

Explorando los Bosques de Colombia: El Inventario Forestal Nacional y su Contribución al Conocimiento Forestal

Autor(es) -----

Nombres y apellidos completos	Instituto al que pertenece	Autor o colaborador	Correo electrónico
Claudia Patricia Olarte Villanueva	IDEAM	Coautor	colarte@ideam.gov.co
Jorge Andrés Rodríguez Toro	IDEAM	Coautor	jarodriguezt@ideam.gov.co
Rubén Darío Jurado Bastidas	IDEAM	Coautor	rjurado@ideam.gov.co
amilo Andrés Herrera Motta	IDEAM	Coautor	cherrera@ideam.gov.co
Loren Sptefannie Baquero Carvajal	IDEAM	Coautor	lsbaquero@ideam.gov.co
Oscar Fabián Merchán López	IDEAM	Coautor	omerchan@ideam.gov.co
Lina María Caballero Villalobos	IDEAM	Coautor	lmcaballero@ideam.gov.co

Tabla de contenido

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN.....	5
GENERALIDADES DEL IFN.....	5
1. PRESENTACIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS DEL IFN	7
1.1 INDICADORES DASOMÉTRICOS Y DE ESTRUCTURA	8
1.1.1 <i>Número de individuos</i>	8
1.1.2 <i>Área basal y volumen</i>	10
1.1.3 <i>Índice de Valor de Importancia (IVI)</i>	11
1.2 INDICADORES DE COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	11
1.2.1 <i>Endemismos y amenazas</i>	13
1.2.2 <i>Especies indicadoras</i>	14
1.3 INDICADORES DE DIVERSIDAD	16
1.4 INDICADORES DE BIOMASA Y CARBONO	17
1.4.1 <i>Carbono en biomasa aérea, árboles muertos en pie y tocones muertos..</i>	17
1.4.2 <i>Carbono en detritos finos (DFM) y gruesos (DGM) de madera</i>	18
1.4.3 <i>Carbono orgánico del suelo (COS)</i>	19
CONSIDERACIONES FINALES.....	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

Listado Tablas

TABLA 1. LISTADO DE LOS INDICADORES GENERADOS EN EL IFN.....	7
TABLA 2. ESPECIES DE MAYOR VOLUMEN ESTIMADOS A NIVEL NACIONAL	10
TABLA 3. RANGOS TAXONÓMICOS DE LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA (FAMILIAS, GÉNEROS Y ESPECIES) POR REGIÓN NATURAL.	12
TABLA 4. NÚMERO DE ESPECIES ENDÉMICAS Y AMENAZADAS POR REGIÓN NATURAL	13
TABLA 5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD FORESTAL DE LOS BOSQUES DE COLOMBIA A PARTIR DE LOS DATOS DEL IFN PERIODO 2015-2022.	16

Listado Figuras

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE CONGLOMERADOS DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL (PERÍODO 2015-2022)	6
FIGURA 2. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR HECTÁREA ($\Phi > 2,5$ CM), POR CONGLOMERADO.	9
FIGURA 3. HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA: A) DIÁMETRO Y B) ALTURA	9
FIGURA 4. ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA EN CONGLOMERADOS, EN EL PRIMER CICLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL (SERIE 2015-2022).....	11
FIGURA 5. TAXONES MÁS ABUNDANTES POR RANGO (ESPECIE, GÉNERO Y FAMILIA) A NIVEL NACIONAL	12
FIGURA 6. ANÁLISIS DE ESPECIES AMENAZADAS PARA EL IFN SEGÚN LA RESOLUCIÓN 0126 DEL 2024 DEL MADS EN NÚMERO DE INDIVIDUOS. A) AMENAZADAS CON MAYORES ABUNDANCIAS Y B) AMENAZADAS CON MENORES ABUNDANCIAS	14
FIGURA 7. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES INDICADORAS, PERÍODO 2015-2022.....	15
FIGURA 8. CARBONO ACUMULADO EN BIOMASA AÉREA Y SUBTERRÁNEA (MG HA^{-1}) (FIG. A) Y EN ÁRBOLES MUERTOS EN PIE Y TOCONES MUERTOS (FIG. B), A NIVEL DE CONGLOMERADO EN EL PRIMER CICLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL (PERIODO 2015-2022)	18
FIGURA 9. CARBONO ACUMULADO (MG HA^{-1}) EN DETRITOS FINOS DE MADERA (FIG. A) Y DETRITOS GRUESOS DE MADERA (FIG. B) EN CONGLOMERADOS, EN EL PRIMER CICLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL (SERIE 2015-2022)	19
FIGURA 10. PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (%) (FIG. A) Y CARBONO ORGÁNICO ACUMULADO EN EL SUELO (MG HA^{-1}) (FIG. B) EN CONGLOMERADOS, EN EL PRIMER CICLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL (PERIODO 2015-2022)	20

Resumen

La necesidad de contar con información confiable, transparente y comparable sobre los bosques naturales ha cobrado relevancia en los últimos años, principalmente para atender los compromisos adquiridos por Colombia ante las convenciones de cambio climático y la biodiversidad y frente a la necesidad de comprender, evaluar y orientar la toma de decisiones sobre el estado y composición de los recursos forestales.

En este sentido el Inventario Forestal Nacional, se constituye en una herramienta fundamental por los indicadores derivados que amplían la base sobre el conocimiento de los bosques en Colombia en materia de estructura, composición, biomasa y carbono.

En respuesta a lo anterior, y considerando los resultados del primer ciclo de implementación del Inventario Forestal Nacional de Colombia, y el avance de los análisis para el periodo (2015-2022), que ratifican la importancia de los bosques no solo en materia de almacenamiento de carbono, sino su alta diversidad con más de 3991 especies y morfo especies, pertenecientes a 824 géneros y 141 familias, señalan la necesidad de fundar la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal con información de campo, basada en estándares de calidad.

Introducción

Los elementos estratégicos para la toma de decisiones, más y mejor informadas en cuanto al manejo de los bosques colombianos, se basan en la información y el conocimiento existente; en este sentido, generar información oportuna, confiable, consistente y comparable, que permita un mejor conocimiento sobre el estado y las dinámicas de los bosques naturales debe constituir una prioridad para el Estado Colombiano. Es así como el Inventario Forestal Nacional de Colombia (IFN), surge como una herramienta fundamental para la toma de decisiones y se constituye en una respuesta estatal a la carencia de información primaria sobre este recurso estratégico del Estado.

El IFN, como lo describe el Documento Marco Rector de Implementación (Olarte, et al, 2021), está conceptualizado sobre un marco geoestadístico, donde estos dos elementos (el espacial y el estadístico) se analizan conjuntamente para inferir a partir de un muestreo probabilístico de conglomerados aleatorio simple post-estratificado y empleando un proceso de expansión estadística los principales indicadores derivados del levantamiento de campo.

En este informe, se resumen de manera general y a nivel de indicadores, los avances de los análisis derivados del primer ciclo de implementación del IFN para el periodo (2015-2022), como una primera aproximación a los resultados finales que consolidarán toda la información de la línea base (2015-2023)

Es importante resaltar que, en alcance a lo anterior, los datos resultantes, pueden sufrir variaciones y actualizaciones en la medida en que se incorpore a la base de datos la información validada del año 2023; no obstante, y dada la relevancia del ejercicio, se publica este primer avance.

Generalidades del IFN

El Inventario Forestal Nacional de Colombia tiene su origen en la Política de Bosques y el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, donde se definen las bases para la ordenación forestal del territorio, sustentada en su conocimiento, de allí que el IFN, se plantea como la operación estadística mediante la cual se registran objetivamente variables de interés nacional, referidas a los bosques naturales de Colombia, que contribuya al monitoreo y seguimiento de estos ecosistemas.

El IFN, tiene como objetivo principal realizar el acopio, almacenamiento, análisis y difusión de datos cuantitativos y cualitativos que permiten conocer el estado actual y composición de los bosques del país y sus cambios en el tiempo, por lo que su ejecución está diseñada para ejecutarse quinquenalmente, de manera que se provea información periódica con enfoque multipropósito sobre la estructura, composición y diversidad florística, biomasa aérea, carbono en el suelo y los detritos de madera, volumen de madera, calidad, condiciones y dinámica de los bosques del país, constituyéndose en un instrumento estandarizado para el levantamiento de información y caracterización de los bosques y otras

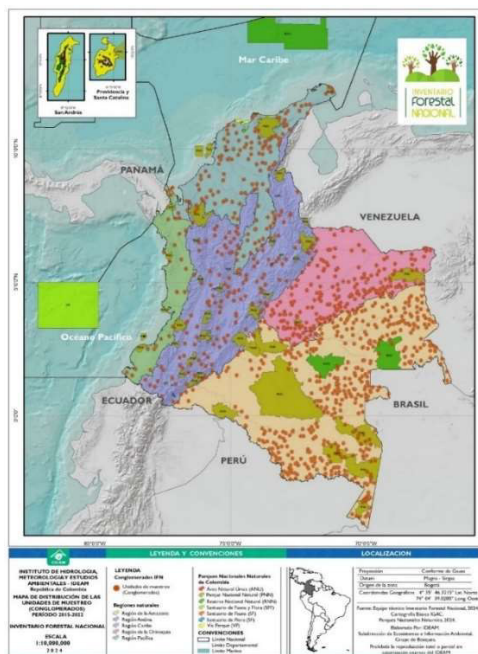
coberturas, que provea lineamientos para la toma de decisiones a nivel nacional, local y regional.

La implementación en campo del primer ciclo del IFN, inició en el año 2015 y cubrió la totalidad del territorio continental e insular colombiano. Para su ejecución se definieron 1479 puntos de muestreo, los cuales se seleccionaron a partir de un muestreo probabilístico, aleatorio simple por conglomerados y post-estratificado con unidades de muestreo basadas en conglomerados. En un muestreo probabilístico, los factores de expansión son coeficientes utilizados para estimar el valor total de una característica de la población a partir de la muestra. Estos factores ajustan los resultados de la muestra para que reflejen las dimensiones reales de la población.

Los indicadores presentados en este documento compilan el análisis de datos para el periodo 2015-2022, considerando 953 puntos de muestreo, para un avance en el análisis de los datos del IFN del 67,5%. De acuerdo a su naturaleza y especificidad algunos se presentan a nivel nacional y otros a nivel regional. En la Figura 1, se observa el mapa de distribución de unidades muestrales (conglomerados) para el periodo de análisis referido.

Es importante enfatizar en que atendiendo a que el primer nivel de post-estratificación es el de región natural, y la región de la Amazonia ocupa 66.87 %, de la superficie boscosa natural colombiana, los análisis derivados presentan una clara influencia de esta región, sobre las demás en consideración a su peso.

Figura 1. Distribución de conglomerados del Inventario Forestal Nacional (Período 2015-2022)



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1. Presentación de los principales resultados del IFN

El IFN, permite dar respuesta a una serie de preguntas fundamentales con relación a los bosques naturales de Colombia: ¿Cuál es el estado actual de los ecosistemas de bosques en cuanto a su extensión, estructura, composición florística, diversidad biológica forestal, su función en cuanto a la fijación de carbono y, su almacenamiento en la biomasa aérea y en el suelo?, entre otras, que se derivan de este proyecto.

Adicionalmente y en el contexto de las negociaciones de *Cambio Climático*, los resultados del IFN, aportan datos fundamentales para establecer los niveles de referencia nacionales sobre emisiones de carbono que eventualmente servirán de base para el establecimiento de compromisos internacionales para la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (Harvey et al. 2010).

Los bosques de Colombia reconocidos como uno de los ecosistemas más diversos del planeta han sido objeto de un exhaustivo análisis de índices de estructura, composición florística, biodiversidad, entre otros, que dan cuenta de su complejidad ecológica. El Inventario Forestal Nacional permite mediante el uso de diversos índices ecológicos y estructurales, evaluar la diversidad forestal del país, cuyos resultados ratifican la complejidad y riqueza existente en ellos.

A continuación, se describe un primer ejercicio de análisis derivado de los datos de campo analizados durante el periodo (2015-2022), en lo relacionado con los indicadores que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Listado de los indicadores generados en el IFN

INDICADOR	CATEGORÍA	UNIDADES	DEFINICIÓN
Dasométricos y de Estructura	Número de individuos por hectárea	No ha ⁻¹	Es una medida que representa la densidad de ocupación de individuos al interior de un bosque.
	Área basal	m ² ha ⁻¹	Es la superficie de área ocupada en una hectárea, obtenida de la sumatorias de las áreas de los individuos a una altura de 1,30 m.
	Volumen	m ³ ha ⁻¹	Se refiere al contenido de madera del árbol, excluyendo el contenido de las ramas. Los volúmenes de madera se estimaron a partir de un factor de forma de 0.7 para individuos arbóreos, 0.5 para palmas y 0.35 para helechos arbóreos.
	Índice de Valor de Importancia (IVI)	0-300 %	Valor ponderado calculado, a partir de variables estructurales: abundancia, frecuencia y dominancia
Biomasa	Aérea	Mg ha ⁻¹	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semilla y follaje,
	Subterránea		Toda la biomasa viva de raíces
Carbono orgánico de suelo		Mg ha ⁻¹	Es la cantidad de carbono presente en la materia orgánica del suelo
Detritos de madera		Mg ha ⁻¹	Son los restos y desechos de madera que se encuentran en los bosques y áreas naturales, ya sea en pie o caída

INDICADOR	CATEGORÍA	UNIDADES	DEFINICIÓN
Composición florística	Riqueza Familias	Número de Taxones	Cantidad de taxones presentes en una unidad muestral .
	Riqueza Géneros		
	Riqueza Especies		
Diversidad	Especies Indicadoras		Especies que permiten interpretar o reflejar una aproximación sobre las diferentes condiciones bióticas o abióticas de cada sitio. Este método examina la abundancia y frecuencia de las especies en diferentes conglomerados
	Riqueza	Número total de especies / conglomerado	Hace referencia a la riqueza de especies de un grupo de hábitats a una escala regional o de paisaje
	Índice de Shannon	Escala de 0 a 5, siendo 5 la mayor diversidad	Mide la diversidad de especies en una comunidad considerando tanto el número de especies presentes como su abundancia relativa. Cuantifica la incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo seleccionado al azar de una muestra.
	Índice de Simpson	Escala de 0 a 1, donde 0 es la mayor diversidad y 1	Índice de diversidad que combina la riqueza y la abundancia proporcional de cada una de las especies de un ecosistema.
	Amenazado	AM	Es la proporción de especies que se encuentran en alguna de las categorías de amenaza definidas por la UICN, los listados del CITES, la resolución 0126 de 2024 o en vedas regionales
Estado de amenaza¹	Vulnerable	Vu	
	En peligro	EN	
	Estado crítico	EC	
	Preocupación menor	LC	
	Casi amenazado	NT	

Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.1 Indicadores dasométricos y de estructura

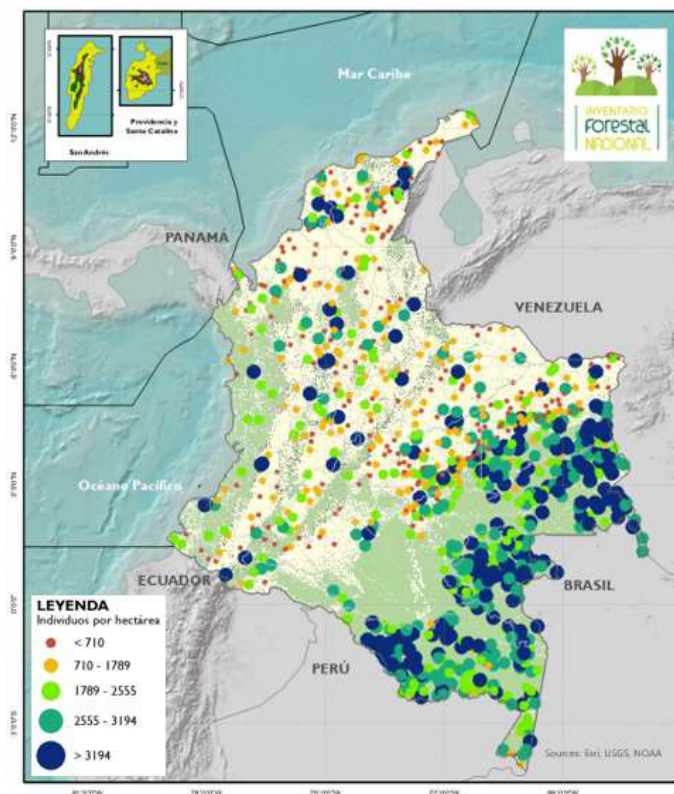
1.1.1 Número de individuos

De acuerdo con los análisis derivados del IFN para el periodo 2015-2022, se reportan 2740 ± 46 individuos arbóreos por hectárea (ha) ($\Phi > 2,5$ cm), para un total de 438.534 millones de árboles, 30.165,08 millones de palmas y 15.710,51 millones de helechos arbóreos, aproximadamente, obtenido de 953 conglomerados, distribuidos en todo el territorio continental e insular de Colombia.

En la Figura 2, se muestra una representación del número de individuos por hectárea, para cada uno de los conglomerados muestreados.

¹ La resolución 0126 de 2024, define las categorías de amenaza en, 1. En Peligro Crítico (CR): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre. 2. En Peligro (EN): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre. 3. Vulnerable (VU): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.

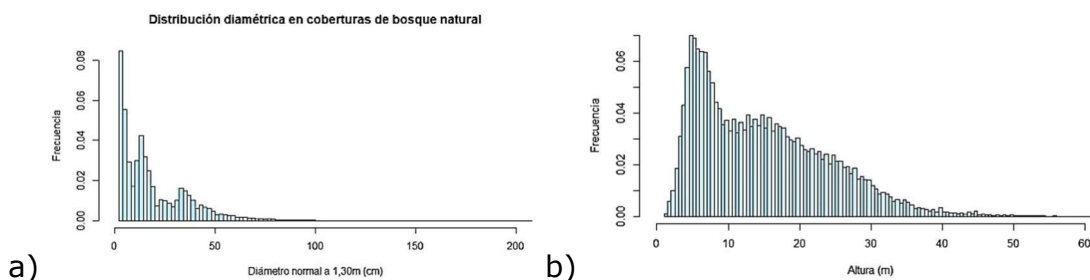
Figura 2. Número de individuos por hectárea ($\Phi > 2,5$ cm), por conglomerado.



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

Los individuos arbóreos registrados alcanzan un diámetro máximo de 284 cm y una altura de hasta 63,85 m. La distribución diamétrica presenta una curva en J invertida, lo que indica una estructura forestal típica de bosque natural tropical, cuyas especies son auto regenerativas y las categorías inferiores pueden en un futuro suplir las categorías superiores (Figura 3a). La mayor frecuencia de altura en los individuos evaluados se registra en los valores entre 5 y 6 metros (Figura 3b).

Figura 3. Histogramas de frecuencia: a) diámetro y b) altura



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.1.2 Área basal y volumen

Los indicadores de área basal y volumen son claves para los análisis derivados con la gestión de bosques y las estimaciones relacionadas con las existencias de carbono. Adicionalmente, la superficie ocupada por el área basal se emplea como indicador en la post-estratificación para definir la categoría de bosque o no bosque.

A nivel de área basal se encontró que la mayor dominancia por hábito corresponde a los árboles, con $20,47 \pm 0,33 \text{ m}^2$ por hectárea, seguidos por las palmas con $1,49 \pm 0,21 \text{ m}^2$ por hectárea, y finalmente los helechos arbóreos con $0,72 \pm 0,05 \text{ m}^2$ por hectárea. En cuanto a los volúmenes² acumulados por hábito de crecimiento, los árboles presentan 20.084,52 millones de m^3 , las palmas 676,28 millones de m^3 , y los helechos arbóreos 259,59 millones de m^3 . En la Tabla 2, se presenta el listado de las principales especies por volumen identificadas

Tabla 2. Especies de mayor volumen estimados a nivel nacional

Nombre científico	Nombre común	% total
<i>Goupia glabra</i>	Macano, chipro, pesá, pilón, irrari, saino	1,13
<i>Erismia japura</i>	Batí, yapurá	1,05
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá, fono, machimango, achí, carguero blanco, carguero de gavián, carguero lombriz, coco cazuelo, fono blanco, carguero de mojarra, cazuelo, coco mojabagua, popay	1,03
<i>Eperua purpurea</i>	Lechoso, baco	0,94
<i>Brosimum utile</i>	Aceitón	0,93
<i>Monopteryx uauacu</i>	Avina, cincuenta centavos, creolino	0,88
<i>Clathrotropis macrocarpa</i>	Sapan	0,84
<i>Micrandra sprucei</i>	Yoirop, Paujil	0,78
<i>Eperua leucantha</i>	Palo rojo, palo colorado	0,68
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Caracolí, plátano maré	0,67
Especies arbóreas nativas restantes		91,06
Total de especies arbóreas nativas		100,00

Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

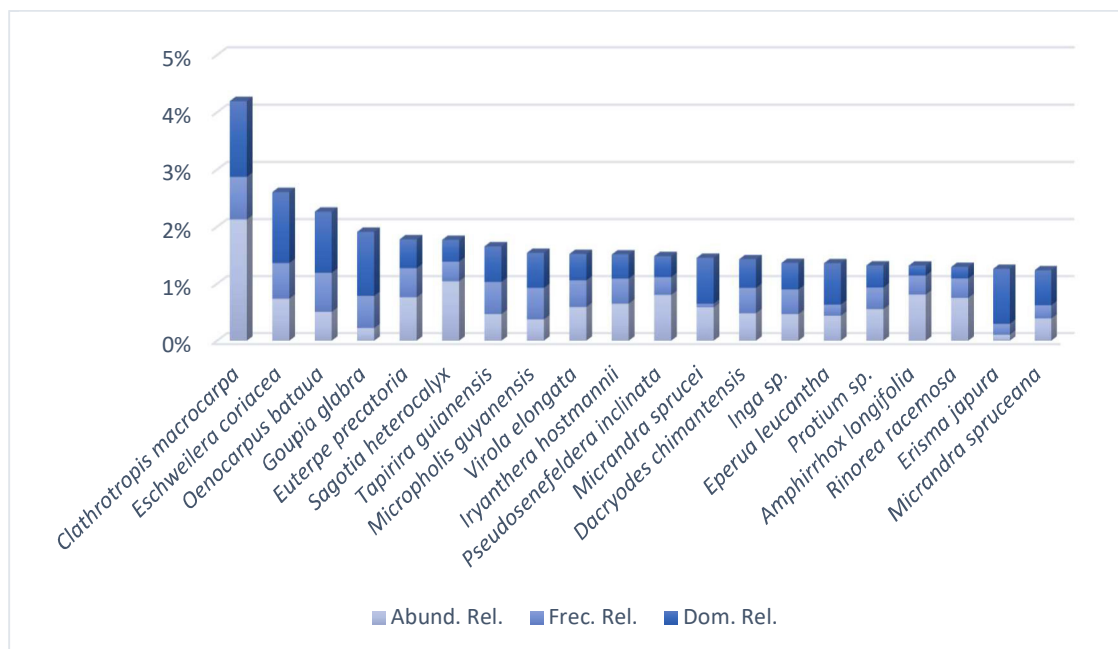
² Análisis de datos para el periodo (2015-2022), que incluye el avance de la depuración y validación de datos taxonómicos. Estos resultados pueden variar cuando se incorpore toda la información del primer ciclo del IFN.

1.1.3 Índice de Valor de Importancia (IVI)

El IVI, señala el peso ecológico o importancia relativa de una especie a través de sus atributos estructurales y toma relevancia ya que permite que especies son más importantes ecológicamente en un ecosistema forestal, además indica que especies son importantes caracterizando estructuralmente la comunidad vegetal.

Al evaluar el Índice de Valor de Importancia ecológico a nivel nacional, se observa que la especie *Clathrotropis macrocarpa* es la más representativa en términos del número de individuos, presencia en unidades muestrales (frecuencia) y dominancia en términos de área basal. En la Figura 4 se presentan las 20 principales especies definidas con este indicador, sin embargo, el 50% del peso ecológico se completa con 35 especies a escala nacional. Es importante subrayar, como las 20 especies presentes en el IVI, tienen una alta distribución en la región de la Amazonía, ratificando lo señalado inicialmente, del peso ecológico de esta región.

Figura 4. Índice de valor de importancia en conglomerados, en el primer ciclo de implementación del Inventario Forestal Nacional (serie 2015-2022)



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.2 Indicadores de composición Florística

Se encontraron 3991 especies y morfoespecies, pertenecientes a 824 géneros y 141 familias botánicas. En la Tabla 3, se observan las diferencias a nivel regional, destacando a la región de la Amazonía, como la región biogeográfica con la mayor cantidad de familias, géneros y especies.

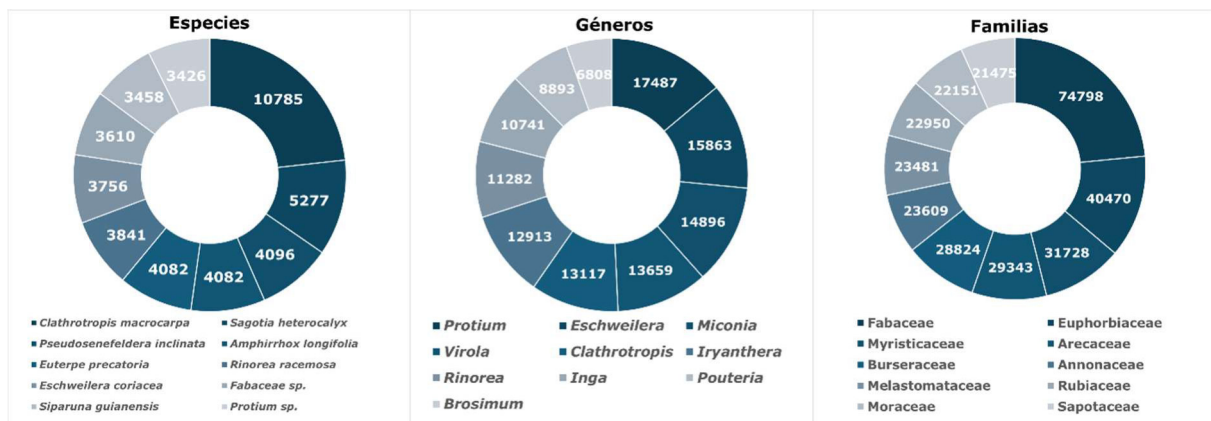
Tabla 3. Rangos taxonómicos de la composición florística (familias, géneros y especies) por región natural.

Región	Familias	Géneros	Especies
Amazonía	112	589	2851
Andes	97	382	1001
Caribe	80	354	664
Orinoquía	82	3391	818
Pacífico	62	243	420
Total Nacional	141	824	3991

Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

En la Figura 5, se presentan los taxones más abundantes por rango a nivel regional

Figura 5. Taxones más abundantes por rango (especie, género y familia) a nivel nacional



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.2.1 Endemismos y amenazas

A nivel de endemismos se encontraron 171 especies endémicas, siendo la región Andina la que registra mayor representatividad con 80 especies, y la de menor número la Orinoquia con 16 (Tabla 4)

Con relación a las categorías de amenaza, se presentaron 99 especies, identificadas bajo los criterios globales de la UICN, 39 con restricciones CITES, 52 con presencia en la resolución 0126 de 2024 y finalmente 176 especies con algún tipo de veda regional. En la Tabla 4, se observan las diferencias a nivel regional.

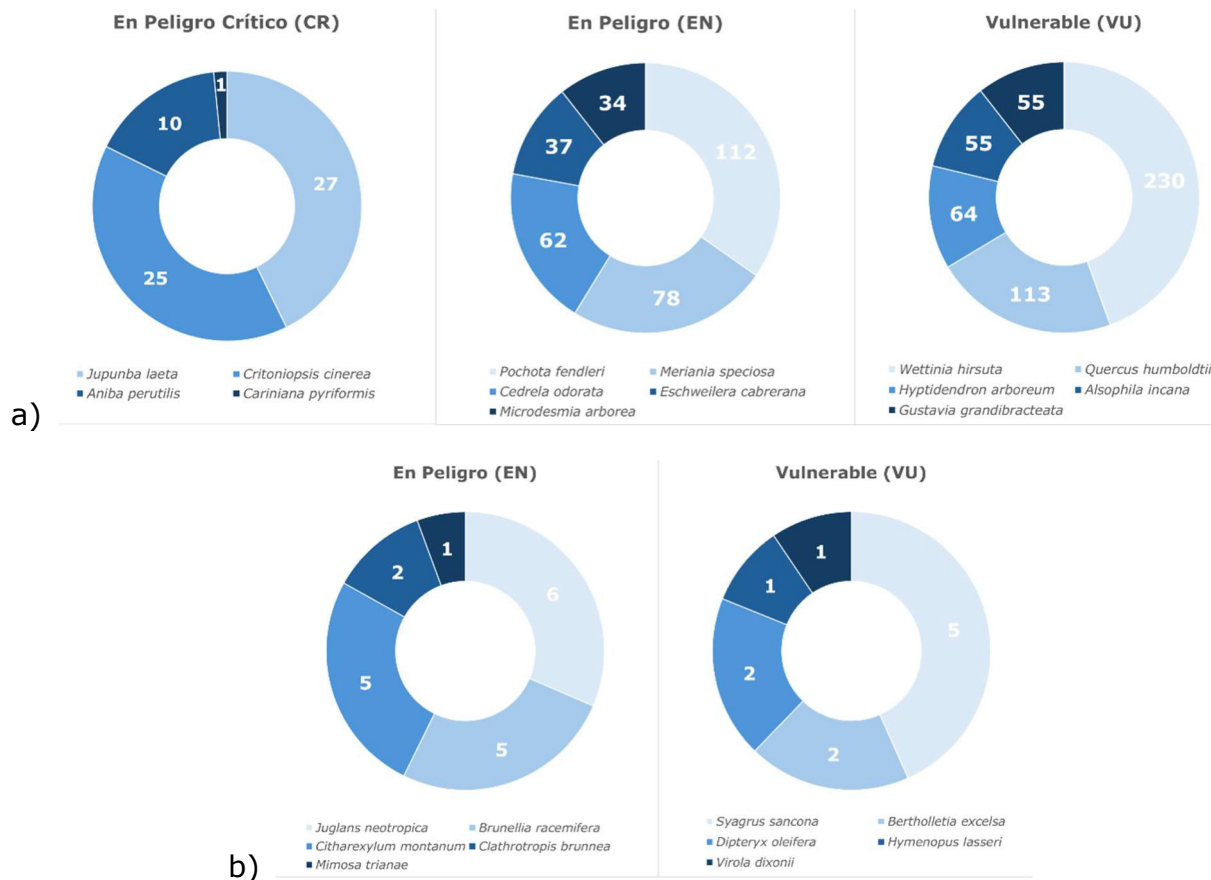
Tabla 4. Número de especies endémicas y amenazadas por región natural

Región	Especies Endémicas	Especies Amenazadas UICN GLOBAL	Especies CITES	Especies Amenazadas R0126-2024	Especies Vedadas
Amazonía	46	50	21	10	93
Andes	80	28	15	21	112
Caribe	28	16	10	18	81
Orinoquía	16	8	8	7	67
Pacífico	30	21	3	9	52
Total Nacional	171	99	39	52	176

Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

Frente a las categorías de amenaza analizadas a nivel nacional, se destaca la presencia las siguientes especies, *Cedrela odorata*, *Aspidosperma polyneuron*, *Brownea santanderensis*, *Gustavia excelsa*, *Huberodendron patinoi*, *Juglans neotropica*, *Mora oleífera*, *Pochota fendleri* y *Wettinia hirsuta*, destacando que la *Cedrela odorata*, se identifica todos los listados de categoría de amenazas internacionales (UICN Global y CITES), nacionales (Resolución 0126-2024) y regionales (Vedas). En la Figura 6, se observan la lista de especies con alguna categoría de amenaza bajo el análisis de la resolución 0126 de 2024.

Figura 6. Análisis de especies amenazadas para el IFN según la Resolución 0126 del 2024 del MADS en número de individuos. a) Amenazadas con mayores abundancias y b) amenazadas con menores abundancias



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

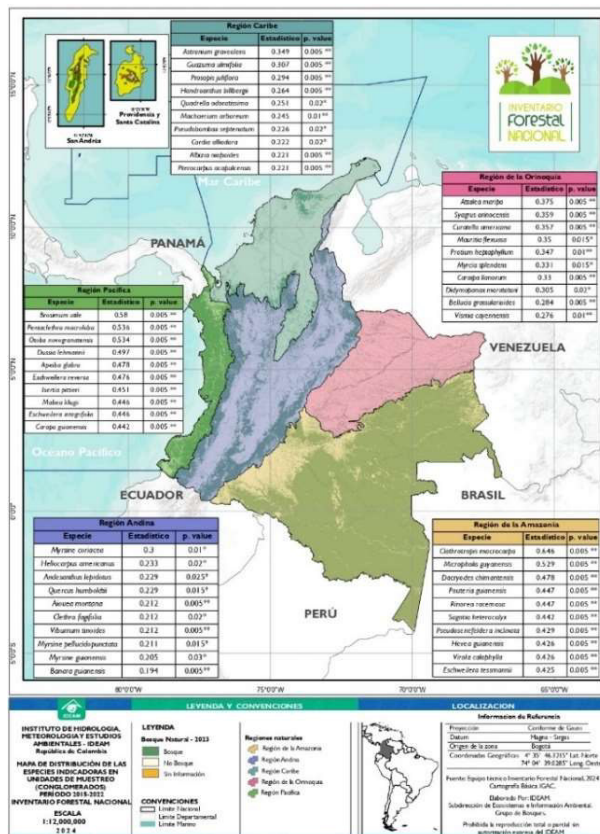
1.2.2 Especies indicadoras

El análisis de especies indicadoras en R es una técnica útil en ecología para identificar qué especies son características de ciertos grupos o condiciones ambientales. Este método examina la frecuencia y abundancia de las especies en diferentes conglomerados. R ofrece herramientas como la función 'indval' del paquete "indicspecies" para realizar estos cálculos, el análisis genera un valor indicador para cada especie, que muestra qué tan bien esa especie señala un grupo particular. Especies con valores altos son consideradas buenos indicadoras. Dufrêne y Legendre (1997).

Son importantes porque su presencia permite interpretar, reflejar o entregar una aproximación sobre las diferentes condiciones bióticas y/o abióticas del sitio; además de proporcionar evidencia de cambios ambientales y predecir las condiciones de diversidad de otros taxones o sitios dentro de un área (De

Cáceres & Legendre, 2009; De Cáceres *et al.*, 2010; De Cáceres *et al.*, 2012) (Figura 7).

Figura 7. Mapa de distribución de las especies indicadoras, período 2015-2022



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

Como se explicó en párrafos anteriores, las especies indicadoras desempeñan un papel crucial en la caracterización de los ecosistemas colombianos, por ejemplo, en la región amazónica, *Clathrophis macrocarpa* se erige como la especie indicadora más importante, siendo típica de los típicos bosques húmedos que definen esta zona. De manera similar, *Brosimum utile* conocida comúnmente como "sande" o "lechero", es indicadora de la región del Pacífico, aunque también se encuentra en la Amazonía, ello subraya su importancia en bosques húmedos el país (Bernal, et al. 2016).

En contraste, la región Caribe, caracterizada por sus bosques secos se encuentra como su especie indicadora a *Astronium graveolens*, también llamada "gusanero" o "diomate". Esta planta, adaptada a condiciones más áridas, refleja la resiliencia de la flora en ambientes con menor precipitación (Rangel-Ch. 2015, Pizano, et al. 2015).

La región de la Orinoquía, con sus extensas sabanas y bosques de galería, presenta como especies indicadoras a las palmas *Attalea maripa* y *Mauritia*

flexuosa. Esta última, conocida como "moriche", es particularmente emblemática formando los característicos "morichales" que son fundamentales para la biodiversidad local y las comunidades humanas (Galeano, et al. 2010; Lasso, et al. 2013).

Finalmente, en la región andina, caracterizada por su variedad altitudinal y climática, *Myrsine coriaceae* se destaca como especie indicadora. Esta planta, adaptada a los ecosistemas de montaña, es un testigo de las condiciones únicas que prevalecen en las cordilleras colombianas (Rangel-CH, 2000; Avella, 2014).

La presencia y abundancia de estas especies no solo nos informan sobre el estado de conservación de sus respectivos ecosistemas, sino que también nos alertan sobre posibles cambios ambientales y climáticos que puedan estar ocurriendo en estas regiones vitales para la biodiversidad colombiana.

1.3 Indicadores de diversidad

Los resultados asociados a estos indicadores revelan información crucial sobre la riqueza y la salud de los ecosistemas boscosos naturales en la Tabla 5, se resumen los principales índices encontrados a partir de levantamiento de conglomerados del IFN.

Tabla 5. Estadística descriptiva de los índices de diversidad forestal de los bosques de Colombia a partir de los datos del IFN periodo 2015-2022.

Estadístico	Riqueza_S	Dominancia_D	Simpson_1-D	Shannon_H	Evenness_e^H/S
Media	32,1183	0,2084	0,7916	2,4305	0,6323
Error típico	0,8395	0,0089	0,0089	0,0374	0,006
Mediana	27	0,09211	0,9079	2,699	0,6022
Moda	1	1	0	0	1
Desviación estándar	25,4777	0,268	0,268	1,1365	0,1819
Curtosis	-0,8476	3,1160	3,1160	-0,4547	0,9643
Coeficiente de asimetría	0,5387	2,0387	-2,0387	-0,7245	0,7458
Rango	99	1	1	4,121	1,2965
Mínimo	1	0	0	0	0,1585
Máximo	100	1	1	4,121	1,455
Nivel de confianza* (95.0%)	1,6476	0,0174	0,0174	0,0735	0,0118

* Los intervalos descritos en la tabla 5, sugieren que las estimaciones son bastante precisas, especialmente para medidas como la equitabilidad los índices de Simpson y dominancia. Por su parte, la estimación de la riqueza de especies tiene un intervalo de confianza relativamente más amplio, lo que podría reflejar una mayor variabilidad en este aspecto entre los diferentes sitios de muestreo.

Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

Como se observa en la Tabla 5, los resultados del análisis de los datos provenientes del Inventario Forestal Nacional revelan una riqueza forestal muy alta, con un promedio de 32 especies de árboles por área muestreada, llegando

incluso a 100 especies en algunos lugares. Esta variedad refleja la alta heterogeneidad de los ecosistemas forestales del país, influenciada por factores como la altitud, el clima y el estado de conservación.

El índice de diversidad de Simpson, que presenta una media de 0,78, refleja una alta diversidad, esto implica una probabilidad elevada de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes (Magurran, 2004). De acuerdo con estos resultados, podemos deducir que los bosques colombianos poseen una estructura compleja y diversa, factor esencial para la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones ambientales (Thompson et al., 2009) (Tabla 5) .

Además de la riqueza de especies, los bosques colombianos muestran una distribución bastante equilibrada de sus poblaciones arbóreas. Esto se refleja en el índice de equidad (Evenness) de 0,63, sugiriendo que estos ecosistemas son maduros y están bien conservados, (Norden, et al, 2009). Esta característica es crucial, ya que contribuye a la estabilidad y resiliencia de los bosques frente a perturbaciones ambientales, como el cambio climático.

El índice de dominancia, con una media de 0,20, sugiere una distribución relativamente equilibrada de las especies en el ecosistema. Este patrón es característico de ecosistemas maduros y estables, donde la coexistencia de diversas especies juega un papel fundamental en el funcionamiento del ecosistema (Duque, et al. 2003).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, con una media de 2,43, corrobora la considerable diversidad de los bosques colombianos. Este valor indica una combinación favorable de riqueza de especies y equidad en su distribución, lo cual es indicativo de ecosistemas más estables y resistentes a perturbaciones. Sumado a lo anterior, tenemos datos de diversidad por sobre 4,12 lo que confirma la alta diversidad forestal de los bosques colombianos.

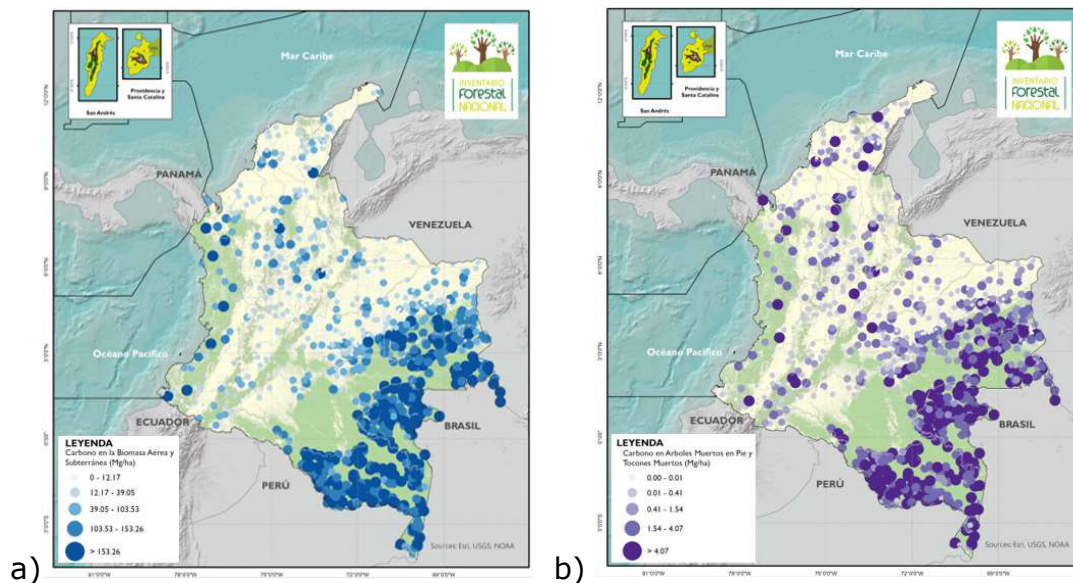
1.4 Indicadores de Biomasa y carbono

1.4.1 Carbono en biomasa aérea, árboles muertos en pie y tocones muertos

Con base en los resultados obtenidos por el IFN para el periodo (2015-2022) se tiene que a nivel nacional en el componente de biomasa aérea por superficie se presenta un promedio de $204,14 \pm 4,42 \text{ Mg ha}^{-1}$, este valor es muy similar a lo reportado por Phillips et al. (2016) con un valor de biomasa aérea promedio de $226,9 \pm 4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Lo que representa un valor total de carbono acumulado en la biomasa aérea (bosque natural y otras coberturas) a nivel nacional de $6,29 \pm 0,13 \text{ Pg}$, de los cuales $5,68 \pm 0,12 \text{ Pg}$ corresponden a bosque natural; este valor total, es estadísticamente equivalente a los $6,44 \pm 0,13 \text{ Pg}$ estimado por Phillips et al. (2016). Si se considera la biomasa total, como la sumatoria de la biomasa aérea y subterránea, Colombia acumula un total de $246,52 \pm 5,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($115,89 \pm 2,46 \text{ Mg de Carbono ha}^{-1}$) de biomasa total por superficie (Figura 8a), lo que equivale a un total de biomasa de $14,61 \pm 0,31 \text{ Pg}$, correspondiente a $6,87 \pm 0,14 \text{ Pg}$ de carbono (Olarte et al., 2024).

En cuanto a los árboles muertos en pie y tocones muertos, se registra una acumulación de $3,39 \pm 0,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono (Olarte et al., 2024), equivalente a un total de $0,56 \pm 0,02 \text{ Pg}$ de carbono (Figura 8b).

Figura 8. Carbono acumulado en biomasa aérea y subterránea (Mg ha^{-1}) (Fig. a) y en árboles muertos en pie y tocones muertos (Fig. b), a nivel de conglomerado en el primer ciclo de implementación del Inventario Forestal Nacional (periodo 2015-2022)

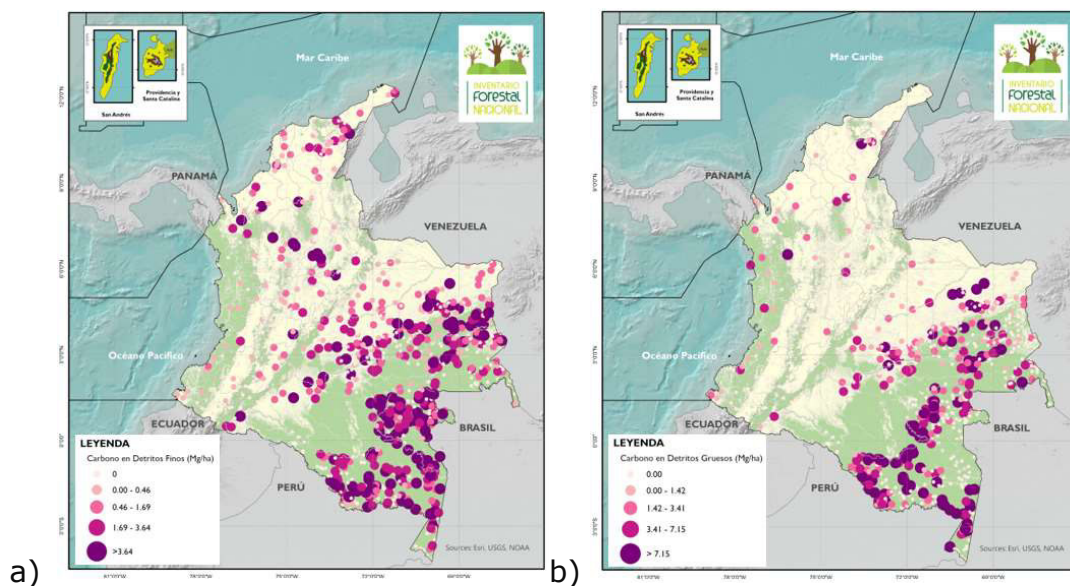


Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.4.2 Carbono en detritos finos (DFM) y gruesos (DGM) de madera

Al analizar el carbono de detritos para los bosques en Colombia se reportan valores de carbono promedio de $1,98 \pm 0,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ en detritos finos y $2,23 \pm 0,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ para detritos gruesos. Esto resulta en una acumulación total neta de $0,11 \pm 0,01 \text{ Pg}$ de carbono y $0,13 \pm 0,01 \text{ Pg}$ de carbono para detritos finos y gruesos, respectivamente (Olarte et al., 2024) (Figura 9).

Figura 9. Carbono acumulado (Mg ha^{-1}) en detritos finos de madera (Fig. a) y detritos gruesos de madera (Fig. b) en conglomerados, en el primer ciclo de implementación del Inventario Forestal Nacional (serie 2015-2022)



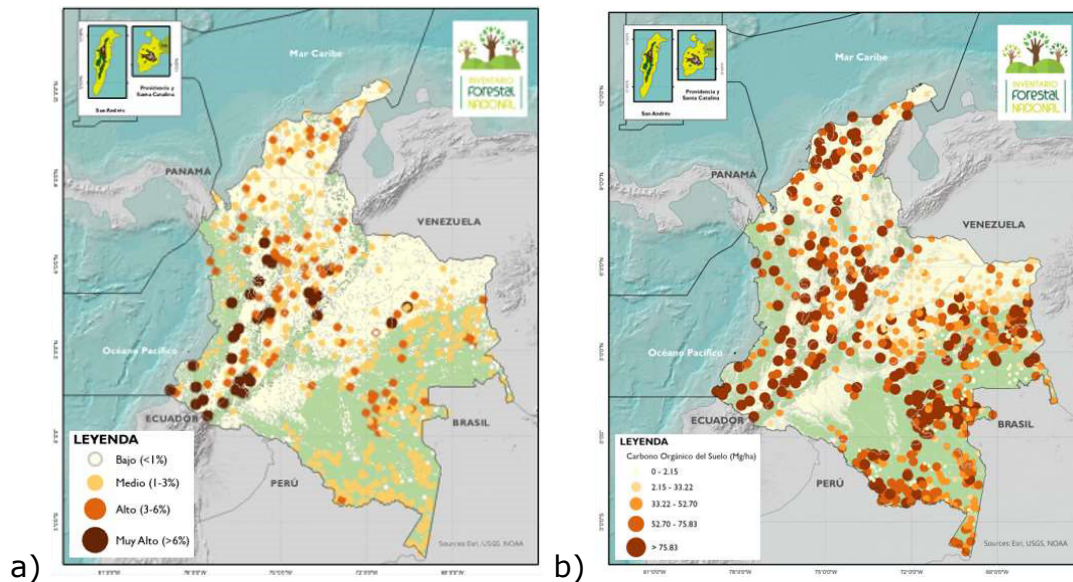
Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

1.4.3 Carbono orgánico del suelo (COS)

A partir de los resultados generados en los análisis de suelo (periodo 2015-2022) del Inventario Forestal Nacional, Colombia registra un promedio de $60,05 \pm 3,42 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Olarte et al., 2024) de carbono orgánico en el suelo, acumulando un total a nivel nacional de $3,56 \pm 0,20 \text{ Pg}$ de COS para los primeros 30 cm de profundidad.

Estos resultados pueden presentar variaciones locales atendiendo a las condiciones específicas de sitio (principalmente la densidad aparente del suelo) que pueden condicionar la cantidad de carbono orgánico acumulado en el suelo (Panagos et al., 2024; Quesada et al., 2020), lo cual origina que suelos con la misma concentración de carbono orgánico posean diferencias en la cantidad acumulada (Figura 10).

Figura 10. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo (%) (Fig. a) y carbono orgánico acumulado en el suelo (Mg ha^{-1}) (Fig. b) en conglomerados, en el primer ciclo de implementación del Inventario Forestal Nacional (periodo 2015-2022)



Fuente: Equipo Inventario Forestal Nacional

Consideraciones finales

- El Inventario Forestal Nacional se perfila como una piedra angular en la investigación forestal colombiana, proporcionando una base sólida para futuros estudios y para la gestión sostenible de uno de los patrimonios naturales más ricos y diversos del planeta, sus bosques naturales. A medida que se acumulen datos a lo largo de los años el IFN promete revelar respuestas aún más profundas sobre la ecología forestal, contribuyendo así, a la preservación y el manejo adecuado de estos ecosistemas vitales para el bienestar humano y la estabilidad ambiental global.
- El Inventario Forestal Nacional representa un avance significativo en la comprensión de los ecosistemas forestales de Colombia, al proporcionar por primera vez un set de datos robusto, con una metodología estandarizada y comparable que cubre todo el territorio nacional.
- Los resultados obtenidos en los indicadores de diversidad muestran que la alta riqueza de especies, diversidad y equidad en la distribución de individuos otorga a estos bosques una mayor capacidad para resistir y adaptarse a perturbaciones ambientales (resiliencia ecológica). Consecuentemente, se enfatiza la importancia de conservar estos ecosistemas para mantener su valor ecológico y los servicios que proporcionan. (Thompson et al., 2009; Isbell et al., 2015).

- La variabilidad en la riqueza de especies subraya la diversidad de tipos de bosques existentes (tipos de ecosistemas 32 de IDEAM, 2017), desde áreas extremadamente ricas en especies hasta zonas con menor diversidad. Esta heterogeneidad destaca la importancia de implementar estrategias de conservación diferenciadas y adaptadas a las características específicas de cada área (Armenteras et al., 2013).
- No obstante, la variabilidad en los índices también indica que algunas áreas pueden estar bajo mayor presión o degradación. En consecuencia, se requieren esfuerzos de conservación focalizados para asegurar la preservación de estas zonas más vulnerables. Finalmente, cabe destacar que la rica biodiversidad forestal de los bosques colombianos ofrece oportunidades excepcionales para la investigación científica.
- Las cifras que se presentan frente a los análisis de endemismos y categorías de amenaza deben ser evaluadas y contrastadas con otros parámetros estructurales, poblacionales, etc, de manera que se generen lineamientos específicos de manejo para especies de interés.
- La especie *Cedrela odorata* requiere un análisis más detallado debido a su estatus crítico de conservación. Su presencia en múltiples listados de categorías de amenaza, incluyendo la Lista Roja de la UICN a nivel global, la Resolución 0126 de 2024, CITES y diversas vedas regionales, subraya la urgencia de su estudio. Adicionalmente, los datos del Inventario Forestal Nacional revelan su ausencia entre las especies con mayor peso ecológico, lo cual es consistente con su condición de amenaza y resalta la necesidad de acciones de conservación inmediatas.

Referencias Bibliográficas

- Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., & Morales, M. (2013). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 13(6), 1181-1193.
- Avella-M., A., & Rangel-Ch, J. O. (2014). Oak forests of *Quercus humboldtii* in the Caribbean region and distribution patterns related with environmental factors in Colombia. *Plant Biosystems*, 148(2), 137-153.
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., & Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology letters*, 9(10), 1146-1156.
- Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2016). Catalogue of the Plants and Lichens of Colombia PART 1. <https://www.researchgate.net/publication/329220623>
- De Cáceres, Miquel, and Pierre Legendre. 2009. "Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference." *Ecology* 90 (12): 3566-74.

- De Cáceres, Miquel, Pierre Legendre, and Marco Moretti. 2010. "Improving indicator species analysis by combining groups of sites." *Oikos* 119 (10): 1674–84.
- De Cáceres, Miquel, Pierre Legendre, Susan K. Wiser, and Lluís Brotons. 2012. "Using Species Combinations in Indicator Value Analyses." *Methods in Ecology and Evolution*, in press.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997), Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monograph*. Vol. 67, Issue 3. Pag 345-366.
- Duque, A.J., Cárdenas, D. & Rodríguez, N. (2003). Dominancia florística y variabilidad estructural en bosques de tierra firme en el noroccidente de la Amazonia Colombiana. *Caldasia*, 25, 139-152.
- Galeano, G., & Bernal, R. (2010). *Palmas de Colombia. Guía de Campo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gentry, A. H. (1988). Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1-34.
- Harvey, C.A., Dickson, B. and Kormos, C. 2010 Opportunities for achieving biodiversity conservation through REDD. *Conservation Letters* 3(1): 53-61.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Instituto Humboldt), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Memoria técnica. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000. 170 pp
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., & Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526(7574), 574-577.
- Lasso, C. A., Rial, A., & González-B., V. (Eds.). (2013). VII. Morichales y cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia - Venezuela. Parte I. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Science.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Nieto, J., Gonzales-M, R., Medina, S., Aldana, A., Álvarez, E., Avella, A., Berdugo, M. L.,... Salgado-Negret, B. (2017). Diversidad funcional en los bosques de Colombia. En Moreno, L. A., Andrade, G. I., y Ruiz-Contreras, L. F. (Eds.). 2016. Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.

- Norden, N., Chazdon, R. L., Chao, A., Jiang, Y. H., & Vélchez-Alvarado, B. (2009). Resilience of tropical rain forests: tree community reassembly in secondary forests. *Ecology Letters*, 12(5), 385-394.
- Olarte, C. P., Rodríguez, J. A., Jurado, R. D., & Hernández, J. S. (2024). Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera, a partir de los datos del Inventario Forestal Nacional. Ideam.
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C. D. L., Petchey, O. L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K. B., Mace, G. M., Martín-López, B., Woodcock, B. A., & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 30, Issue 11, pp. 673-684). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Panagos, P., De Rosa, D., Liakos, L., Labouyrie, M., Borrelli, P., & Ballabio, C. (2024). Soil bulk density assessment in Europe. *Agronomy and Environment*, 364, 108907.
- Phillips, J., Duque, A., Scott, C., Wayson, C., Galindo, G., Cabrera, E., . . . Yepes, A. (2016). Live aboveground carbon stocks in natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 374, 119-128.
- Pizano, C., & García, H. (Eds.). (2014). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Quesada, C., Paz, C., Mendoza, E., Phillips, O., Saiz, G., & Lloyd, J. (2020). Variations in soil chemical and physical properties explain basin-wide Amazon forest soil carbon concentrations. *Soil*, 6, 53-88.
- Rangel-Ch, J. O. (Ed.). (2000). *Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá.
- Rangel-Ch, J. O. (Ed.). (2015). *Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43.