal</i>, <i>Simarouba amara</i></p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.87689+1.9349903*\log(D)+1.03862975*\log(H))$	<p><i>Blepharidium guatemalense</i>, <i>Metopium brownei</i>, <i>Roseodendron donnell-smithii</i>, <i>Tabebuia rosea</i></p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.88038392+1.97088088*\log(D)+1.00098368*\log(H))$	<p><i>Cedrela odorata</i>, <i>Guarea glabra</i></p>
$\text{Vrt}=\exp(-9.92570337+1.96275753*\log(D)+1.00116088*\log(H))$	<p><i>Swietenia humilis</i>, <i>Swietenia macrophylla</i>, <i>Tabernaemontana grandiflora</i></p>

Sur	$V=0.02682287659+0.0000287215*D^2*H$	<i>Pinus sp.</i>
	$Vrt=\exp(-10.01137401+1.97688779*\log(D)+1.02860759*\log(H))$	<i>Andira inermis, Caesalpinia velutina, Diphysa americana, Enterolobium cyclocarpum, Gliricidia sepium, Hymenaea courbaril, Inga laurina, Inga paterno, Inga vera, Leucaena leucocephala, Licania platypus, Lonchocarpus rugosus, Platymiscium dimorphandrum, Schizolobium parahyba, Zanthoxylum riedelianum.</i>
	$Vrt=\exp(-10.09141965+1.90481967*\log(D)+1.09303973*\log(H))$	<i>Salix humboldtiana, Trichilia breviflora</i>
	$Vrt=\exp(-10.12597512+2.04755627*\log(D)+0.96453516*\log(H))$	<i>Crescentia cujete, Laguncularia racemosa</i>
	$Vrt=\exp(-10.1261214+1.97537735*\log(D)+1.05085957*\log(H))$	<i>Spondias mombin, Spondias purpurea</i>
	$Vrt=\exp(-10.22400164+1.93392327*\log(D)+1.12044335*\log(H))$	<i>Ceiba pentandra</i>
	$Vrt=\exp(-9.05936092+1.68198628*\log(D)+1.0337615*\log(H))$	<i>Dendropanax arboreus</i>
	$Vrt=\exp(-9.73746695+1.85643537*\log(D)+1.07354086*\log(H))$	<i>Coccoloba barbadensis, Cordia alliodora, Croton niveus, Simira salvadorensis</i>
	$Vrt=\exp(-9.80434696+1.91033696*\log(D)+1.03262007*\log(H))$	<i>Guatteria anómala, Guazuma ulmifolia, Prunus serotina subsp. Capulí, Trema micrantha, Trichospermum mexicanum</i>
	$Vrt=\exp(-9.82944377+1.9060093*\log(D)+1.04047533*\log(H))$	<i>Acacia sp. Albizia adinocephala, Alfaroa guatemalensis, Alnus acuminata, Apeiba glabra, Avicennia germinans, Byrsonima bucidifolia, Calycophyllum multiflorum, Calycophyllum spruceanum, Calyptranthes paxillata, Casimiroa edulis, Castilla elastica, Cecropia angustifolia, Cecropia peltata, Cestrum racemosum, Cinchona officinalis, Citrus sinensis, Clethra pachecoana, Coccoloba belizensis, Cochlospermum vitifolium, Croton reflexifolius, Croton sp., Dalbergia Retusa, Desconocida Desconocida, Eriobotrya japonica, Erythrina berteriana, Erythrina folkersii, Erythrina macrophylla, Erythrina poeppigiana, Esenbeckia pentaphylla, Gmelina arborea, Grevillea robusta, Heliocarpus appendiculatus, Heliocarpus mexicanus, Hernandia sonora, Hieronyma oblonga, Inga cookii, Inga edulis, Inga fagifolia, Inga vera subsp. spuria, Jatropha curcas, Leucaena diversifolia, Licaria excelsa, Lonchocarpus guatemalensis, Mangifera indica, Mariosousa dolichostachya, Piper aduncum, Pouteria belizensis, Qualea paraensis, Quercus elliptica, Rhizophora mangle, Salix alba, Sapium glandulosum, Sapium lateriflorum, Sapium macrocarpum, Sloanea terniflora, Sterculia apetala, Swinglea lutea, Tamarindus indica, Tectona grandis, Terminalia oblonga, Theobroma bicolor, Vachellia collinsii, Vachellia pennatula, Virola koschnyi, Vismia baccifera, Ximenia americana, Zanthoxylum fagara.</i>
	$Vrt=\exp(-9.843341+1.92700277*\log(D)+1.00612327*\log(H))$	<i>Annona purpurea, Brosimum alicastrum, Conocarpus erectus, Ficus crassiuscula, Ficus insipida, Hevea brasiliensis, Maclura tinctoria, Pachira aquatica, Tabernaemontana donnell-smithii, Terminalia catappa.</i>
	$Vrt=\exp(-9.84669352+1.93536382*\log(D)+1.01473381*\log(H))$	<i>Ampelocera hottlei, Ulmus mexicana</i>
	$Vrt=\exp(-9.8528306+1.93994057*\log(D)+1.0307694*\log(H))$	<i>Calophyllum brasiliense, Litsea glaucescens, Nectandra globosa, Persea americana, Pouteria sapota</i>
	$Vrt=\exp(-9.86139158+1.93994057*\log(D)+1.04126898*\log(H))$	<i>Bursera simaruba, Simarouba amara</i>
	$Vrt=\exp(-9.87689+1.9349903*\log(D)+1.03862975*\log(H))$	<i>Roseodendron donnell-smithii, Tabebuia rosea</i>
	$Vrt=\exp(-9.88038392+1.97088088*\log(D)+1.00098368*\log(H))$	<i>Cedrela odorata, Guarea glabra</i>
	$Vrt=\exp(-9.92570337+1.96275753*\log(D)+1.00116088*\log(H))$	<i>Swietenia humilis, Tabernaemontana grandiflora</i>

Nota. La tabla muestra información de ecuaciones alométricas para especies de latifoliados y coníferas. Elaboración propia

12.6 Volumen promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

La Tabla 72 muestra los resultados del cálculo del volumen promedio en rollo total o volumen total calculado para todos los usos de la tierra, mostrando además los intervalos de confianza y el error de muestreo para los niveles 1, 2 y 3 de tierras forestales y en árboles en otros usos de la tierra. Es importante considerar que los errores de muestreo mayores al 20% deben considerarse como información referencial correspondiente a un estudio de reconocimiento para observar tendencias nacionales, no así para concluir sobre aspectos cuantitativos de esta variable. Con respecto a los resultados con muy baja precisión, deben considerarse a través de sus intervalos de confianza.

Tabla 72.
Volumen promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Volumen (m ³ /ha)	Intervalo de confianza	Error (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
1000) Tierras forestales Volumen: 113.3 m ³ /ha IC: 101.1 - 125.5 Error : 10.8 %	1100 Bosque Volumen: 115.4 m ³ /ha IC: 102.6 - 128.1 Error : 11 %	1110) Bosque latifoliado	134.6	119.4 - 149.8	11.3
		1120) Bosque de coníferas	89.7	17.1 - 162.3	81
		1130) Bosque de mangle	144.4	45.1 - 243.7	68.8
		1140) Bosque mixto	81.9	57.6 - 106.2	29.7
		1150) Bosque seco	14.6	8.2 - 21	43.5
	1200 Plantaciones Volumen: 78.7 m ³ /ha IC: 51.2 - 106.1 Error : 34.9 %	1210) Plantaciones forestales latifoliado	79.2	50.9 - 107.5	35.7
		1220) Plantaciones forestales de coníferas	76.6	2 - 151.2	97.3
2000) Tierras de cultivo	2100 Cultivos anuales Volumen: 6.2 m ³ /ha	2110) Cultivo de caña de azúcar	0.6	0 - 1.5	147.8
		2120) Cultivo de arroz	- -	- -	- -

Volumen: 25.2 m ³ /ha IC: 17.6 - 32.9 Error : 30.4 %	IC: 3.7 - 8.6 Error : 39.9 %	2130) Cultivo de granos básicos (frijol y maíz)	8.6	4.4 - 12.8	49.5
		2140) Cultivo de Hortalizas	4	0.8 - 7.2	79.5
		2150) Otros cultivos anuales	6.9	2.5 - 11.3	64.3
	2200 Cultivos perennes Volumen: 45.3 m ³ /ha IC: 29.5 - 61.1 Error : 34.8 %	2210) Cultivo de Hule	106.2	64.6 - 147.8	39.2
		2220) Cultivo de palma africana	--	--	--
		2230) Cultivo de café	51.4	31.8 - 71	38.2
		2240) Cultivo de banano	0.2	0 - 0.6	170.4
		2250) Otros cultivos perennes	25.4	0.9 - 49.9	96.3
	2300 Sistemas agroforestales	2300) Sistemas agroforestales	60.9	22.5 - 99.3	63.1
	2400 Barbecho o en descanso	2400) Barbecho ó en descanso	6	0.2 - 11.8	96.4
3000) Pastizales Volumen: 7.9 m ³ /ha IC: 5.2 - 10.6 Error : 34.6 %	3100 Pastos	3100) Pastos	4.8	3 - 6.6	38.5
	3200 Sistema silvopastoril	3200) Sistemas silvopastoriles	32	16.1 - 47.9	49.5
4000) Humedales y cuerpos de agua Volumen: 3 m ³ /ha IC: 0 - 6.1 Error : 99.6 %	4100 Laguna	4100) Laguna	--	--	--
	4200 Río	4200) Río	7.6	0 - 17	124.6
	4400 Humedal	4400) Humedal	5.5	0 - 13.6	147.7
5000) Asentamiento Volumen: 7.4 m ³ /ha IC: 2.6 - 12.2 Error : 65.1 %	5100 Tejido urbano	5100) Tejido urbano	8	0.2 - 15.8	97.7
	5200 Infraestructura	5200) Infraestructura	6.7	1.1 - 12.3	82.6
6000) Otras tierras Volumen: 22.5 m ³ /ha IC: 11 - 34.11 Error : 51.3 %	6100 Árboles dispersos	6100) Árboles dispersos	45.7	10.1 - 81.3	77.8
	6200 Suelo desnudo	6200) Suelo desnudo	6.1	0 - 18.7	204.4
	6300 No suelo	6350) Afloramiento rocoso	1.7	1.7 - 1.7	0
		6360) Rocas	--	--	--
	6400 Vegetación arbustiva o natural	6400) Vegetación arbustiva o natural	16.8	6.2 - 27.4	62.8
	6500 Matorral o guamil	6500) Matorral o guamil [Guam]	11.8	7 - 16.6	40.5
			53.6	47 - 60.2	12.3

12.7 Área basal promedio, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

La Tabla 73 muestra los resultados del cálculo del área basal promedio, calculada para todos los usos de la tierra, mostrando además los intervalos de confianza y el error de muestreo para los niveles 1, 2 y 3 de tierras forestales y en árboles en otros usos de la tierra. Es importante considerar que los errores de muestreo mayores al 20% deben considerarse como información referencial correspondiente a un estudio de reconocimiento para observar tendencias nacionales, no así para concluir sobre aspectos cuantitativos de esta variable. Con respecto a los resultados con muy baja precisión, deben considerarse a través de sus intervalos de confianza.

Tabla 73.
área basal promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Área ba- sal (m^2/ ha)	Intervalo de confianza	Error (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
1000) Tierras forestales Área basal: 14.1 m^2/ha IC: 12.9 - 15.4 Error : 8.8 %	1100 Bosque Area basal: 14.4 m^2/ha IC: 13.1 - 15.7 Error : 9 %	1110) Bosque latifoliado	16.2	14.7 - 17.7	9.3
		1120) Bosque de coníferas	12.8	4.8 - 20.8	62.3
		1130) Bosque de mangle	15.1	13.2 - 17	12.6
		1140) Bosque mixto	11.9	9.2 - 14.6	22.9
		1150) Bosque seco	3.1	1.8 - 4.4	41.3
	1200 Plantaciones Area basal: 9.1 m^2/ha IC: 6.2 - 12 Error : 31.9 %	1210) Plantaciones forestales latifoliado	9.1	6.2 - 12	32
		1220) Plantaciones forestales de coníferas	9.1	0.9 - 17.3	90
2000) Tierras de cultivo Area basal: 3.4 m^2/ha IC: 2.5 - 4.3 Error : 25.6 %	2100 Cultivos anuales Area basal: 1.1 m^2/ha IC: 0.7 - 1.5 Error : 34.9 %	2110) Cultivo de caña de azúcar	0.2	0 - 0.5	153.1
		2120) Cultivo de arroz	--	--	--
		2130) Cultivo de granos básicos (frijol y maíz)	1.5	0.9 - 2.1	44.1
		2140) Cultivo de Hortalizas	1.2	0.2 - 2.2	84.4
		2150) Otros cultivos anuales	1.2	0.5 - 1.9	58.6

	2200 Cultivos perennes Area basal: 5.7 m ² /ha IC: 3.9 - 7.5 Error : 31.4 %	2210) Cultivo de Hule	12.3	8.5 - 16.1	31
		2220) Cultivo de palma africana	--	--	--
		2230) Cultivo de café	7.1	4.2 - 10	40.2
		2240) Cultivo de banano	0.1	0 - 0.2	164.8
		2250) Otros cultivos perennes	3.3	0.7 - 5.9	77.5
	2300 Sistemas agroforestales	2300) Sistemas agroforestales	7.8	4.4 - 11.2	43.7
3000) Pastizales Area basal: 1.4 m ² /ha IC: 1 - 1.9 Error : 31.2 %	2400 Barbecho o en descanso	2400) Barbecho ó en descanso	1.3	0.1 - 2.5	91.3
	3100 Pastos	3100) Pastos	0.9	0.6 - 1.2	35.1
4000) Humedales y cuerpos de agua Area basal: 0.5 m ² /ha IC: 0 - 1 Error : 101.1 %	3200 Sistema silvopastoril	3200) Sistemas silvopastoriles	5.3	2.9 - 7.7	44.7
	4100 Laguna	4100) Laguna	--	--	--
	4200 Río	4200) Río	1.2	0 - 2.8	127.5
5000) Asentamiento Area basal: 1.4 m ² /ha IC: 0.5 - 2.2 Error : 62.2 %	4400 Humedal	4400) Humedal	1	0 - 2.5	147.7
	5100 Tejido urbano	5100) Tejido urbano	1.6	0.1 - 3.1	94.4
6000) Otras tierras Area basal: 3 m ² /ha IC: 2.2 - 3.91 Error : 28.5 %	5200 Infraestructura	5200) Infraestructura	1.2	0.3 - 2.1	72.3
	6100 Árboles dispersos	6100) Árboles dispersos	5.3	3.1 - 7.5	40.8
	6200 Suelo desnudo	6200) Suelo desnudo	1.2	0 - 3.7	204.4
	6300 No suelo	6350) Afloramiento rocoso	0.4	0.4 - 0.4	0
		6360) Rocas	--	--	--
	6400 Vegetación arbustiva o natural	6400) Vegetación arbustiva o natural	2.6	1.1 - 4.1	56.6
	6500 Matorral o guamil	6500) Matorral o guamil [Guam]	1.9	1.3 - 2.5	33.5
			6.9	6.2 - 7.6	10.6

12.8 Densidad de los árboles, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

La Tabla 74 muestra los resultados del cálculo de la densidad promedio de los árboles, calculada para todos los usos de la tierra, mostrando además los intervalos de confianza y el error de muestreo para los niveles 1, 2 y 3 de tierras forestales y en árboles en otros usos de la tierra. Es importante considerar que los errores de muestreo mayores al 20% deben considerarse como información referencial correspondiente a un estudio de reconocimiento para observar tendencias nacionales, no así para concluir sobre aspectos cuantitativos de esta variable. Con respecto a los resultados con muy baja precisión, deben considerarse a través de sus intervalos de confianza.

Tabla 74.

Densidad de árboles promedio en rollo total, IC y EM para árboles registrados mayores de 10 cm de DAP, incluyendo diámetros a partir de 5 cm en bosque seco.

Categorías de uso de la tierra			Área basal (m ² /ha)	Intervalo de confianza	Error (%)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
1000) Tierras forestales Arboles: 349.3 árbol/ha IC: 322.6 - 376 Error : 7.7 %	1100 Bosque Arboles: 356 árbol/ha IC: 328.1 - 384 Error : 7.9 %	1110) Bosque latifoliado	391.2	358.9 - 423.5	8.3
		1120) Bosque de coníferas	272.3	162.6 - 382	40.3
		1130) Bosque de mangle	626.5	19 - 1234	97
		1140) Bosque mixto	252.2	208.9 - 295.5	17.2
		1150) Bosque seco	311.2	161.3 - 461.1	48.2
	1200 Plantaciones Arboles: 235.1 árbol/ha IC: 180.2 - 290 Error : 23.3 %	1210) Plantaciones forestales latifoliado	241	176.2 - 305.8	26.9
		1220) Plantaciones forestales de coníferas	214.2	112.9 - 315.5	47.3
2000) Tierras de cultivo Arboles: 77.9 árbol/ha IC: 57.8 - 98.1 Error : 25.9 %	2100 Cultivos anuales Arboles: 23.8 árbol/ha IC: 17 - 30.6 Error : 28.7 %	2110) Cultivo de caña de azúcar	6.5	0 - 17.8	173.5
		2120) Cultivo de arroz	--	--	--
		2130) Cultivo de granos básicos (frijol y maíz)	30.7	21 - 40.4	31.6
		2140) Cultivo de Hortalizas	22.1	3.2 - 41	85.8
		2150) Otros cultivos anuales	26.2	10.1 - 42.3	61.6
	2200 Cultivos perennes Arboles: 144.9 árbol/ha	2210) Cultivo de Hule	365.9	283.7 - 448.1	22.5
		2220) Cultivo de palma africana	--	--	--

	IC: 99.2 - 190.6 Error : 31.5 %	2230) Cultivo de café	153.2	88.9 - 217.5	42
		2240) Cultivo de banano	7.9	0 - 21.5	171.1
		2250) Otros cultivos perennes	70.9	26.2 - 115.6	63.1
	2300 Sistemas agroforestales	2300) Sistemas agroforestales	130.5	83.1 - 177.9	36.3
	2400 Barbecho o en descanso	2400) Barbecho ó en descanso	39.9	7.2 - 72.6	81.9
3000) Pastizales Arboles: 28.2 árbol/ha IC: 17.4 - 39 Error : 38.3 %	3100 Pastos	3100) Pastos	15.6	9.7 - 21.5	38.1
	3200 Sistema silvopastoril	3200) Sistemas silvopastoriles	125.6	69.4 - 181.8	44.7
4000) Humedales y cuerpos de agua Arboles: 10.2 árbol/ha IC: 0 - 21.5 Error : 110.4 %	4100 Laguna	4100) Laguna	--	--	--
	4200 Río	4200) Río	35.3	0 - 78.3	122
	4400 Humedal	4400) Humedal	4.7	0 - 11.6	147.7
5000) Asentamiento Arboles: 33.3 árbol/ha IC: 10.4 - 56.2 Error : 68.8 %	5100 Tejido urbano	5100) Tejido urbano	41.3	0 - 83.3	101.5
	5200 Infraestructura	5200) Infraestructura	25.3	8.3 - 42.3	67.1
6000) Otras tierras Arboles: 77 árbol/ha IC: 58.2 - 95.71 Error : 24.4 %	6100 Árboles dispersos	6100) Árboles dispersos	109.8	74.6 - 145	32.1
	6200 Suelo desnudo	6200) Suelo desnudo	22.7	0 - 69.2	204.4
	6300 No suelo	6350) Afloramiento rocoso	31.8	31.8 - 31.8	0
		6360) Rocas	--	--	--
	6400 Vegetación arbustiva o natural	6400) Vegetación arbustiva o natural	79.4	33.3 - 125.5	58.1
	6500 Matorral o guamil	6500) Matorral o guamil [Guam]	57.7	36.1 - 79.3	37.4
			167.2	150.2 - 184.2	10.2

12.9 Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea

Se estimó la biomasa aérea con el uso de ecuaciones alométricas específicas del país para los bosques del Petén (Región de tierras bajas del norte), bosques de coníferas, bosques latifoliados y de tres especies³ para los bosques de manglar como se muestra en la Tabla 75.

Tabla 75.
Ecuaciones utilizadas para la estimación de biomasa por arriba del suelo

Tipo de bosque/ región/ especie	Ámbito del modelo	Tipo de modelo	Ecuación alométrica (kg * árbol-1)	Rango min. DAP (cm)	Rango max. DAP (cm)	Ajuste	Autor
Latifoliadas	Local	Potencial	$Ba = 0.13647 * (DAP)^{2.38351}$	3.8	79.9	0.94*	(CEAB-UVG, 2018)
Coníferas	Local	Potencial	$Ba = 0.15991 * (DAP)^{2.32764}$	5.20	82	0.97*	(CEAB-UVG, 2018)
Latifoliadas de Tierras bajas del Norte	Local	Logarítmico	$\log_{10}(Ba) = -4.09992 + (2.57782 * \log_{10}(DAP)) * 1000$	-----	130	0.95**	(Arreaga Gramajo, 2002)
Rhizophora mangle L.	Regional	Potencial	$Ba = 0.178 * (DAP)^{2.47}$	-----	-----	0.98*	Imbert y Rollet (1989)
Laguncularia racemosa (L.) Gaertn.f.	Regional	Potencial	$Ba = 0.1023 * (DAP)^{2.50}$	-----	9.6	0.97*	(Fromard et al., 1998)
Avicennia germinans (L.) L.	Regional	Potencial	$Ba = 0.14 * (DAP)^{2.40}$	-----	42.4	0.97*	(Fromard et al., 1998)
Conocarpus erectus L.	Regional	Potencial	$Ba = 0.1023 * (DAP)^{2.50}$	-----	9.6	0.97*	(Fromard et al., 1998)

*Nota. La tabla muestra los modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea, donde (Ba) = Biomasa aérea (kg*árbol-1); DAP = Diámetro a la altura de pecho (cm); a,b = parámetros del modelo; Log = logaritmo natural base 10. Se detalla el tipo de bosque y ámbito del modelo, naturaleza matemática del modelo, ecuación matemática, rango de medición de la variable predictora, ajuste evaluado a partir de: *R² = Coeficiente de determinación, **R² aj = Coeficiente de determinación ajustado y autor(es). La ecuación de Laguncularia, también se utiliza para Conocarpus sp. por características similares de crecimiento, información de Arreaga (2002), CEAB-UVG (2015, 2018), Gómez (2017), Komiyama, Ong y Pongpan (2008), MARN, MAGA, INAB y CONAP (2022). Fuente: elaboración propia.*

Para la estimación de la biomasa subterránea se utilizó una ecuación de proporción de la biomasa aérea para todas las parcelas (Mokany, Raison y Prokushkin 2006), a excepción de las parcelas de Bosque de Manglar, donde se utilizó una ecuación (Komiyama et al., 2005).

³ Para las especies de Laguncularia racemosa y Conocarpus erectus L. que tienen gran similitud fisonómica se utilizó la misma ecuación para el cálculo de biomasa.

Tabla 76.

Ecuaciones utilizadas para la estimación de biomasa subterránea.

Tipo de bosque/ región/especie	Ámbito del modelo	Tipo de modelo	Ecuación alométrica (Kg * Parcela ó árbol)	Rango mín. DAP (cm)	Rango max. DAP (cm)	Ajuste	Autor
Latifoliadas y coníferas	Regional	Potencial	$Bb_parcela = 0.489 * (Ba)^{0.89}$	-----	-----	0.93*	Mokany et al., 2006)
Mangle	Continental (Asia)	Potencial	$Bb_arbol = 0.199 * \rho^{0.899} * (DAP)^{2.22}$ ρ Rhizophora mangle = 0.86 ρ Laguncularia racemosa = 0.762 ρ Avicennia germinans = 0.759	-----	<45	0.95*	(Komiyama et al., 2005) (Cifuentes Jara et al., 2018)

Nota. La tabla muestra los modelos alométricos para la estimación de la biomasa subterránea, donde (Bb) = Biomasa subterránea (kg*árbol-1); (Ba) = Biomasa aérea (kg*árbol-1); DAP = Diámetro a la altura de pecho (cm); ρ = gravedad específica de la madera (g/cm³). En la Tabla 4, se detalla el tipo de bosque y ámbito del modelo, naturaleza matemática del modelo, ecuación matemática, rango de medición de la variable predictora, ajuste evaluado a partir de: *R² = Coeficiente de determinación y autor(es). La ecuación de bosque de mangle requiere la aplicación de las gravedades específicas por especie, con base en: CATIE (1994); Gómez (2017), Komiyama, Pongparn y Kato (2005), Mokany, Raison y Prokushkin (2006); Komiyama, Ong y Pongparn (2008), Cifuentes-Jara et al., (2018); MARN, MAGA, INAB, CONAP (2022). Fuente: elaboración propia.

12.10 Ecuaciones para el cálculo de volumen, biomasa y carbono de los reservorios de madera muerta caída, tocones y hojarasca

Tabla 77.

Fórmulas para la estimación de biomasa y carbono en madera muerta caída, hojarasca y tocones.

Componente	Dimensional	Fórmula	Significado de variables	Fuente
Volumen de madera muerta caída	m ³ /ha	$V = \frac{(1.2337 * (d^2) * L)}{10000}$	d: diametro (m) L: longitud horizontal del transecto (90m)	(Casanoves et al., 2017)
Biomasa en madera muerta caída	ton/ha	$B = V * \rho$	V: volumen/ha ρ : densidad de la madera (0.63 para solidos; 0.4 para intermedio; 0.2 para descompuesto)	(Casanoves et al., 2017)

Carbono en madera muerta caída	ton/ha	$Cmmc = ((V * \rho * \%C)) / 100$	V: volumen/ha ρ VV: densidad de la madera (0.63 para sólidos; 0.4 para intermedio; 0.2 para descompuesto) % C: contenido de carbono según categoría de descomposición (0.47 para sólido; 0.4 para intermedio; 0.3 para descompuesto)	Se sugiere dejar todas las ecuaciones a biomasa
Biomasa en hojarasca	ton/ha	$Bh = \frac{pht}{\left(\left(\frac{\%h}{100}\right) + 1\right) * fexp / 1000}$	pht: peso total húmedo de la muestra de hojarasca en la parcela en kg. % h: porcentaje de humedad fexp: factor de expansión	Valdivia (2001)
Carbono en hojarasca	ton/ha	$Ch = \frac{(Bh * \%C)}{100}$	Bh: Biomasa en hojarasca % C: contenido de carbono 0.47 (IPCC)	Valdivia (2001)
Biomasa en tocones	ton/ha	$Bt = Vtoc * \rho$	Vtoc: volumen de tocones/ha ρ : densidad de la madera (0.63 para sólidos; 0.4 para intermedio; 0.2 para descompuesto)	(Casanoves et al., 2017)
Carbono en tocones	ton/ha	$Ct = \frac{(Btoc * \%C)}{100}$	Btoc: Biomasa en hojarasca % C: contenido de carbono según categoría de descomposición (0.47 para sólido; 0.4 para intermedio; 0.3 para descompuesto)	(Casanoves et al., 2017)

Nota. La tabla muestra las fórmulas para calcular la biomasa y carbono en madera muerta caída, hojarasca y tocones. Fuente: elaboración propia.

12.11 Homologación de las categorías de tierras forestales y otros usos de la tierra según el segundo IFN, FRA e IPCC.

Tabla 78.

Homologación de las categorías de cobertura forestal y otros usos de la tierra según el segundo IFN, FRA e IPCC

IFN-nivel 3	IFN-nivel 2	IFN-IPCC	FRA 2025	IPCC-CMNUCC
Bosque latifoliado	Bosque	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Bosque de coníferas	Bosque	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Bosque de mangle	Bosque	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Bosque mixto	Bosque	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Bosque seco	Bosque	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Plantaciones forestales latifoliado	Plantaciones	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Plantaciones forestales de coníferas	Plantaciones	Tierras forestales	Bosque	Tierras forestales
Cultivo de caña de azúcar	Cultivos anuales	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Cultivo de arroz	Cultivos anuales	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Cultivo de granos básicos (frijol y maíz)	Cultivos anuales	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Cultivo de Hortalizas	Cultivos anuales	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Otros cultivos anuales	Cultivos anuales	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Cultivo de Hule	Cultivos perennes	Tierras de cultivo	Bosque	Tierras de cultivo
Cultivo de palma africana	Cultivos perennes	Tierras de cultivo	Otras tierras con cobertura arbórea	Tierras de cultivo
Cultivo de café	Cultivos perennes	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Cultivo de banano	Cultivos perennes	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Otros cultivos perennes	Cultivos perennes	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo
Sistemas agroforestales	Sistemas agroforestales	Tierras de cultivo	Otras tierras con cobertura arbórea	Tierras de cultivo
Barbecho ó en descanso	Barbecho o en descanso	Tierras de cultivo	Otras tierras	Tierras de cultivo

Pastos	Pastos	Pastizales	Otras tierras	Pastizales
Sistemas silvopastoriles	Sistema silvopastoril	Pastizales	Otras tierras con cobertura arbórea	Pastizales
Laguna	Laguna	Humedales y cuerpos de agua	Agua	Humedales y cuerpos de agua
Río	Río	Humedales y cuerpos de agua	Agua	Humedales y cuerpos de agua
Humedal	Humedal	Humedales y cuerpos de agua	Otras tierras	Humedales y cuerpos de agua
Tejido urbano	Tejido urbano	Asentamiento	Otras tierras	Asentamiento
Infraestructura	Infraestructura	Asentamiento	Otras tierras	Asentamiento
Árboles dispersos	Árboles dispersos	Otras tierras	Otras tierras con cobertura arbórea	Pastizales
Suelo desnudo	Suelo desnudo	Otras tierras	Otras tierras	Otras tierras
Afloramiento rocoso	No suelo	Otras tierras	Otras tierras	Otras tierras
Rocas	No suelo	Otras tierras	Otras tierras	Otras tierras
Vegetación arbustiva o natural	Vegetación arbustiva o natural	Otras tierras	Otras tierras boscosas	Pastizales
Matorral o guamil	Matorral o guamil	Otras tierras	Otras tierras boscosas	Pastizales

Nota. La tabla muestra la homologación de las categorías de cobertura forestal y otros usos de la tierra según el segundo IFN, FRA e IPCC. Fuente: elaboración propia.

Donde:

IFN-nivel 3 se refiere a la Clasificación nivel 3 para el inventario forestal nacional adaptado a CORINE LandCover.

IFN-nivel 2 se refiere a la Clasificación nivel 2 para el inventario forestal nacional adaptado a CORINE LandCover

IFN-IPCC se refiere a la Clasificación para el inventario forestal nacional adaptado a la clasificación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)

FRA 2025 se refiere a la Clasificación de la Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA, por sus siglas en inglés)

IPCC-CMNUCC se refiere a la Clasificación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)

12.12 Estimación de las edades de las plantaciones por UM

A partir de la base de datos de plantaciones de coníferas y latifoliadas de parcelas permanentes del INAB, se desarrollaron ecuaciones para estimar la edad de los árboles utilizando el diámetro a la altura del pecho (DAP). Se verificaron los supuestos de normalidad y la linealidad de los residuos. Además, se aplicó la prueba de hipótesis de F para comparar las varianzas entre las poblaciones real y estimada determinando que no son iguales, por ello se utilizó la prueba t-Student para dos muestras con varianzas desiguales, confirmando con un 95% de confianza que las medias de ambas poblaciones son equivalentes.

Fórmula para plantación de latifoliadas

$$Edad_{Latifoliadas} = e^{(1.81103 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{DAP}))}$$

donde:

Edad = Edad de árbol de latifoliadas en años

DAP = Diámetro a la altura de pecho en centímetros

Fórmula para plantación de coníferas

$$Edad_{Coniferas} = e^{(1.916705 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{DAP}))}$$

donde:

Edad = Edad de árbol de latifoliadas en años

DAP = Diámetro a la altura de pecho en centímetros

Tabla 79.
Edades promedio estimado de las UM de plantaciones.

No.	UM de plantaciones	Tipo	Edades calculadas
1	150	Conífera	8
2	234	Latifoliada	13
3	239	Latifoliada	8
4	250	Conífera	23
5	256	Conífera	16
6	320	Conífera	8
7	332	Latifoliada	11
8	360	Latifoliada	11
9	371	Latifoliada	8
10	382	Latifoliada	10
11	384	Latifoliada	12
12	390	Latifoliada	9
13	400	Latifoliada	11
14	519	Latifoliada	15
15	616	Latifoliada	15
16	681	Latifoliada	8
17	684	Latifoliada	13
18	704	Latifoliada	14
Promedio de edad			12

Nota. La tabla muestra la edad estimada por UM, información generada a partir de la información de DAP registrada por INAB. Fuente: elaboración propia.

12.13 Incrementos medios anuales de volumen, biomasa y carbono para plantaciones forestales registradas en el segundo IFN

El incremento medio anual (IMA) corresponde al promedio de incremento determinado hasta el momento actual. Se calcula dividiendo el valor actual entre el tiempo transcurrido o edad. En el marco del segundo IFN, el cálculo del IMA se aplicó específicamente para la biomasa aérea, proporcionando una aproximación al potencial de almacenamiento de carbono y a la productividad de las plantaciones forestales del país.

Los resultados corresponden exclusivamente a las Unidades de Muestreo (UM) que coincidieron con plantaciones forestales, en total 18 UM distribuidas en diferentes regiones del país. A partir de ellas se estimaron los incrementos medios anuales de volumen, biomasa y carbono, diferenciados entre plantaciones de coníferas y de latifoliadas. Estos datos representan un panorama general del comportamiento de las plantaciones en Guatemala.

A continuación, se presenta los IMAS de volumen, biomasa y carbono en las plantaciones de latifoliadas y coníferas.

Tabla 80.
Incrementos medios anuales por tipo de plantaciones

Tipo de plantación	Factor de expansión de biomasa	IMA Volumen m³/ha/año	IMA biomasa aérea ton/ha/año	IMA carbono aéreo ton/ha/año
Plantación de latifoliadas	1.5	10.0	8.7	4.1
Plantación de coníferas	1.2	9.3	5.3	2.5

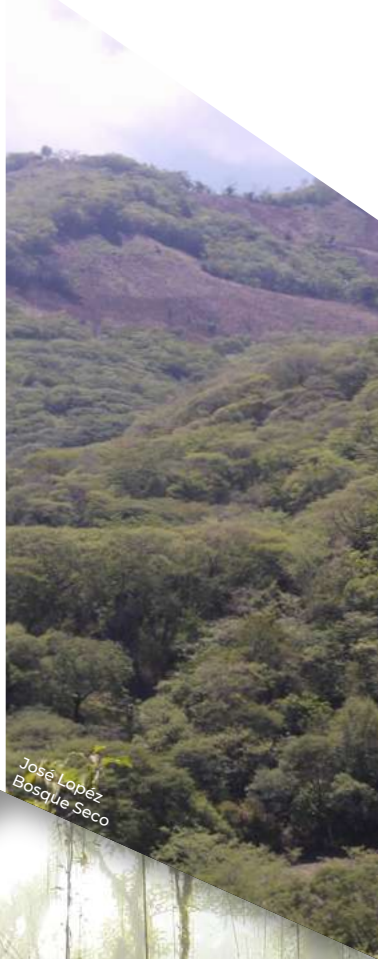
Nota. La tabla muestra los incrementos medios anuales de volumen, biomasa y carbono, determinados con base a la información del segundo IFN. Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del IMA de biomasa aérea, se aplicó el factor de expansión de biomasa y valores de la densidad de la madera de las especies.

Los factores de expansión utilizados son de las guías de buenas prácticas del IPCC 2003 que corresponden a la zona climática “Tropical” para los tipos de bosque “Pino” (conífera) y “Hoja ancha” (latifoliada).



José Lopéz
Peso de hojarasca



José Lopéz
Bosque Seco



Daniel Ariano
Bosque Nuboso



Dulce Mejía
Bosque latifoliado



Dulce Mejía
Control de calidad



José Lopéz
Toma de muestreo



Elmer Álvarez Castillo
Sierra de las Minas