

---

**Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación  
y la degradación de bosques en los países en desarrollo**

**ONU-REDD**

**Programa nacional Panamá**

**INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE CARBONO DE PANAMÁ**

**RESULTADOS DE LA FASE PILOTO 2013-2015**

**Panamá, 2015**

# **INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE CARBONO DE PANAMÁ**

## **RESULTADOS DE LA FASE PILOTO 2013-2015**

Preparado por: Carlos Melgarejo, Víctor Corro, María del Carmen Ruiz Jaén, Asdrúbal Calderón y María Sánchez de Stapf

Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo (ONU-REDD)

Programa nacional Panamá

MINISTERIO DE AMBIENTE

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA

## Contenido

Siglas y Acrónimos .....	4
1 Antecedentes .....	5
2 Diseño del INFC .....	6
2.1 Alcance y objetivos.....	6
2.2 Organización y vínculos institucionales.....	6
3 Mediciones de campo .....	7
3.1 Mediciones en la unidad de muestreo .....	7
4 Reservorios de carbono considerados en el INFC .....	10
5 Sistema de clasificación y definiciones .....	11
6 Principales procedimientos de cálculo.....	12
6.1 Estimaciones a nivel de árbol, parcela y transecto .....	12
6.1.1 Volumen total del árbol.....	12
6.1.2 Volumen comercial del árbol .....	13
6.1.3 Biomasa aérea .....	13
6.1.4 Biomasa subterránea.....	15
6.1.5 Estimación del carbono en la biomasa .....	15
6.1.6 Carbono en madera muerta - tocones .....	15
6.1.7 Carbono en madera muerta caída.....	16
6.1.8 Carbono en hojarasca.....	17
6.1.9 Carbono en materia orgánica del suelo .....	17
6.1.10 Estimación del CO <sub>2</sub> equivalente .....	18
6.2 Estimaciones de totales poblacionales y por categoría de uso.....	18
6.2.1 Aplicación de factores de ajuste por representatividad.....	18
6.2.2 Fórmulas utilizadas para estimar valores poblacionales de volumen, biomasa y carbono.....	18
6.2.3 Estimación del error de muestreo.....	19
7 Resultados de la fase piloto del INFC .....	22
7.1 Descripción general de los datos levantados .....	22
7.2 Superficie por categoría de uso de tierra .....	23
7.3 Estructura del bosque .....	24
7.4 Reservorios de volumen, biomasa y carbono .....	26
7.4.1 Especies de interés comercial .....	30
7.5 Diversidad biológica .....	33
7.5.1 Especies amenazadas y endémicas .....	37
7.5.2 Nuevos reportes .....	38
7.6 Topografía y suelos .....	38
8 Lecciones aprendidas y buenas prácticas .....	40
8.1 Coordinación y logística del trabajo de campo .....	40
8.1.1 Misiones de reconocimiento .....	40
8.1.2 Composición de cuadrillas de campo .....	40
8.2 Recolecta de datos de campo .....	41
8.3 Contratación de empresas forestales y ONG .....	42
8.4 Control de calidad .....	43
9 Conclusiones y recomendaciones .....	43
Anexo 1. Sistema de clasificación de cobertura y uso de la tierra para el sistema nacional de monitoreo de los bosques. ....	44

## Siglas y Acrónimos

<b>CLPI</b>	Consentimiento Libre, Previo e Informado
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CUT</b>	Clase de uso de la tierra
<b>DAP</b>	Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (siglas en inglés)
<b>GPS</b>	Sistema de posicionamiento global (siglas en inglés)
<b>ha</b>	Hectárea (100 m x 100 m)
<b>INFC</b>	Inventario nacional forestal y de carbono
<b>IPCC</b>	Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (siglas en inglés)
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado (1 x 1 m)
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>MIAMBIENTE</b>	Ministerio de Ambiente
<b>ONG</b>	Organización no gubernamental
<b>ONU-REDD</b>	Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo
<b>REDD+</b>	Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo, y el papel de conservación, ordenación sostenible de los bosques y aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo
<b>SNMB</b>	Sistema Nacional de Monitoreo de los Bosques
<b>t C</b>	Tonelada de Carbono
<b>t</b>	Tonelada métrica
<b>tCO<sub>2</sub>e</b>	Tonelada equivalente de CO <sub>2</sub>
<b>UM</b>	Unidad de muestreo

## 1 Antecedentes

ONU-REDD es una iniciativa de colaboración para reducir las emisiones de la deforestación y la degradación de bosques (REDD+) en los países en desarrollo. El Programa se lanzó en 2008 y cuenta con el apoyo técnico y financiero del Sistema de las Naciones Unidas a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

El programa nacional ONU-REDD Panamá se está implementando desde enero de 2011 con el Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE)<sup>1</sup> como institución nacional responsable para la coordinación e implementación del programa.

Un componente importante del programa ONU-REDD Panamá es el diseño y puesta en marcha de un “Sistema Nacional de Monitoreo de los Bosques” (SNMB). Este sistema tiene varios subcomponentes; uno de ellos el Inventario Nacional Forestal y de Carbono (INFC) multipropósito que, además de la información requerida por el mecanismo REDD+, también proporcionará otra información importante para la formulación y seguimiento de políticas nacionales de gestión forestal sostenible, y para preparar informes para instancias nacionales e internacionales. En particular, para REDD+, el INFC proveerá información para establecer los factores de emisión, un componente fundamental para estimar y reportar sobre las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero del sector forestal, las actividades REDD+, y también para evaluar algunas de las salvaguardas para este mecanismo.

El INFC es prioridad del país, según lo manifestó MIAMBIENTE en varias ocasiones, ya que el último y único inventario nacional forestal en Panamá fue realizado en el periodo 1972-74 con un enfoque de aprovechamiento forestal. En el marco del programa ONU-REDD Panamá, el apoyo técnico para el desarrollo del SNMB, incluyendo el INFC, ha sido brindado por la FAO.

El presente documento contiene los resultados de la fase piloto del INFC y forma parte de la documentación relacionada con el inventario, tal como el informe técnico sobre el diseño del inventario, manuales y guías de campo, formularios, bases de datos, entre otros.

Los datos y estimaciones de la fase piloto del INFC presentados en este documento deben ser tratados con mucho cuidado y prudencia por sus altas incertidumbre asociadas, debidas al bajo número de unidades de muestreo levantadas. Estas estimaciones no deben utilizarse como datos oficiales, pero sí pueden ser utilizadas como indicaciones preliminares.

---

<sup>1</sup> El Ministerio de Ambiente fue creado en 2014 a partir de la Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM). En este documento se utiliza MIAMBIENTE en referencia a ambas instituciones.

## 2 Diseño del INFC

El diseño del INFC se presenta en detalle en el informe técnico “*Diseño de la fase piloto 2013-2015 y propuesta para la fase final*”. A continuación se presenta un breve resumen para facilitar la comprensión de los resultados del INFC.

### 2.1 Alcance y objetivos

En un proceso de diálogo con MIAMBIENTE se definió, en términos generales, el alcance del INFC:

- Geográfico. Ámbito nacional.
- Temático. Multipropósito, atendiendo no sólo los requerimientos para REDD+, sino también las necesidades de información para apoyar la formulación y monitoreo de la política forestal y la gestión forestal sostenible del país.
- Temporal. Continuo con parcelas permanentes, que permita evaluar mejor los cambios ocurridos y la dinámica del bosque.

Como Panamá no contaba con experiencias recientes sobre inventarios forestales, fue necesario dedicar mucho tiempo al diseño metodológico y se decidió realizar un inventario piloto con los siguientes objetivos:

- obtener información sobre la variabilidad natural de indicadores clave;
- establecer costos y tiempos de las diferentes tareas y actividades;
- probar y mejorar la metodología desarrollada para el trabajo de campo, base de datos, formularios y manuales de campo, e identificar cómo organizar el trabajo y la logística relacionada; y
- capacitar a técnicos y profesionales de MIAMBIENTE, de empresas forestales consultoras, ONG y pueblos indígenas, en la metodología propuesta para el levantamiento de los datos de campo.

### 2.2 Organización y vínculos institucionales

La coordinación de la fase piloto del INFC fue compartida entre MIAMBIENTE y FAO. Además, debido a que la información botánica es fundamental para determinar el contenido de carbono de los bosques tropicales de Panamá, se estableció un acuerdo con el Herbario de la Universidad de Panamá que permitió:

- Establecer una colección de referencia de muestras botánicas para especies presentes en las UM del INFC.
- Ampliar la colección del Herbario de la Universidad de Panamá con muestras de las especies georreferenciadas obtenidas durante la fase piloto del INFC.
- Identificar y verificar las muestras botánicas registradas durante la primera fase del INFC.

- Sistematizar la información generada en campo y laboratorio utilizando: a) el programa de manejo de datos que emplea el Herbario de la Universidad de Panamá, Brahms; b) la base de datos botánica de la fase piloto del INFC.
- Fortalecer las capacidades institucionales a través de actividades que incluyeron intercambio de experiencias, capacitación de pasantes y nuevo personal del Herbario de la Universidad de Panamá en técnicas de herbario, procesamiento y digitalización de material vegetal.

La colección de referencia botánica tiene en total 1,897 especímenes montados y archivados, distribuidos en 101 familias y 559 especies.

Adicionalmente, los análisis del contenido de carbono en hojarasca y suelos, fueron llevados a cabo por el laboratorio de análisis del Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

### **3 Mediciones de campo**

#### **3.1 Mediciones en la unidad de muestreo**

Las consideraciones y detalles sobre la forma y tamaño de las parcelas y subparcelas para la fase piloto del INFC se encuentran en el informe técnico *“Diseño de la fase piloto 2013-2015 y propuesta para la fase final”*.

En la fase piloto, la unidad de muestreo (UM) fue conformada por un conglomerado de 4 parcelas permanentes de 20 x 250 m en forma de cruz a 25 m equidistantes del punto central (Figura 1). Cada parcela fue subdividida en segmentos para medir árboles de distintas clases diamétricas; además cada parcela tenía tres subparcelas para medir regeneración, tres subparcelas muy pequeñas para medir hojarasca, y tres transectos para medir madera muerta caída.

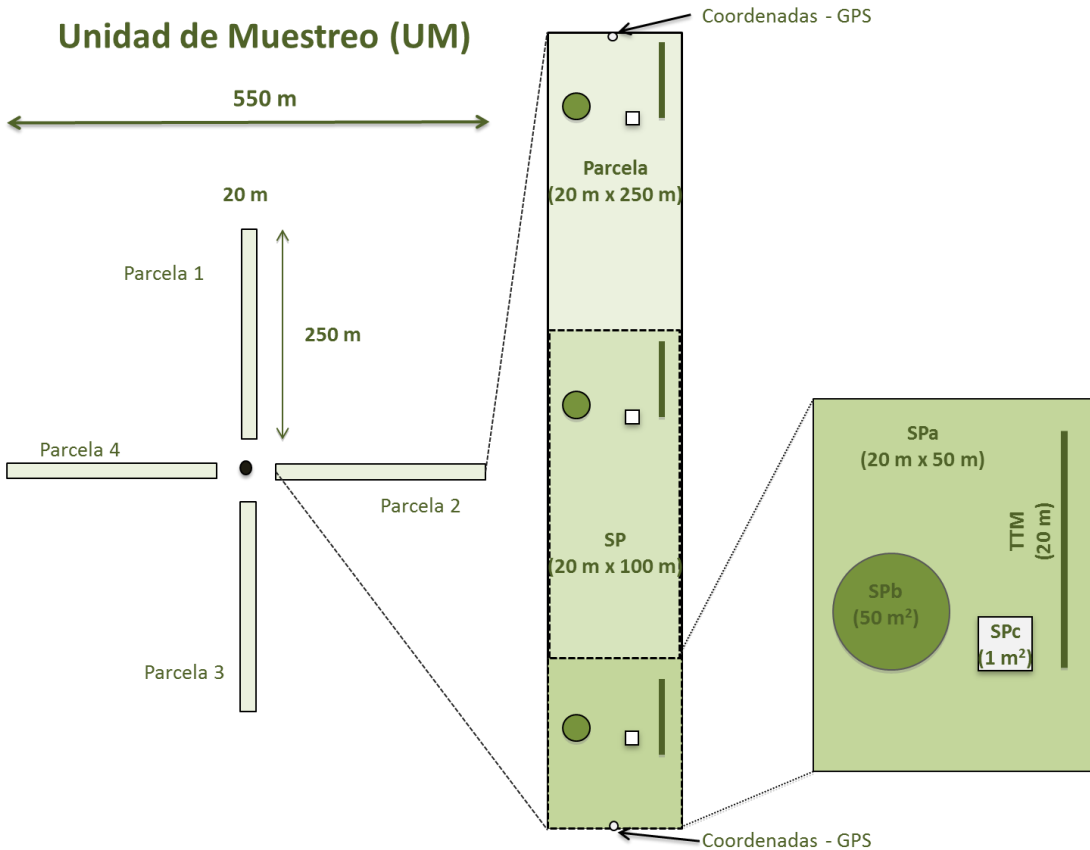


Figura 1. Detalle del diseño de la UM, parcelas y subparcelas anidadas utilizadas en la fase piloto del INFC.

En todas las UM se tomaron mediciones de árboles, hojarasca, madera muerta y suelos, y se hicieron observaciones sobre el uso de la tierra, el estado de degradación de los bosques y diversas variables ambientales, así como de información socioeconómica (Tabla 1). Mayores detalles sobre las mediciones recolectadas en campo y protocolos de medición se encuentran en el documento “Manual de Campo”.

Tabla 1. Detalle de las mediciones y observaciones realizadas en campo durante la fase piloto del INFC.

Unidad	Descripción
<b>Descripción de la Unidad de Muestreo (UM)</b>	
UM	Acceso a la UM: coordenadas del punto de inicio (lugar donde estacionó el vehículo/lancha) y registro de la hora de partida hacia la UM.
UM	Ubicación del punto central: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadas con GPS de alta precisión del punto central de la UM.</li> <li>• Marca permanente en el punto central (varilla de hierro).</li> <li>• Tres puntos de referencia para la ubicación del punto central de la UM.</li> <li>• Fotos: (1) del GPS de alta precisión mostrando las coordenadas y elevación donde se colocó el punto central, y (2) de la pantalla del GPS de alta precisión desde el punto central en dirección a cada punto cardinal.</li> </ul>
UM	Entrevista con una o dos personas de la localidad para obtener información socioeconómica sobre el poblado de influencia de la UM.



Unidad	Descripción
UM/ Parcela (P)	Largo de la parcela: se toman coordenadas con GPS de alta precisión en el punto inicial y final (250 m) de cada parcela.
<b>Cobertura y uso de la tierra</b>	
P	En el eje central a 25 m, 75 m, 125 m, 175 m y 225 m, se indica el tipo de cobertura y uso de la tierra con base en el sistema de clasificación elaborado por MIAMBIENTE-FAO (Anexo 1).
P	Croquis con las divisiones de las distintas coberturas boscosas y usos de la tierra, con la identificación de los dueños de cada cobertura o uso.
<b>Mediciones para estimar abundancia, área basal, volumen, biomasa aérea y carbono en la biomasa.</b>	
P	Mediciones de los árboles y palmas <i>iguales o mayores a 50 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho)</i> . Siempre se mide la altura total y de fuste con clinómetro, y se determina la especie del árbol.
Subparcela (SP)	De 50 m a 150 m del eje central de cada parcela, se miden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• diámetro, altura total, altura de fuste, y se identifican a nivel de especie, los árboles, palmas y helechos arbóreos <i>mayores o iguales a 20 cm de DAP</i>.</li> <li>• diámetro de las <i>lianas</i> iguales o mayores a <i>10 cm de diámetro</i>, a una distancia de 1.3 m desde el nacimiento de la liana.</li> </ul>
SPa	En los primeros 50 m de cada parcela, se miden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• diámetro, altura total y altura de fuste, y se identifican a nivel de especie, los árboles, palmas y helechos arbóreos <i>mayores o iguales a 10 cm de DAP</i>.</li> <li>• diámetro de las lianas iguales o mayores a <i>5 cm de diámetro</i>, a una distancia de 1.3 m desde el nacimiento de la liana.</li> </ul>
SPb	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 5 m a la izquierda, se mide la regeneración natural contando todos los tallos leñosos menores de 10 cm de DAP y mayores de 1.3 metros de altura, y se clasifican en <i>árboles/bambúes/helechos arbóreos/lianas/palmas</i> . No se incluyen las especies arbustivas.
SPc	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 2 m a la derecha, se mide: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de cobertura y altura promedio de plantas no leñosas (hierbas leguminosas/pasto mejorado/natural).</li> </ul>
<b>Madera muerta</b>	
P, SP y Spa	Se determina el diámetro y altura total de todos los árboles muertos en pie, utilizando la misma metodología que para los árboles vivos.
Spa	En los primeros 50 m de cada parcela se registran todos los tocones mayores de 10 cm de diámetro superior.
Transecto de Madera Muerta (TMM)	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 5 m a la derecha, se mide: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro y grado de descomposición de todos los troncos caídos iguales o mayores de 5 cm de diámetro, que toquen transversalmente un transecto de 20 m.</li> </ul>
<b>Hojarasca</b>	
SPc	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 2 m a la derecha, se mide el contenido de humedad y se recolecta y pesa la hojarasca presente en 1 m <sup>2</sup> (se devuelve, una vez se pesa).
UM	En el punto central se recolecta la hojarasca presente en 1 m <sup>2</sup> para determinar el contenido de carbono en el laboratorio.

Unidad	Descripción
<b>Carbono en la materia orgánico del suelo</b>	
SPc	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 2 m a la derecha, se mide la presencia de materia orgánica, textura y color del suelo de 0-10 cm de profundidad.
UM	En el punto central se establece una calicata de aproximadamente 4 m <sup>2</sup> por 1 m de profundidad, se toman muestras de suelo para determinar densidad aparente y contenido de carbono en la materia orgánica del suelo en tres horizontes: 0-30 cm, 30-60 cm y >60 cm de profundidad.
<b>Otras mediciones</b>	
Parcela	<i>Degradación:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se registra la condición fitosanitaria y calidad de fuste de los árboles medidos.</li> <li>• Se determina la presencia de quema y tala de los tocones y árboles caídos encontrados.</li> </ul>
UM	<i>Fertilidad de suelos:</i> se recolectan cuatro barrenos de 2.22 cm de diámetro por 30 cm de profundidad en cada esquina de la calicata establecida en el punto central.
SPc	A 25 m, 125 m y 225 m del eje central, desplazándose 2 m a la derecha, se miden la topografía, erosión, pendiente, pedregosidad, drenaje y color del suelo.
Parcela	<i>Diversidad florística:</i> se recolecta una muestra botánica para cada especie de los árboles presentes en la unidad de muestreo, para formar parte de una colección de referencia.

#### 4 Reservorios de carbono considerados en el INFC

A partir de la información levantada en el campo, se estimaron los cinco reservorios de carbono terrestre sugeridos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), los cuales consisten en:

- (1) *biomasa aérea:* toda biomasa sobre el suelo que se encuentra presente en los tallos, lianas, ramas, corteza, semillas y follaje. Este reservorio se estima con modelos alométricos de biomasa a partir de las mediciones de campo.
- (2) *biomasa subterránea:* toda biomasa de raíces vivas mayores de 2 mm de diámetro. Este reservorio se estima con modelos alométricos que relacionan la biomasa aérea con la biomasa subterránea.
- (3) *Madera muerta:* toda la necromasa contenida en árboles en pie o caídos y tocones. La madera muerta en pie con diámetro igual o mayor de 10 cm así como los tocones, se estiman con ecuaciones alométricas. La madera muerta caída con diámetro igual o mayor a 5 cm se estima a partir de mediciones de transectos. En ambos casos se registra el estado de descomposición de la madera para la estimación del contenido de carbono.
- (4) *Hojasca:* comprende toda la necromasa en hojas, flores, frutos y ramas menores de 2 mm de diámetro, en varios estados de descomposición, y que yace sobre el suelo mineral u orgánico. Se pesa la hojarasca húmeda en el campo y se lleva una muestra al laboratorio para determinar el grado de humedad y contenido de carbono.

- (5) *Materia orgánica en suelo*: se mide el carbono orgánico hasta 1 m de profundidad en tres horizontes: 0-30 cm, 30-60 cm y >60 cm. En cada horizonte se toman muestras para determinar en el laboratorio la densidad aparente y contenido de carbono en la materia orgánica. En los informes nacionales a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), debe reportarse solamente el contenido de carbono en los primeros 30 cm de profundidad; sin embargo, para mejorar la información de suelos en el país, se levantó información en los tres horizontes y se realizaron análisis adicionales.

## 5 Sistema de clasificación y definiciones

Para el Sistema Nacional de Monitoreo de los Bosques se desarrolló un nuevo sistema de clasificación de cobertura y uso de la tierra. Este sistema es jerárquico, coherente, con definiciones más precisas de las categorías y acorde con las principales categorías establecidas por el IPCC. La definición del bosque es un elemento fundamental de este sistema, en particular debido a que en los reportes a la CMNUCC, el país debe informar sobre la definición de bosque utilizada. Luego de un amplio proceso de consulta y debate, y una revisión final por MIAMBIENTE, se decidió optar por la definición de bosque que se muestra en el recuadro a continuación.

**Bosque:** Tierra que se extiende por más de 0.5 hectáreas, dotada de árboles de una altura superior promedio a 5 metros, una cubierta de dosel superior al 30 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar estos umbrales in situ, siempre y cuando se trate de tierras que hayan sido declaradas con fines de restauración, conservación y/o manejo forestal. En este último caso, cuando se trate de zonas donde las condiciones abióticas, limiten que los árboles alcancen los 5 metros in situ, será suficiente con que superen el 30% de cobertura. No incluye tierra sometida a un uso predominantemente agropecuario o urbano.

Notas explicativas:

- a) Estructuras lineales de árboles (bosque de galería y cortinas rompevientos) se clasifican como bosque cuando cumplen con los criterios de superficie, altura y cubierta de dosel, y con un ancho mayor a 20 metros (proyección de las copas). Formaciones lineales de árboles con un ancho menor de 20 metros (por ejemplo cercas vivas) no se clasifican como bosque.
- b) Formaciones de palmeras
  - Rodales semi-naturales de palma de coco asociadas con otra vegetación, se clasifican como bosque latifoliado mixto, y se aplican los criterios de maduro/secundario.
  - Rodales plantados de palma de coco deben ser clasificados como cultivo permanente.
  - Plantaciones de palma aceitera deben ser clasificadas como cultivo permanente.
- c) Otras formaciones de árboles
  - Plantaciones de árboles frutales/aceiteras se clasifican como cultivo permanente.
  - Cafetales/cacaotales se clasifican como cultivo permanente, aunque cumplen con los criterios de bosque en cuanto a superficie, cubierta de dosel y altura.
- d) Rastrojos

Rastrojos se clasifican generalmente como vegetación arbustiva y herbácea. La excepción son los rastrojos que han sido declarados para uso forestal, los cuales se clasifican como bosque.

Este sistema de clasificación y sus definiciones se aplicaron durante la fase piloto del INFC. Las categorías de este sistema se encuentran en el Anexo 1 y los detalles técnicos con todas las definiciones se encuentran en un documento separado<sup>2</sup>.

## 6 Principales procedimientos de cálculo

En este capítulo se presentan los principales procedimientos de cálculo y estimaciones estadísticas, así como las ecuaciones alométricas para el cálculo de volumen, biomasa y carbono.

En primera instancia, se describen los cálculos realizados para estimar volúmenes, biomasa y carbono para árboles individuales; mientras para hojarasca y madera muera caída, a nivel de transecto y subparcela.

Posteriormente se describe cómo, a partir de estas estimaciones individuales, pueden estimarse los totales poblacionales, por estrato y por hectárea, aplicando métodos estadísticos.

### 6.1 Estimaciones a nivel de árbol, parcela y transecto

#### 6.1.1 Volumen total del árbol

Para la estimación del volumen total de cada uno de los árboles inventariados, se utiliza la siguiente fórmula, con factores de forma según la calidad del fuste del árbol en pie, establecidos por el Ministerio de Ambiente:

$$vtot = g \cdot h \cdot f \quad (\text{ecuación 1})$$

donde:

$vtot$  = volumen total del fuste del árbol ( $m^3$ )

$g$  = área basal del árbol ( $m^2$ )

$h$  = altura total del árbol (m)

$f$  = factor de forma según la calidad del fuste; los valores son los siguientes:

- Fuste calidad A:  $f = 0.68$
- Fuste calidad B:  $f = 0.50$
- Fuste calidad C:  $f = 0.40$

---

<sup>2</sup> Sistema de clasificación de la cobertura y uso de la tierra para el sistema nacional de monitoreo de los bosques de Panamá.

### 6.1.2 Volumen comercial del árbol

Para la estimación del volumen comercial se utiliza la siguiente fórmula, con factores de forma según la calidad del fuste del árbol en pie, establecidos por el Ministerio de Ambiente en la resolución AG-0168-2007 de fecha 2 de abril del año 2007:

$$vcom = g \cdot h_c \cdot f \quad (\text{ecuación 2})$$

donde:

$vcom$  = volumen comercial del árbol (m<sup>3</sup>)

$g$  = área basal del árbol (m<sup>2</sup>)

$h_c$  = altura comercial (tronco o fuste) del árbol (m)

$f$  = factor de forma de acuerdo a la calidad del fuste; los valores son los siguientes:

- Fuste calidad A:  $f = 0.70$
- Fuste calidad B:  $f = 0.60$
- Fuste calidad C:  $f = 0.45$

### 6.1.3 Biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea de los árboles se utiliza el siguiente modelo general de biomasa aérea desarrollado por Chave *et al.* (2014)<sup>3</sup>:

$$ba = 0.0673 \cdot (\rho \cdot dap^2 \cdot h)^{0.976} \quad (\text{ecuación 3})$$

donde:

$ba$  = biomasa aérea, peso seco (kg)

$dap$  = diámetro a la altura del pecho (cm)

$h$  = altura total del árbol (m)

$\rho$  = densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

Para utilizar esta ecuación alométrica de biomasa aérea, se requiere el valor de la densidad de la madera. Para establecer la densidad de cada especie se utiliza la base de datos de DRYAD<sup>4</sup> como referencia. De esta base de datos se utilizaron solamente las especies de Centroamérica, México y la zona tropical de América del Sur. Si la especie no tiene una referencia de densidad promedio, se utiliza el promedio del género; si no existen datos de género se usa el promedio de la familia; si no es posible obtener ninguna de las anteriores, se utiliza el promedio de todas las especies de las tres regiones antes mencionadas, correspondiente a 0.6277 g/cm<sup>3</sup>.

Para los cálculos de la fase piloto del INFC, se utilizó la ecuación de Chave *et al.* (2014) tanto para especies latifoliadas como coníferas debido a que no hay ecuaciones de biomasa aérea para pino

<sup>3</sup> Chave *et al.* (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* (2014) 20, 3177–3190.

<sup>4</sup> <http://datadryad.org/repo/handle/10255/dryad.235>

basadas en datos de amplia representatividad para la región. Según se desarrollen nuevas ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea para *Pinus caribaea*, éstas podrán incorporarse en el sistema de procesamiento de datos del INFC.

### Palmas y helechos arbóreos

Para las especies de palmas se utiliza la ecuación alométrica de Goodman *et al.* (2013)<sup>5</sup>:

$$ba = 0.55512^4 \cdot 0.37 \cdot dap^2 \cdot hf \quad (\text{ecuación 4})$$

donde:

$ba$  = biomasa aérea (kg)

$dap$  = diámetro a la altura del pecho (cm)

$hf$  = altura del fuste de la palma (m)

0.37 = densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

Para los helechos arbóreos se utiliza la ecuación alométrica de Tiepolo *et al.* (2002)<sup>6</sup>:

$$ba = \frac{-4266348}{(1 - 2792284 \cdot e^{(-0.313677 \cdot h)})} \quad (\text{ecuación 5})$$

donde:

$h$  = altura total del helecho (m)

### Lianas

Para las lianas se utiliza el modelo de biomasa de S. Schnitzer *et al.* (2006)<sup>7</sup>:

$$ba = e^{[-1.484 + 2.657 \cdot \ln(dap)]} \quad (\text{ecuación 6})$$

donde:

$ba$  = biomasa aérea, peso seco (kg)

$dap$  = diámetro a la altura del pecho (cm)

---

<sup>5</sup> Goodman et al., 2013. Amazon palm biomass and allometry. *Forest ecology and management*, 310: 994–1004

<sup>6</sup> Tiepolo, G., Calmon, M. & Feretti, A.R. 2002. Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: *International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring*. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute 153:98-115

<sup>7</sup> Schnitzer et al. (2006). Censusing and measuring lianas: A quantitative comparison of the common methods. *Biotropica* 38(5), p 581-591.

#### 6.1.4 Biomasa subterránea

La biomasa subterránea no se estima para los árboles individuales, sino para los distintos tipos de bosque y usos de la tierra, utilizando como variable independiente la estimación de la biomasa aérea. Se utiliza el modelo de Cairns *et al.* (1997)<sup>8</sup> para bosques tropicales.

$$b_s = e^{[-1.0587+0.8836 \cdot \ln(ba)]} \quad (\text{ecuación 7})$$

donde:

$b_s$  = biomasa subterránea, peso seco (t/ha)

$ba$  = biomasa aérea, peso seco (t/ha)

#### 6.1.5 Estimación del carbono en la biomasa

Para la estimación del carbono en la biomasa (tanto aérea como subterránea) se utiliza la fracción de carbono por especies según Martin & Thomas (2011)<sup>9</sup>, y en caso de no disponer del valor para una especie, se utiliza el valor por defecto de 48%, tal como recomienda la guía de buenas prácticas del IPCC (2006).

#### 6.1.6 Carbono en madera muerta - tocones

Los tocones se midieron en subparcelas de 20 x 50 m (1,000 m<sup>2</sup>), en total 4 subparcelas por UM.

Primero, se calcula el volumen de cada tocón utilizando la fórmula de Smalian:

$$vtoc = \frac{[(d_1/100)^2 + (d_2/100)^2]}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h \quad (\text{ecuación 8})$$

donde:

$vtoc$  = volumen del tocón (m<sup>3</sup>)

$d_1$  y  $d_2$  = diámetro menor y mayor del tocón (cm)

$h$  = altura del tocón (m)

A cada uno de los tocones inventariados se asigna un valor de densidad de madera y una fracción de carbono en función del estado de descomposición que se determina en campo, según se indica en la Tabla 2.

<sup>8</sup> Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1): 1–11.

<sup>9</sup> Martin A.R., Thomas S.C. (2011) A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. *PLoS ONE* 6(8): e23533. doi:10.1371/journal.pone.0023533.

Tabla 2. Categorías de descomposición utilizadas para tocones y madera muerta caída.

Categoría de descomposición	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fracción de carbono (%)
[01]-Sin descomposición	0.63 <sup>A</sup>	50
[02]-Intermedio	0.50	40
[03]-Descompuesto	0.30	30
[04]-No sabe/No aplica	0.63	50

<sup>A</sup> Promedio de todas las especies

Para la estimación de la biomasa del tocón se multiplica el volumen del tocón por la densidad, según el estado de descomposición. Para la estimación del carbono del tocón, se multiplica la biomasa por la fracción de carbono.

### 6.1.7 Carbono en madera muerta caída

En la fase piloto del INFC, el volumen de la madera muerta caída se midió en tres transectos de 20 m en cada parcela; en total 12 transectos por UM, correspondiendo a 240 m en total.

Para estimar el volumen por hectárea que representa cada transecto, se utiliza la siguiente fórmula (Wagner *et al.*, 1964)<sup>10</sup>:

$$vmmc = \frac{\pi^2 \cdot \sum d^2}{8 \cdot l} \quad (\text{ecuación 9})$$

donde:

$vmmc$  = volumen de la madera muerta caída (m<sup>3</sup>/ha)

$l$  = largo del transecto (m)

$d$  = diámetro de la pieza (cm)

Para la madera muerta caída también se establecieron los valores de densidad de madera y fracción de carbono, tomando como base la categoría de descomposición de cada pieza medida según la Tabla 2.

Para la estimación del carbono en la madera muerta se multiplica el volumen del transecto por la densidad y fracción de carbono, según el estado de descomposición.

Para el análisis de los datos de la fase piloto del INFC, todos los transectos de la UM fueron tratados en su conjunto, estableciendo el volumen por hectárea de la madera muerta caída para toda la UM y asignando la clase de uso de la tierra del punto central.

<sup>10</sup> van Wagner, C.E. 1968. The line-intersect method in forest fuel sampling. For. Sci. 14: 20-26.



### 6.1.8 Carbono en hojarasca

La hojarasca se mide en varias subparcelas de 1 m<sup>2</sup> en la UM. En estas subparcelas se mide el peso húmedo de la hojarasca y se asigna una categoría de humedad. Además, en el punto central de la UM se establece una subparcela de 1 m<sup>2</sup> para tomar una muestra de hojarasca que se lleva al laboratorio para determinar el contenido de carbono.

Para estimar el carbono en la hojarasca de una subparcela, se utiliza la siguiente fórmula:

$$c_{hr} = ph \cdot \left(1 - \frac{ch}{100}\right) \cdot c_{\%} \quad (\text{ecuación 10})$$

donde:

$c_{hr}$  = carbono en hojarasca en una subparcela (g/m<sup>2</sup>)

$ph$  = peso húmedo (gramos)

$ch$  = contenido de humedad (%)

$c_{\%}$  = porcentaje de carbono obtenido del análisis de laboratorio utilizando la muestra de hojarasca de la subparcela del punto central.

Para convertir el valor de carbono de cada parcela en g/m<sup>2</sup> a un valor en t/ha, se dividió entre 100.

A la hojarasca de cada parcela se le asigna en el campo una categoría por contenido de humedad, según la Tabla 3.

Tabla 3. Categorías de contenido de humedad asignadas a la hojarasca.

Categoría de humedad	Contenido de humedad (%)	Categoría de humedad	Contenido de humedad (%)
[01]- Seca	15	[04]- Húmeda	70
[02]- Mayormente seca	20	[05]- Muy húmeda	85
[03]- Media	50	[06]- No sabe	50

### 6.1.9 Carbono en materia orgánica del suelo

El carbono orgánico del suelo se mide en el punto central de cada UM, donde se toma una muestra de los siguientes horizontes: 0-30 cm, 30-60 cm y 60+ cm.

Para estimar el carbono orgánico del suelo del horizonte 0-30 cm, tal como se requiere para los informes a la CMNUCC según los lineamientos del IPCC, se utiliza la siguiente fórmula:

$$c_{suelo} = c_{\%} \cdot da \cdot ph \cdot 100 \quad (\text{ecuación 11})$$

donde:

$c_{suelo}$  = carbono en materia orgánica del suelo (t/ha)

$c_{\%}$  = porcentaje de carbono obtenido en el análisis de laboratorio

$da$  = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) obtenida en el análisis de laboratorio

$ph$  = profundidad del horizonte (cm); en este caso 30 cm

### 6.1.10 Estimación del CO<sub>2</sub> equivalente

Para expresar el contenido de carbono de los cinco reservorios de carbono en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, se multiplica el contenido de carbono por la constante 3.67.

## 6.2 Estimaciones de totales poblacionales y por categoría de uso

Para la estimación de valores poblacionales basados en los datos del INFC, se aplica una serie de procedimientos estadísticos.

Aunque la muestra fue seleccionada de forma sistemática, se aplican las fórmulas estadísticas para muestreo aleatorio. La única implicación de esta simplificación es que las estimaciones del error de muestreo basado en muestreo aleatorio generalmente sobreestiman el error verdadero del muestreo sistemático.

### 6.2.1 Aplicación de factores de ajuste por representatividad

Para realizar estimaciones poblacionales totales o por estrato a partir de estimaciones de árboles y subparcelas individuales, es necesario aplicar a cada árbol y subparcela un factor de ajuste (fa) de tal manera que se transforma el valor del árbol/subparcela a un valor por hectárea. Considerando que en la fase piloto, el tamaño de la unidad de muestreo es de dos hectáreas, los factores de ajuste utilizados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Factores de ajuste para árboles según clases diamétrica, tocones y hojarasca.

Objeto	Medido en la UM	Factor de ajuste aplicado (fa)
Arboles con DAP > 50 cm	4 parcelas de 20 x 250 m = 2 ha	0.5
Arboles con DAP 20 – 50 cm	4 parcelas de 20 x 150 m = 1.2 ha	0.833333
Arboles con DAP 10 – 20 cm	4 parcelas de 20 x 50 m = 0.4 ha	2.5
Arboles con DAP < 10 cm	4 parcelas de 50 m <sup>2</sup> = 200 m <sup>2</sup>	50
Tocones	4 parcelas de 20 x 50 m = 0.4 ha	2.5
Hojarasca	12 parcelas de 1 x 1 m = 12 m <sup>2</sup>	833.333

### 6.2.2 Fórmulas utilizadas para estimar valores poblacionales de volumen, biomasa y carbono

Una vez que los datos de volumen, biomasa y carbono de los árboles inventariados han sido calculados y ajustados según tamaño de parcela, se procede a estimar los valores poblacionales.

Asumiendo que  $X$  es la variable poblacional a estimar, expresada como valor por hectárea, donde  $X$  puede referirse al volumen, biomasa o carbono, se utiliza la siguiente fórmula:

$$X = \sum(x \cdot fa) \quad (\text{ecuación 12})$$

donde:

- $X$  = valor poblacional de volumen, biomasa o carbono, expresado por hectárea
- $x$  = valor de volumen, biomasa o carbono de un árbol inventariado
- $fa$  = factor de ajuste para que el valor del árbol represente su valor por hectárea

Para estimar el valor poblacional de una categoría de uso de la tierra (por ejemplo bosque maduro), se aplica el estimador de razón de la siguiente forma:

$$X_i = \sum(x_i \cdot fa) \cdot \frac{\sum a}{\sum a_i} \quad (\text{ecuación 13})$$

donde:

- $X_i$  = valor poblacional de volumen, biomasa o carbono de la categoría  $i$ , expresado por hectárea
- $x_i$  = valor de volumen, biomasa o carbono de un árbol inventariado que se encuentra en un segmento perteneciente a la categoría  $i$
- $fa$  = factor de ajuste para que el valor del árbol represente su valor por hectárea
- $a$  = superficie de segmentos de la parcela (cada parcela consta de cinco segmentos de 50 m)
- $a_i$  = superficie de segmentos de la parcela que pertenecen a la categoría  $i$

### 6.2.3 Estimación del error de muestreo

Para la estimación del error de muestreo de la variable  $y$ , se utiliza la siguiente fórmula:

$$e_y = \sqrt{\frac{s_y^2}{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \quad (\text{ecuación 14})$$

donde:

- $e$  = estimación del error de muestreo de la variable  $y$
- $s$  = desviación estándar de la variable  $y$
- $n$  = número de unidades de muestreo de la muestra
- $N$  = número de UM de la población

En un inventario forestal nacional,  $N$  es mucho mayor que  $n$ , y la fórmula puede simplificarse como:

$$e_y = \sqrt{\frac{s_y^2}{n}} \quad (\text{ecuación 15})$$

## Ejemplo de estimación de la biomasa aérea con el software SIBP<sup>2</sup>

En el sistema SIBP<sup>2</sup>, luego de seleccionar y activar la base de datos, se selecciona “Tabla de Doble Entrada”, se establece el filtro de árboles vivos, ya que la estimación de la biomasa aérea no debe incluir los árboles muertos (Figura 2).

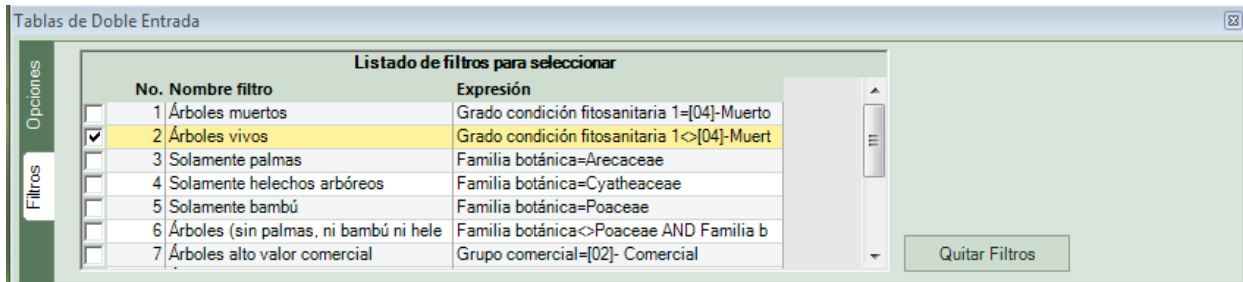


Figura 2. Ejemplo de selección de filtros en el sistema SIBP<sup>2</sup>

Luego, en la pestaña “Opciones” se define la variable a calcular (en este caso *Biomasa*, a la cual ya fue aplicado el factor de ajuste) y las variables de fila y columna (en este caso ambos son *CUT Especiales* (*segmento*)). Se presiona el botón “Calculo” y luego se selecciona el tipo de cálculo como “Todo bosque” (Figura 3).

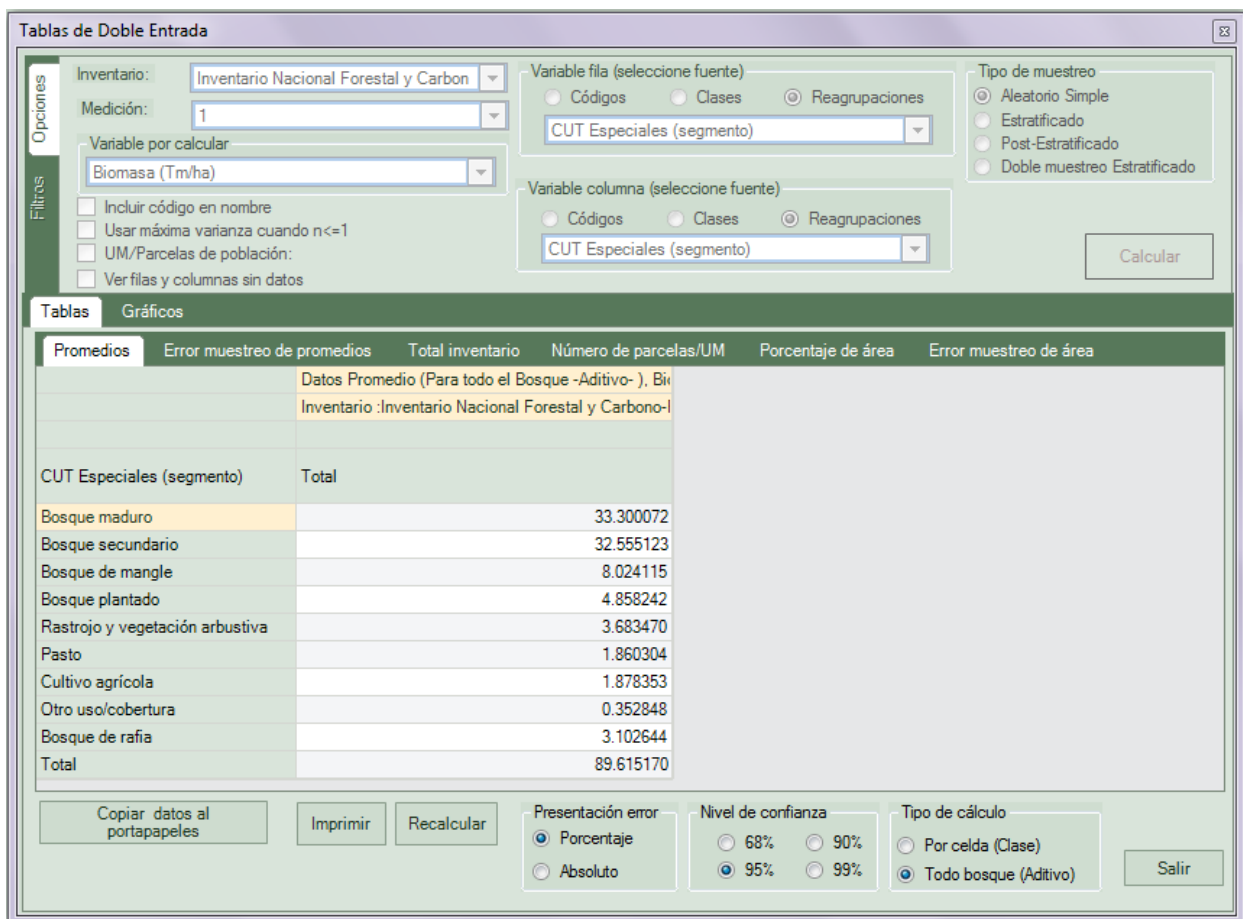


Figura 3. Ejemplo de cálculo de biomasa aérea utilizando tabla de doble entrada en el sistema SIBP<sup>2</sup>.

De igual forma se procede para estimar la superficie de cada una de las categorías. En este caso se elimina el filtro de árboles vivos y se selecciona *Area segmento (ha)* como variable a calcular. Resulta en la tabla en la Figura 4, donde la superficie de cada categoría está expresada en términos de superficie promedio por UM de 2 hectáreas.

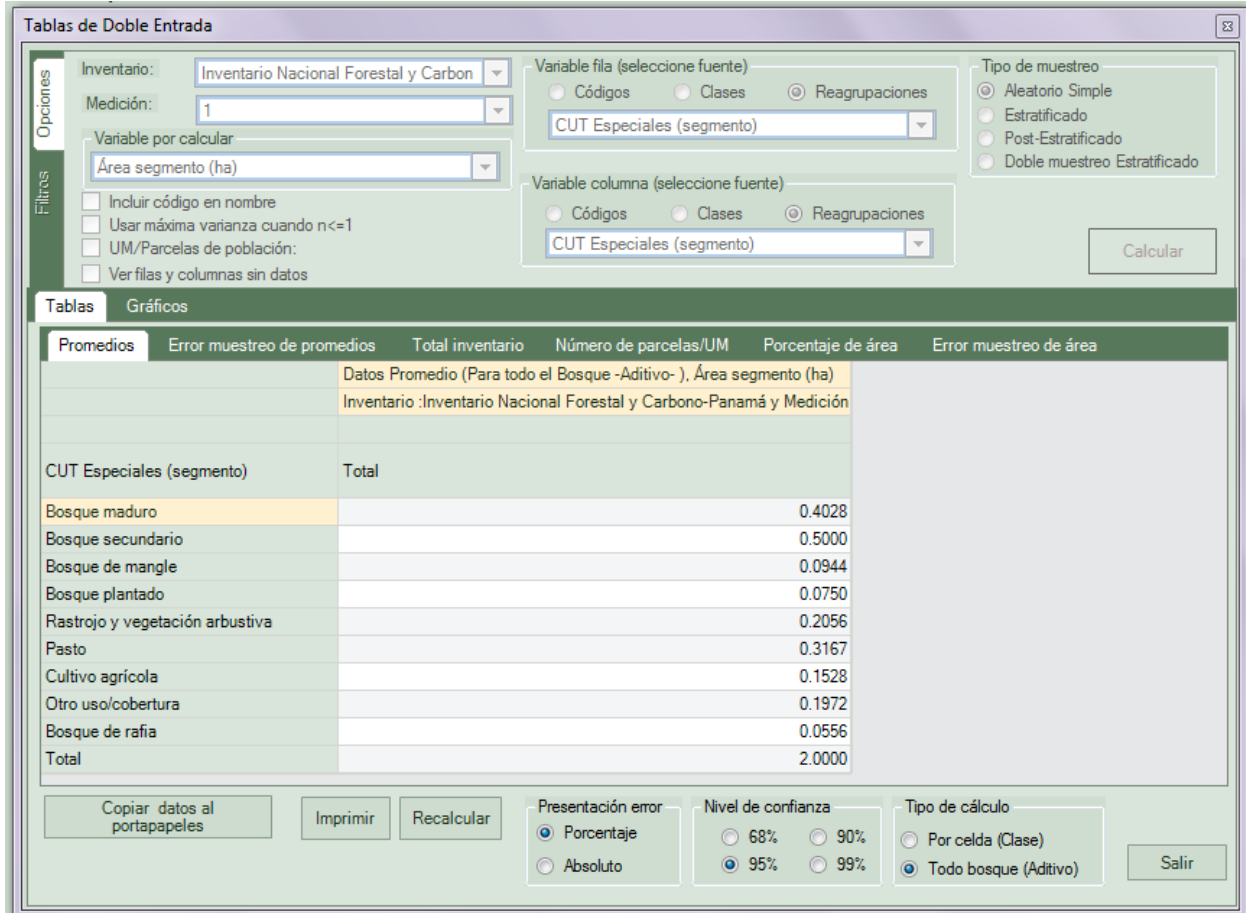


Figura 4. Ejemplo de cálculo de proporción de área utilizando tabla de doble entrada en el sistema SIBP<sup>2</sup>.

Utilizando estas tablas generadas en SIBP<sup>2</sup> y aplicando la fórmula para estimar el valor poblacional por categoría de uso de la tierra, se obtiene, para el caso de *bosque latifoliado maduro* como ejemplo, la siguiente estimación de la biomasa aérea:

$$X_i = \sum(x_i \cdot fa) \cdot \frac{\sum a}{\sum a_i} = 33.300072 \cdot \frac{2}{0.4028} = 165.4 \text{ t/ha} \quad (\text{ecuación 16})$$

Esta estimación de 165.4 t/ha para biomasa aérea en el *bosque latifoliado maduro* se encuentra en los resultados presentados más adelante en la Tabla 11. De la misma manera se procede para estimar las demás categorías y otras variables (volumen, carbono, etc.).

## 7 Resultados de la fase piloto del INFC

### 7.1 Descripción general de los datos levantados

En la fase piloto del INFC se levantó información de campo para 37 UM distribuidas en todo el territorio nacional, utilizando un muestreo sistemático estratificado por áreas de bosque y fuera de bosque (Figura 5, tablas 5 y 6). Las UM se ubican en siete de las 12 zonas de vida de Holdridge<sup>11</sup> reportadas para Panamá, las cuales se basan en precipitación anual y biotemperatura media anual (Tabla 7). Estas siete zonas de vida son las dominantes en el país.

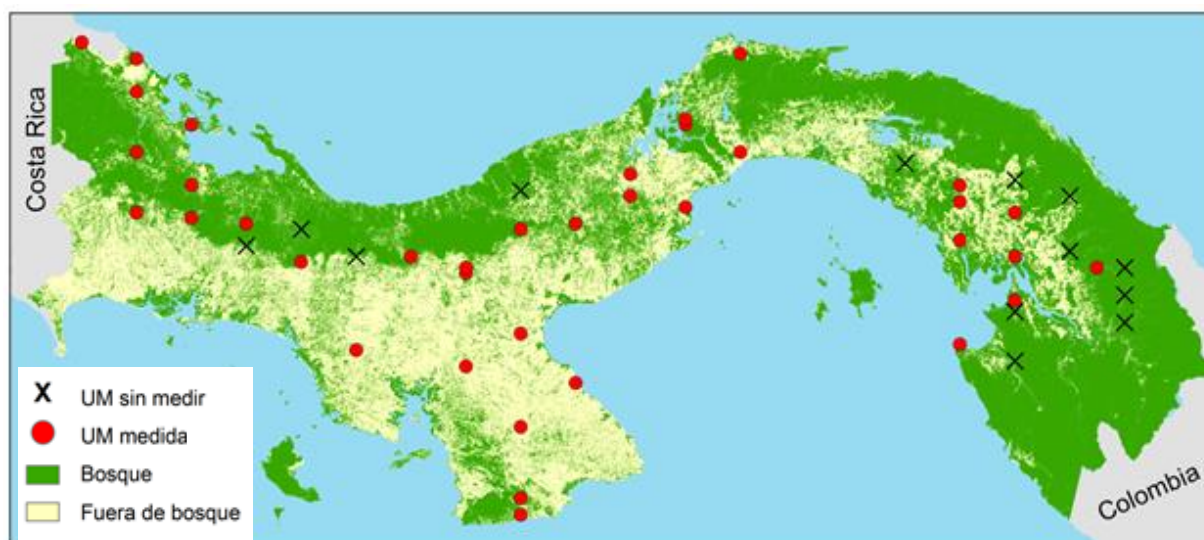


Figura 5. Distribución de las UM para la fase piloto del INFC.

Tabla 5. Distribución de las UM por comarcas y provincias para la fase piloto del INFC.

Provincia	No. de UM
Bocas del Toro <sup>A</sup>	5
Chiriquí	2
Coclé	3
Colón	3
Comarca Embera Wounaan	1
Comarca Ngäbe Bugle	3
Darién	5
Herrera	1
Los Santos	3
Panamá	2
Panamá Oeste	3
Tierras Colectivas Embera Wounaan	1
Veraguas	5
<b>Total de unidades de muestreo</b>	<b>37</b>

<sup>A</sup> Para una de las UM (648) solamente se levantó información de suelos.

Tabla 6. Distribución de las UM por categoría de cobertura y uso de la tierra para la fase piloto del INFC.

Categoría de uso de la tierra <sup>A</sup>	No. de UM
<b>Bosque</b>	<b>26</b>
Bosque maduro	12
Bosque secundario	10
Bosque de mangle	2
Bosque de rafia	1
Bosque plantado	1
<b>Fuera de Bosque</b>	<b>11</b>
Rastrojo y vegetación arbustiva	2
Cultivo agrícola	2
Pasto	6
Área cultural	1
<b>Total de unidades de muestreo</b>	<b>37</b>

<sup>A</sup> Categoría de uso de la tierra asignada al punto central de la UM.

<sup>11</sup> Holdridge, L. R. y G. Budowski. 1956. Report of an Ecological Survey of the Republic of Panama. Caribbean Forester 17: 92-111, with life zone map.

Tabla 7. Distribución de las UM por zonas de vida de Holdridge para la fase piloto del INFC.

Zona de vida	No. de UM
Bosque Húmedo Tropical	16
Bosque Muy Húmedo Premontano	10
Bosque Muy Húmedo Tropical	2
Bosque Pluvial Montano Bajo	2
Bosque Pluvial Premontano	4
Bosque Seco Premontano	1
Bosque Seco Tropical	2
Total de unidades de muestreo	37

Para una de las 37 UM, se levantaron únicamente datos de suelo en el punto central (UM 648), debido a la inaccesibilidad y presencia de altas pendientes. Por lo tanto, los demás datos biofísicos de parcelas y árboles están disponibles solamente para 36 UM.

En las 36 UM se midieron en total 7,534 árboles, pertenecientes a 648 especies, la mayoría identificados al menos a nivel de familia. Las familias más comunes fueron Fabaceae, Malvaceae y Moraceae; y los géneros más comunes fueron *Inga sp*, *Cecropia sp*, y *Ficus sp*. La información botánica es fundamental para la estimación de biomasa y carbono, ya que depende de la densidad de la madera que varía significativamente entre especies.

A continuación se presentan los resultados de algunos análisis realizados para la información recolectada para la fase piloto del INFC y constituyen un ejemplo de información clave que puede generarse a partir de los datos del INFC. Sin embargo, la base de datos del INFC contiene un amplio espectro de datos que permite desarrollar análisis de diferente índole y mayor profundidad.

Dado que estos resultados están basados en las 36 UM de la fase piloto, los datos y estimaciones presentados a continuación no deben ser utilizados como datos oficiales nacionales definitivos. Por lo tanto, deben tratarse con prudencia y considerando los errores de muestreo. Una vez se complete el INFC, se dispondrá de un conjunto de datos que constituirá la información oficial.

## 7.2 Superficie por categoría de uso de tierra

Varios países utilizan su inventario nacional forestal para generar estadísticas oficiales de superficie de diferentes categorías de cobertura y uso de la tierra, ya que las observaciones realizadas en el campo son más confiables que las interpretaciones de imágenes de satélite. No obstante, por tratarse de un muestreo, se requiere una cantidad considerable de UM para lograr una incertidumbre aceptable. La fase piloto del INFC sólo cuenta con datos de 36 UM y por tanto, no se presta para generar estadísticas confiables de superficie. Para mostrar la posibilidad de generar estas estadísticas a partir de los datos del INFC, en la Tabla 8 se presentan las estimaciones de superficie por categoría y la comparación de las superficies estimadas a partir del mapa de cobertura y uso de la tierra de Panamá para el año 2012.

Tabla 8. Estimación de superficies a partir del INFC y comparación con el mapa de cobertura y uso de la tierra 2012.

Categoría de cobertura y uso de la tierra	INFC		Mapa 2012
	hectáreas	Error (95%)	hectáreas
Bosque	4,295,321	± 23.0%	4,305,154
Fuera de bosque	3,068,087	± 29.8%	3,058,254
<b>TOTAL (Superficie terrestre)</b>	<b>7,363,408</b>		<b>7,363,408</b>

En la Tabla 8 se puede observar que la estimación del INFC y la del mapa 2012 para las categorías bosque y fuera de bosque, son de la misma magnitud.

### 7.3 Estructura del bosque

La estructura del bosque se analizó en términos de número de árboles, diámetro y altura por categoría de cobertura y uso de la tierra. Los resultados se presentan en la Tabla 9.

Respecto al número de árboles, se encontró según lo esperado, un mayor número de árboles en áreas de bosque que fuera de bosque. No obstante, las diferencias entre ambas categorías no son significativas en cuanto a promedios de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total; esto se debe a la existencia de árboles de grandes dimensiones en áreas fuera de bosque, aunque los mismos son poco frecuentes.

Tabla 9. Número de árboles, diámetro y altura promedio por categoría de cobertura y uso de la tierra para la fase piloto del INFC.

Categoría de uso de la tierra	No. de árboles/ha con DAP 10-20 cm	No. de árboles/ha con DAP ≥ 50 cm	DAP promedio (cm)	Altura total promedio (m)
<b>Bosque</b>	<b>264.8</b>	<b>17.1</b>	<b>32.4</b>	<b>15.8</b>
<i>Bosque maduro</i>	279.0	19.7	31.8	15.3
<i>Bosque secundario</i>	300.3	13.6	32.9	17.1
<i>Bosque de mangle</i>	139.7	23.5	30.3	13.2
<i>Bosque de rafia</i>	70.0	38.5	41.5	13.3
<i>Bosque plantado</i>	253.7	3.0	27.3	15.2
<b>Fuera de bosque</b>	<b>56.5</b>	<b>2.1</b>	<b>29.3</b>	<b>12.0</b>
<i>Rastrojo y vegetación arbustiva</i>	143.9	3.8	29.7	14.6
<i>Pasto</i>	18.4	1.5	28.4	11.7
<i>Cultivo agrícola</i>	83.6	2.9	30.6	13.4
<i>Otro uso/cobertura</i>	5.6	0.6	29.2	9.5

Comparando la estructura del bosque maduro con la de bosque secundario, se puede observar que en el bosque maduro se registró un mayor número de árboles grandes (mayores o iguales a 50 cm DAP), mientras que en el bosque secundario hubo más árboles pequeños. Sin embargo, estas diferencias no



son muy marcadas. Fuera del bosque hay árboles dispersos en todas las categorías de cobertura y uso de la tierra.

En el caso de la rafia, los valores promedio de DAP relativamente altos se deben a que en la UM donde se encontró este tipo de bosque, los individuos de la rafia presentan una forma de crecimiento con tallos múltiples, muy cercanos entre sí y con espinas, lo que imposibilitó medir los DAP para los tallos individuales, por lo que se midió el diámetro de cada grupo de tallos en conjunto.

Para el área de bosque, un elemento importante para describir su estructura la constituye la distribución por clase diamétrica del número de árboles, área basal, volumen total y biomasa aérea. Según indica la Tabla 10, hay mayor abundancia de árboles en clases diamétricas inferiores, pero no aportan en la misma proporción a la biomasa aérea. En cambio, los árboles de mayor diámetro, aunque son escasos, aportan significativamente al área basal, volumen total y biomasa aérea.

La distribución diamétrica del número de árboles por hectárea observada, presenta un comportamiento de *J* inversa, según lo esperado para bosques mixtos tropicales.

Tabla 10. Distribución diamétrica del número de árboles, área basal, volumen total y biomasa en áreas de bosque para la fase piloto del INFC.

DAP (cm)	No. árboles por hectárea <sup>A</sup>	Área basal (m <sup>2</sup> /ha) <sup>A</sup>	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha) <sup>A</sup>	Biomasa aérea (t/ha) <sup>A</sup>
10 – 20	264.8 ± 48.8	4.3 ± 0.8	24.9 ± 4.7	18.1 ± 3.5
20 – 30	92.9 ± 14.9	4.3 ± 0.7	32.9 ± 5.5	22.3 ± 3.9
30 – 40	42.1 ± 7.7	3.8 ± 0.7	36.6 ± 6.9	22.5 ± 4.4
40 – 50	18.3 ± 3.7	2.8 ± 0.6	31.5 ± 6.4	19.9 ± 4.5
50 – 60	7.7 ± 1.8	1.8 ± 0.4	22.8 ± 5.1	13.1 ± 3.4
60 – 70	3.9 ± 0.9	1.2 ± 0.3	16.9 ± 4.0	10.3 ± 2.6
70 – 80	1.9 ± 0.4	0.8 ± 0.2	11.7 ± 2.6	7.0 ± 1.6
80 – 90	1.3 ± 0.3	0.7 ± 0.2	9.2 ± 2.2	6.1 ± 1.6
90 – 100	0.9 ± 0.3	0.6 ± 0.2	8.7 ± 2.1	4.9 ± 1.2
>100	1.4 ± 0.4	2.9 ± 1.0	54.9 ± 21.6	21.0 ± 7.8
<b>Total en bosque</b>	<b>435.1 ± 70.9</b>	<b>23.2 ± 3.7</b>	<b>250.1 ± 41.7</b>	<b>145.1 ± 24.1</b>
<b>Error de muestreo (%)<sup>B</sup></b>	<b>28.9</b>	<b>27.9</b>	<b>29.5</b>	<b>29.5</b>

<sup>A</sup> Valores promedio y error absoluto a un nivel de confianza de 95%.

<sup>B</sup> Porcentaje de error de muestreo a un nivel de confianza de 95%.

Una forma de medir la importancia relativa de una especie en cuanto a la estructura del bosque es el índice de valor de importancia (IVI)<sup>12</sup>, ya que considera de manera relativa las veces que se reportó por UM (frecuencia), el número de individuos encontrados (densidad) y el área basal (dominancia) de una especie.

<sup>12</sup> IVI: índice de valor de importancia que muestra la importancia relativa de distintas especies con base en: dominancia, frecuencia y densidad de la especie. Dominancia es el área basal de una especie dividida entre el área basal total. Frecuencia es el número de UM en las que se registró la especie dividida entre el número total de UM. Densidad es el número de individuos registrados para una especie dividido entre el número total de individuos muestreados. Todos los componentes del IVI se expresan en porcentaje.

La Figura 6 muestra las especies con mayor IVI en bosque y fuera de bosque. Las especies con mayor IVI variaron entre áreas de bosque y fuera de bosque, las especies más importantes según el áreas de bosque fueron: Guácimo colorado (*Luehea seemannii*), Espavé (*Anacardium excelsum*) y Caucho (*Castilla elástica*), respectivamente; mientras que las especies importantes para áreas fuera de bosque fueron: Laurel (*Cordia alliodora*), Nance (*Byrsonima crassifolia*) y Guácimo (*Guazuma ulmiflora*).

Cabe destacar que tanto en bosque como fuera de bosque, son pocas las especies con alto valor de IVI, estos valores se estabilizan después de aproximadamente 10 especies.

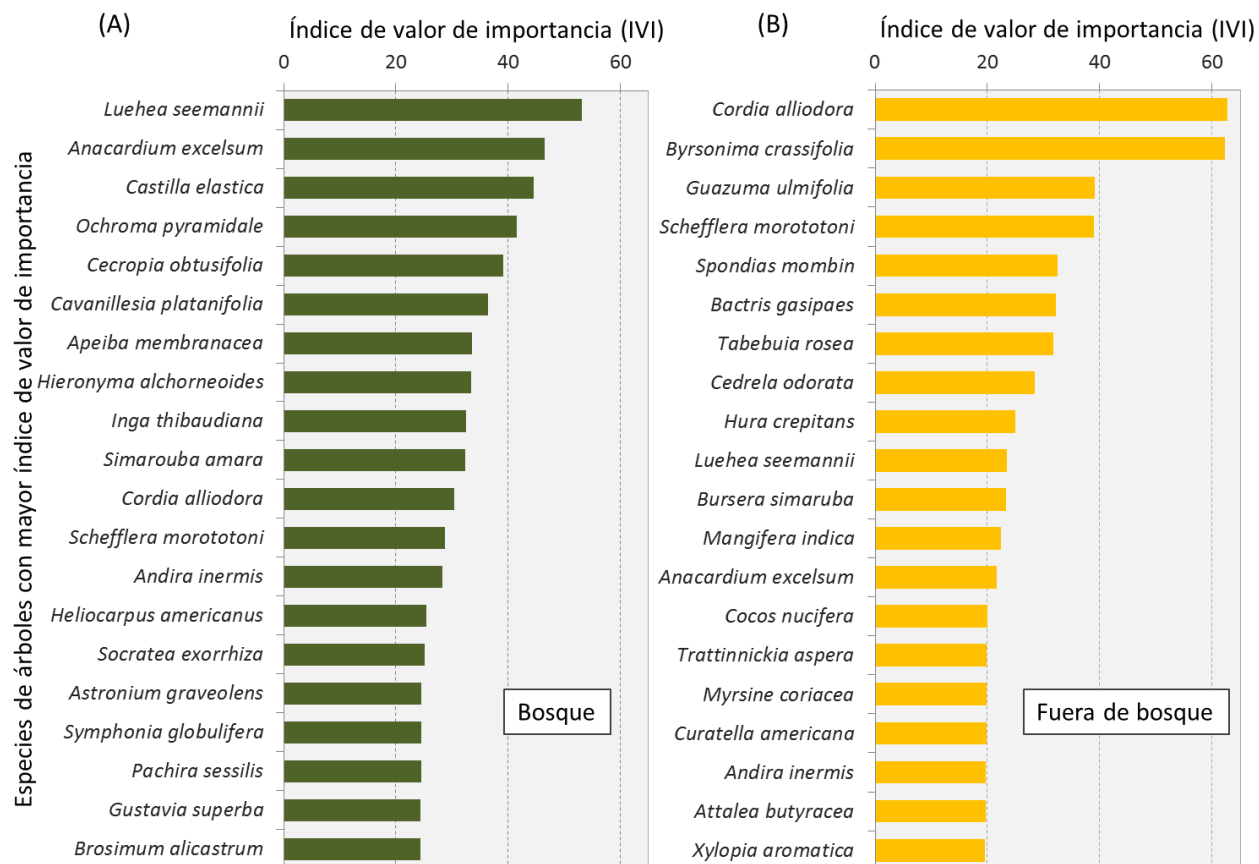


Figura 6. Índice de valor de importancia para las 20 especies de árboles más importantes en: (A) bosque y (B) fuera de bosque.

#### 7.4 Reservorios de volumen, biomasa y carbono

Uno de los objetivos del INFC es estimar el volumen en existencia total y comercial, así como los reservorios de biomasa y carbono por categoría de cobertura y uso de la tierra en el ámbito nacional. En el capítulo 6, se detallan los procedimientos estadísticos utilizados para los cálculos.

A continuación se presentan los volúmenes en existencia total y comercial, y los reservorios de biomasa y carbono por categoría de cobertura y uso de la tierra. Posteriormente se analiza cómo los volúmenes en existencia se distribuyen por especie de interés comercial.

El volumen total en existencia en el bosque fue estimado en 250.1 m<sup>3</sup>/ha. De este volumen, menos del 10 por ciento (18.8 m<sup>3</sup>/ha) corresponde a volumen comercial promedio, compuesto por una canasta de 50 especies de interés comercial, con un DAP mayor o igual a 50 cm<sup>13</sup> (Tabla 11). Esta relación entre el volumen comercial y total es un elemento importante para el manejo forestal y el valor es típico para los bosques tropicales en América Latina. Además, se observa que el volumen comercial del bosque maduro es mucho mayor que el del bosque secundario, lo que indica que el bosque secundario ha sido objeto de una extracción de una gran parte de este volumen.

Con respecto al volumen comercial reportado para el bosque de rafia, cabe destacar que éste corresponde a una sola unidad de muestreo con presencia de árboles grandes de Cativo (*Prioria copaifera*) y Sangrillo (*Pterocarpus officinalis*).

Tabla 11. Biomasa aérea, volumen total y volumen comercial estimados para la fase piloto del INFC. Los intervalos representan un nivel de confianza de 95 por ciento, expresados en términos absolutos.

Categoría de cobertura y uso de la tierra	Volumen total <sup>A</sup> (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial <sup>B</sup> (m <sup>3</sup> /ha)	Biomasa aérea <sup>C</sup> (t/ha)
<b>Bosque</b>	<b>250.1 ± 41.6</b>	<b>18.8 ± 10.8</b>	<b>145.1 ± 24.1</b>
<i>Bosque maduro</i>	314.8 ± 40.0	35.8 ± 5.6	165.4 ± 20.9
<i>Bosque secundario</i>	226.1 ± 30.3	9.7 ± 1.5	130.2 ± 17.1
<i>Bosque de mangle</i>	173.8 ± 14.4	n.a.	169.9 ± 13.7
<i>Bosque de rafia</i>	245.6 ± 13.6	34.9 ± 1.9	111.7 ± 6.2
<i>Bosque plantado</i>	162.4 ± 10.9	n.a. <sup>D</sup>	129.6 ± 9.0
<b>Fuera de bosque</b>	<b>29.5 ± 7.4</b>	<b>2.0 ± 0.9</b>	<b>17.8 ± 3.7</b>
<i>Rastrojo y vegetación arbustiva</i>	58.6 ± 4.3	3.7 ± 0.3	35.8 ± 2.7
<i>Pasto</i>	22.1 ± 3.4	3.0 ± 0.9	11.7 ± 1.61
<i>Cultivo agrícola</i>	37.3 ± 3.2	0.4 ± 0.1	24.6 ± 2.2
<i>Otro uso/cobertura</i>	5.3 ± 0.7	n.a.	3.6 ± 0.5
<b>Todas las categorías</b>	<b>153.9 ± 40.0</b>	<b>11.7 ± 5.8</b>	<b>89.6 ± 23.2</b>
<b>Error de muestreo (95%)</b>	<b>26.0%</b>	<b>49.7%</b>	<b>26.0%</b>

<sup>A</sup> Incluye árboles en pie.

<sup>B</sup> Incluye árboles vivos de interés comercial con calidad de fuste A y B, y mayores o iguales a 50 cm DAP.

<sup>C</sup> Incluye árboles vivos.

<sup>D</sup> Para bosque plantado el concepto de volumen comercial difiere del bosque natural y requiere un análisis diferente.

En la Tabla 11 también se observa que la estimación promedio de biomasa aérea en bosque (145.1 t/ha) se encuentra en el límite inferior de otros reportes para parcelas de investigación en Panamá<sup>14</sup>. Esto puede deberse a que las parcelas de investigación han sido establecidas en bosques maduros poco

<sup>13</sup> Para estimar el volumen comercial se utilizó un diámetro mínimo de corta de 50 cm DAP, considerando un aprovechamiento conservador y de bajo impacto. Este valor representa un 58% del volumen comercial total (DAP > 10 cm) de los árboles vivos con calidad de fuste A y B.

<sup>14</sup> Chave *et al.* 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. Philosophical Transactions of the Royal Society London B: Biological Sciences 359: 409-420.

perturbados, mientras que los datos para la fase piloto del INFC incluyen bosques en diferentes etapas sucesionales y estado de degradación hasta un umbral inferior de cobertura de copa de 30%, según la definición nacional de bosque.

En la Tabla 12 se presentan las estimaciones de los cinco reservorios de carbono para las categorías de cobertura y uso de la tierra para la fase piloto del INFC. Según esta primera estimación, los bosques de Panamá almacenan un promedio de 159.3 t C/ha, sumando los cinco reservorios.

Tabla 12. Reservorios de carbono estimados para la fase piloto del INFC. Datos de contenido de carbono promedio con un intervalo de confianza de 95%.

Categoría de cobertura y uso de tierra	C en biomasa aérea <sup>A</sup> (t/ha)	C en biomasa subterránea (t/ha)	C en madera muerta <sup>B</sup> (t/ha)	C en hojarasca (t/ha)	C orgánico en suelos <sup>D</sup> (t/ha)	C Total (t/ha)
<b>Bosque</b>	<b>70.1 ± 11.6</b>	<b>14.8</b>	<b>7.6</b>	<b>1.0 ± 0.34</b>	<b>65.8 ± 14.8</b>	<b>159.3</b>
<i>Bosque maduro</i>	79.8 ± 10.0	16.6	10.5	1.3 ± 0.2	51.6 ± 9.8	159.8
<i>Bosque secundario</i>	62.8 ± 8.2	13.5	7.4	0.6 ± 0.1	88.1 ± 13.0	172.4
<i>Bosque de mangle</i>	81.6 ± 6.6	17.0	3.8		32.2 ± 2.4	134.6
<i>Bosque de rafia</i>	53.6 ± 3.0	11.7	3.0	0.9 ± 0.05	91.1 ± 5.1	160.3
<i>Bosque plantado</i>	64.3 ± 4.5	13.7	1.6	3.5 ± 0.3	16.9 ± 1.3	100
<b>Fuera de bosque</b>	<b>8.5 ± 1.75</b>	<b>2.3</b>	<b>2.6</b>	<b>0.18 ± 0.02</b>	<b>41.7 ± 7.4</b>	<b>55.3</b>
<i>Rastrojo y vegetación arbustiva</i>	17.2 ± 1.3	4.3	6.6	0.1 ± 0.02	9.0 ± 1.3	37.2
<i>Pasto</i>	5.5 ± 0.8	1.6	0.5	0.1 ± 0.02	57.6 ± 7.4	65.3
<i>Cultivo agrícola</i>	11.7 ± 1.1	3.1	4.5	0.7 ± 0.09	106.5 ± 14.1	126.6
<i>Otro uso/cobertura</i>	1.7 ± 0.2	0.6	0.4			2.7
<b>Todas las categorías</b>	<b>43.2 ± 11.1</b>	<b>9.7</b>	<b>5.4</b>	<b>0.65 ± 0.3</b>	<b>55.3 ± 12.3</b>	<b>114.2</b>
<b>Error de muestreo para estimar el reservorio</b>	<b>26.0%</b>		<b>39.5%<sup>C</sup></b>	<b>51.9%</b>	<b>22.3%</b>	

<sup>A</sup> Incluye valores de carbono en la biomasa aérea de árboles, palmas, helechos arbóreos, bambúes y lianas vivos.

<sup>B</sup> Incluye el carbono presente en tocones, árboles muertos en pie y caídos.

<sup>C</sup> Porcentaje de error de muestreo basado en las estimaciones de madera muerta caída.

<sup>D</sup> El carbono orgánico reportado para suelos corresponde a los primeros 30 cm de profundidad, tal como lo establecen las directrices del IPCC.

El contenido de carbono en la biomasa aérea y subterránea está directamente relacionado con las estimaciones de la biomasa aérea presentada en la Tabla 11. Las estimaciones de estos reservorios de carbono se obtienen a partir de la biomasa aérea aplicando una fracción de carbono, y además para la subterránea un factor raíz-brote. La fracción de carbono y el factor raíz-brote presentan poca variación y por tanto estos reservorios de carbono son directamente proporcionales a la biomasa aérea cuyos valores se discutieron previamente.

La madera muerta está compuesta por tocones, árboles muertos en pie y madera muerta caída. El reservorio reportado en la Tabla 12 integra los valores de todos estos componentes. Tanto en el bosque como fuera de él, la madera muerta aporta cerca del 5 por ciento del carbono total. En los usos de rastrojo y cultivo agrícola aumenta la importancia relativa de la madera muerta debido a las prácticas vinculadas con estos usos de la tierra. Debido a que este reservorio incluye varios componentes, análisis

adicionales podrían realizarse con la información recolectada sobre tocones, árboles muertos en pie y madera muerta caída, y estimar su importancia relativa.

Con respecto a la hojarasca y observando su baja contribución al carbono total, debería considerarse si este reservorio se incluirá en los reportes a la CMNUCC, debido a los costos y esfuerzos asociados para levantar esta información en campo y análisis de laboratorio. Además, la variabilidad estacional de la hojarasca dificulta la estimación de cambios y emisiones para este reservorio.

En cuanto al contenido de carbono orgánico en suelos, éste es mayor en las áreas con cobertura boscosa (65.8 t C/ha) que en las áreas fuera de bosque (41.7 t C/ha). Para los bosques, el bosque de rafia tiene un mayor contenido de carbono orgánico en los suelos asociado a los suelos de turba en los que se desarrolla, mientras para el bosque plantado los resultados se basan en una UM de coníferas, que presenta bajos valores de este reservorio debido a su suelo somero y degradado, y material parental superficial. Fuera del bosque se destaca el alto valor de este reservorio para cultivos agrícolas y pastos, lo cual se debe que las prácticas de manejo que incorporan materia orgánica a los suelos de estas categorías. Para una remediación futura, debe considerarse que el valor del contenido de carbono orgánico en los suelos puede variar con la estacionalidad.

La Figura 7 muestra la proporción de los cinco reservorios de carbono según el IPCC y en la Tabla 12 se presentan las estimaciones por categoría de cobertura y uso de la tierra.

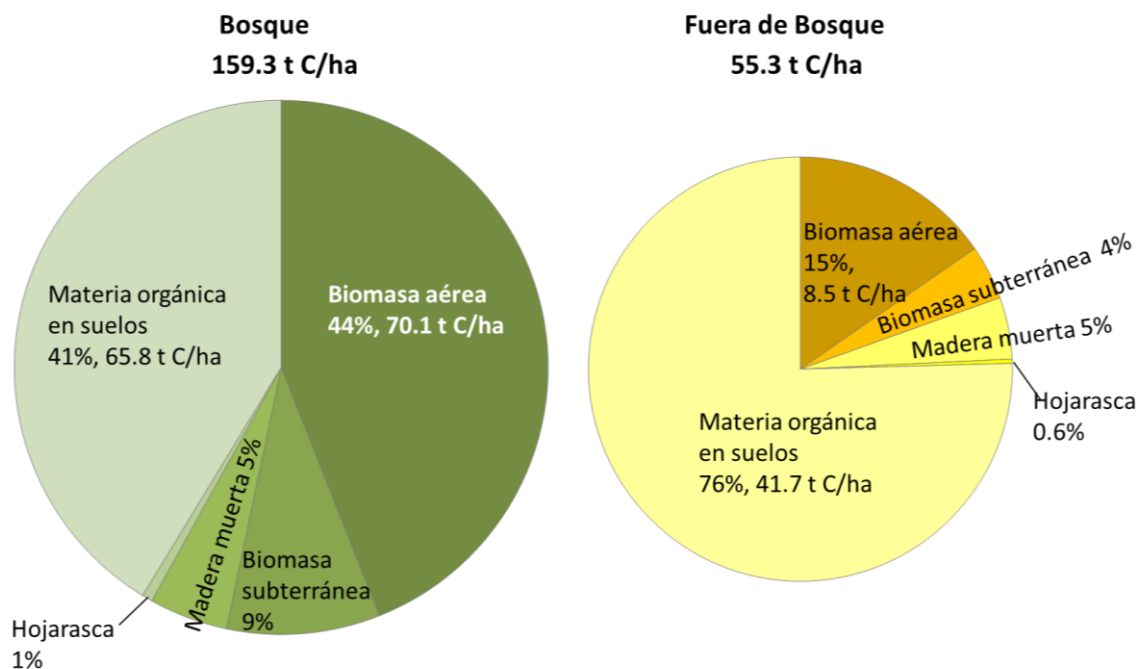


Figura 7. Contenido de carbono en los cinco reservorios reportados para bosque y fuera de bosque para la fase piloto del INFC.

El contenido total de carbono en el bosque es significativamente mayor que fuera del bosque, según lo esperado, estimándose en 159.3 t/ha. Como muestra la Figura 7, los principales reservorios en el bosque

corresponden a biomasa aérea (44%) y carbono orgánico en suelos (41%), mientras que fuera del bosque, el carbono se encuentra almacenado principalmente en la materia orgánica del suelo (76%).

El contenido de carbono en la biomasa subterránea fue estimado a partir de la biomasa aérea con ecuaciones alométricas (sección 6.1.4) y por tanto la misma varía proporcionalmente. Para el bosque, la relación entre biomasa subterránea y aérea se estima en 21.1 por ciento, el cual es un valor similar a los factores por defecto incluidos en las guías del IPCC.

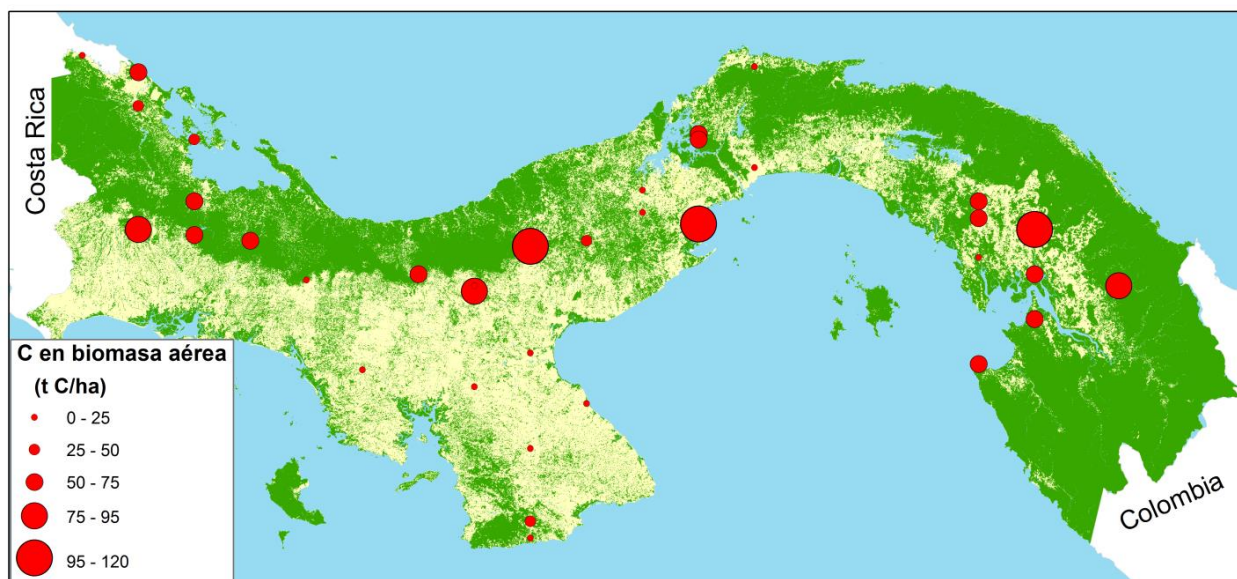


Figura 8. Distribución espacial del contenido de carbono en la biomasa aérea para la fase piloto del INFC. El verde representa área en bosque y el amarillo fuera de bosque.

La Figura 8 muestra el carbono por hectárea en la biomasa aérea de las diferentes UM. El rango de variación es 0 – 120 toneladas de carbono por hectárea. En general, en las UM están presentes más de una categoría de cobertura y uso de la tierra, por lo cual se observa una alta variación en los contenidos de carbono en las zonas boscosas. Por otro lado, para las zonas fuera de bosque, los resultados de la fase piloto indican un bajo contenido de carbono en la biomasa aérea.

#### 7.4.1 Especies de interés comercial

Las especies de interés comercial fueron establecidas según la Resolución No. AG-0066-2007 del Ministerio de Ambiente. La Tabla 13 detalla los volúmenes total y comercial de estas especies en áreas de bosque, y está ordenada por importancia del volumen comercial estimada a partir de los datos de la fase piloto del INFC. Para la estimación del volumen comercial se consideraron solamente árboles vivos con calidad de fuste tipo A y B, y con diámetro (DAP) mayor o igual a 50 cm.

Del total del volumen comercial estimado de 18.8 m<sup>3</sup>/ha (Tabla 11), la mitad se encuentra en cinco especies, siendo Bongo (*Ceiba pentandra*), Espavé (*Anacardium excelsum*) y Sangre (*Pterocarpus*

oficinales) los tres más importantes. También se puede observar que para algunas especies de alto valor tales como Caoba (*Swietenia macrophylla*), Cedro amargo (*Cedrela odorata*) y Quira (*Platymiscium pinnatum*), no se encontraron individuos de tamaño comercial, pero sí con diámetros menores. Se destaca que otras especies de alto valor como el Cocobolo (*Dalbergia retusa*), ni siquiera fueron encontradas en la fase piloto del INFC.

Tabla 13. Volumen total y comercial de especies de interés comercial encontradas en áreas boscosas para la fase piloto del INFC.

Nombre común	Especie	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha) <sup>A</sup>
Bongo	<i>Ceiba pentandra</i>	5.73	3.70
Espavé	<i>Anacardium excelsum</i>	6.96	2.41
Sangre	<i>Pterocarpus officinalis</i>	5.67	1.43
Zapatero	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	2.61	1.02
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	2.23	0.96
Tangaré	<i>Carapa sp</i>	1.25	0.81
Cortezo	<i>Apeiba membranacea</i>	2.42	0.77
Miguelario	<i>Virola sp</i>	1.63	0.75
Corotú	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2.37	0.59
Mayo blanco	<i>Vochysia guatemalensis</i>	0.86	0.45
Mayo negro	<i>Vochysia ferruginea</i>	1.15	0.42
Amargo amargo	<i>Vatairea erythrocarpa</i>	1.08	0.41
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	1.16	0.41
Pino	<i>Pinus caribaea</i>	9.00	0.39
Cedro espino	<i>Pachira quinata</i>	2.24	0.37
Cativo	<i>Prioria copaifera</i>	2.42	0.35
Coco	<i>Lecythis tuyrana</i>	0.53	0.34
Cerillo	<i>Symphonia globulifera</i>	0.93	0.32
Amarillo	<i>Terminalia amazonia</i>	1.25	0.30
Nazareno	<i>Peltogyne purpurea</i>	0.49	0.29
Berbá	<i>Brosimum utile</i>	0.51	0.28
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	1.74	0.26
Miguelario	<i>Virola multiflora</i>	0.84	0.23
Cabimo	<i>Copaifera aromatica</i>	0.44	0.21
Espino Amarillo	<i>Chloroleucon mangense</i>	0.35	0.17

Nombre común	Especie	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha) <sup>A</sup>
Olivo	<i>Sapium glandulosum</i>	0.31	0.16
Bálsamo	<i>Myroxylon balsamum</i>	0.54	0.15
Nuno	<i>Hura crepitans</i>	0.33	0.15
Pava	<i>Schefflera morototoni</i>	1.01	0.14
Almendro	<i>Dipteryx oleifera</i>	0.21	0.11
Panamá	<i>Sterculia apetala</i>	0.11	0.09
María	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.10	0.07
Zorro	<i>Astronium graveolens</i>	0.62	0.07
Cedro cebolla	<i>Cedrela tonduzii</i>	0.38	0.07
Cutarro	<i>Swartzia panamensis</i>	0.32	0.04
Roble de sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	0.22	0.03
Mango	<i>Mangifera indica</i>	0.05	0.02
Tachuelo	<i>Zanthoxylum setulosum</i>	0.02	0.00
Cuajao	<i>Vitex cooperi</i>	0.18	0.00
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.80	0.00
Quira	<i>Platymiscium pinnatum</i>	0.13	0.00
Sigua	<i>Nectandra umbrosa</i>	0.02	0.00
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	0.06	0.00
Membrillo	<i>Gustavia superba</i>	0.15	0.00
Mata hombro	<i>Cornus disciflora</i>	0.03	0.00
Amarillo guayaquil	<i>Centrolobium yavizanum</i>	0.13	0.00
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	0.01	0.00
Ajo	<i>Cassipourea elliptica</i>	0.08	0.00
Madroño	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	0.12	0.00
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.09	0.00

<sup>A</sup> Volumen comercial incluye árboles vivos con calidad de fuste alta y media, y DAP mayor o igual a 50 cm.

Analizando las especies encontradas en el bosque y no catalogadas de interés comercial, se puede observar en la Tabla 14 la importancia del Cuipo (*Cavanillesia platanifolia*), el cual contribuye con 39.4 m<sup>3</sup>/ha, correspondiendo a casi 16 por ciento al volumen total del bosque.

Tabla 14. Volumen total y comercial de 15 especies no catalogadas de interés comercial, encontradas en áreas boscosas para la fase piloto del INFC.

Nombre común	Especie	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha) <sup>A</sup>
Cuipo	<i>Cavanillesia platanifolia</i>	39.37	28.59
Mangle negro	<i>Avicennia bicolor</i>	12.38	1.85
Barrigón	<i>Pseudobombax septenatum</i>	1.15	0.94
Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	3.10	0.73
Sangre	<i>Pterocarpus rohrii</i>	1.75	0.49
Reseco	<i>Tachigali panamensis</i>	0.60	0.47
Caucho	<i>Castilla elastica</i>	3.82	0.46
Aguacatillo	<i>Persea rigens</i>	1.00	0.45
Caobilla	<i>Tapirira guianensis</i>	1.68	0.45
Cenizo	<i>Ulmus mexicana</i>	0.78	0.45
Fruta dorada	<i>Virola koschnyi</i>	0.68	0.42
Yuco de monte	<i>Pachira sessilis</i>	0.74	0.41
Gavilán colorado	<i>Alfaroa costaricensis</i>	1.39	0.30
Higuerón	<i>Ficus insipida</i>	1.12	0.28
Corocito	<i>Maranthes panamensis</i>	0.85	0.26

<sup>A</sup> Volumen comercial incluye árboles vivos con calidad de fuste alta y media y DAP mayor o igual a 50 cm.

En la Figura 9 se presentan las especies más importantes en términos de su aporte a la biomasa aérea en bosque y fuera de bosque. Se puede observar que en bosque, las cinco especies con mayor contenido de biomasa son: Cuipo (*Cavanillesia platanifolia*), Mangle negro (*Avicennia bicolor*), Pino (*Pinus caribaea*), Espavé (*Anacardium excelsum*) y Caucho (*Castilla elastica*). Mientras que, para áreas fuera de bosque, las especies con mayor biomasa son: Laurel (*Cordia alliodora*), Pixbae (*Bactris gasipaes*), Tronador (*Hura crepitans*), Guácimo colorado (*Luehea seemannii*) y Bongo (*Ceiba pentandra*).

Cabe destacar que las cinco especies con mayor contribución a la biomasa son diferentes en bosque y fuera de él. Fuera del bosque se conservan algunas especies debido a su interés comercial y alimenticio, como el Laurel (*Cordia alliodora*) y Pixbae (*Bactris gasipaes*).



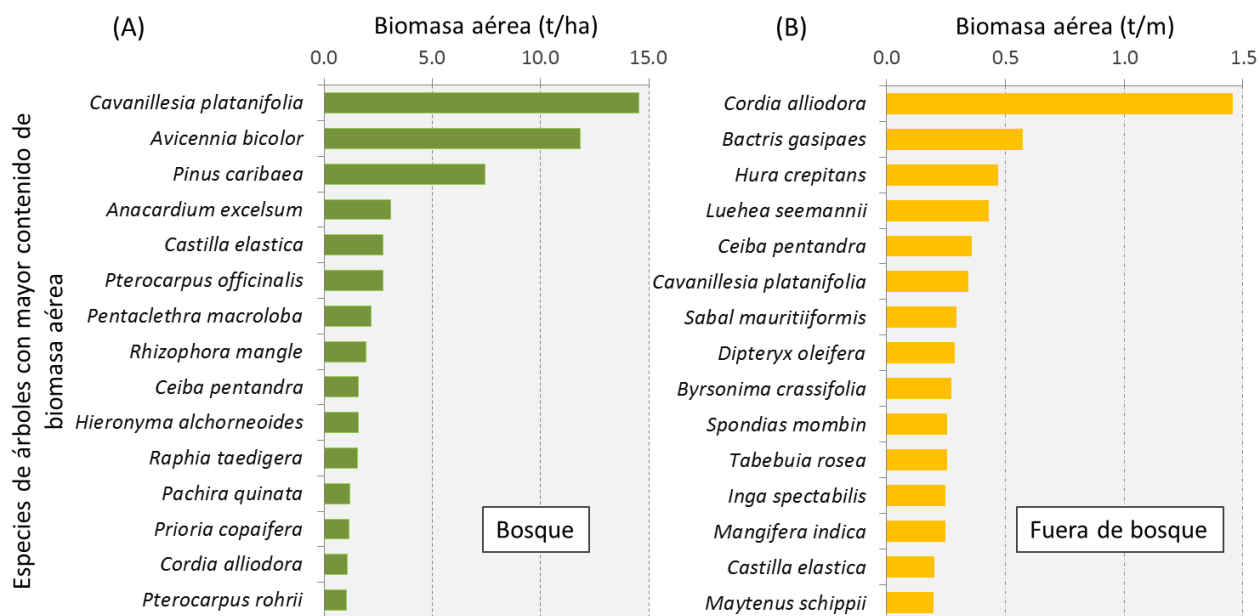


Figura 9. Especies de árboles con el mayor contenido de carbono en la biomasa aérea para la fase piloto del INFC. Especies ordenadas por mayor contenido de carbono en: (A) bosque y (B) fuera de bosque.

### 7.5 Diversidad biológica

Se registraron 648 especies de árboles en la fase piloto del INFC. El 93.6 por ciento de los árboles están identificados al menos a nivel de familia, 92.2% a nivel de género y 78.2% a nivel de especie. Los árboles que no pudieron identificarse eran muy altos o sin hojas, haciendo imposible verificar su identidad taxonómica. Adicionalmente, la mayoría de los individuos desconocidos fueron registrados en territorios indígenas, en donde no se permitió la recolecta de material florístico, lo que dificultó su identificación a nivel de especie.

La Tabla 15 muestra la riqueza de especies por categorías diamétricas. Se puede observar que se encontró mayor riqueza de árboles medianos. Para la categoría de árboles grandes fue para la que menos especies se encontró, por ser estos árboles menos frecuentes; sin embargo, es importante destacar que 24 especies de árboles solamente se reportaron en esta categoría diamétrica, entre dichas especies estuvieron Árbol Panamá (*Sterculia apetala*) y Corotú (*Enterolobium cyclocarpum*).

Tabla 15. Riqueza total de especies y especies únicas por categoría diamétrica para la fase piloto del INFC.

Categoría diamétrica	Riqueza de especies	Especies únicas
10 a 20 cm	458	114
20 a 50 cm	503	124
Mayor o igual a 50 cm	197	24

La Figura 10 muestra el número de UM en las que se reportó cada especie. Se puede observar que la mayoría de las especies (57%) se registraron en una sola unidad de muestreo, mientras solo seis especies se registraron en 10 o más unidades de muestreo, siendo las más frecuentes: *Luehea seemanii* (15 UM), *Anacardium excelsum* (Espavé, 13 UM), *Cordia alliodora* (12), *Ochroma pyramidale* (Balsa, 11 UM), *Schefflera morototoni* (Pava, 11 UM) y *Castilla elastica* (Caucho, 10 UM).

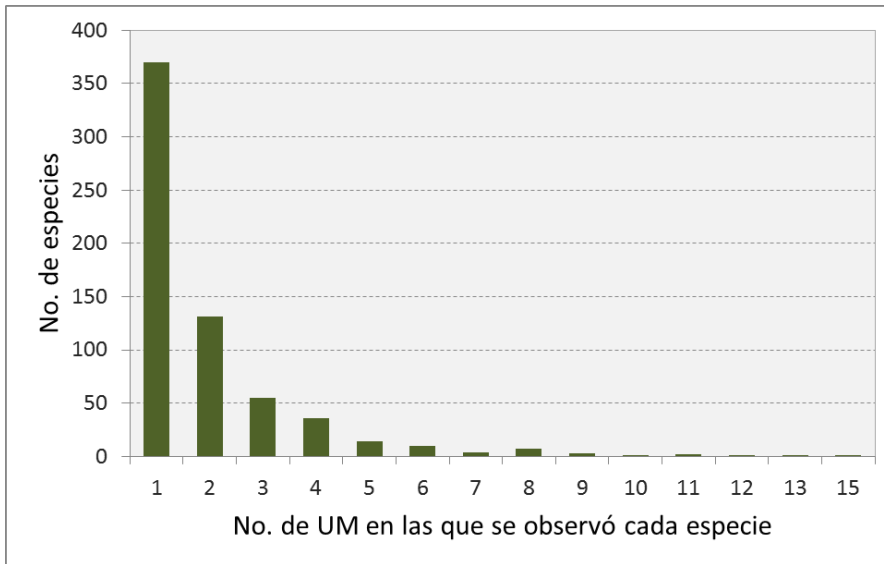


Figura 10. Número de especies encontradas en una o más UM para la fase piloto del INFC.

La Figura 11 muestra que la mayor riqueza se encuentra en zonas boscosas. Se destaca la alta riqueza de la zona de El Copé en la provincia de Coclé, un bosque premontano protegido, cuya riqueza de especies se ve favorecida por el clima y la elevación.

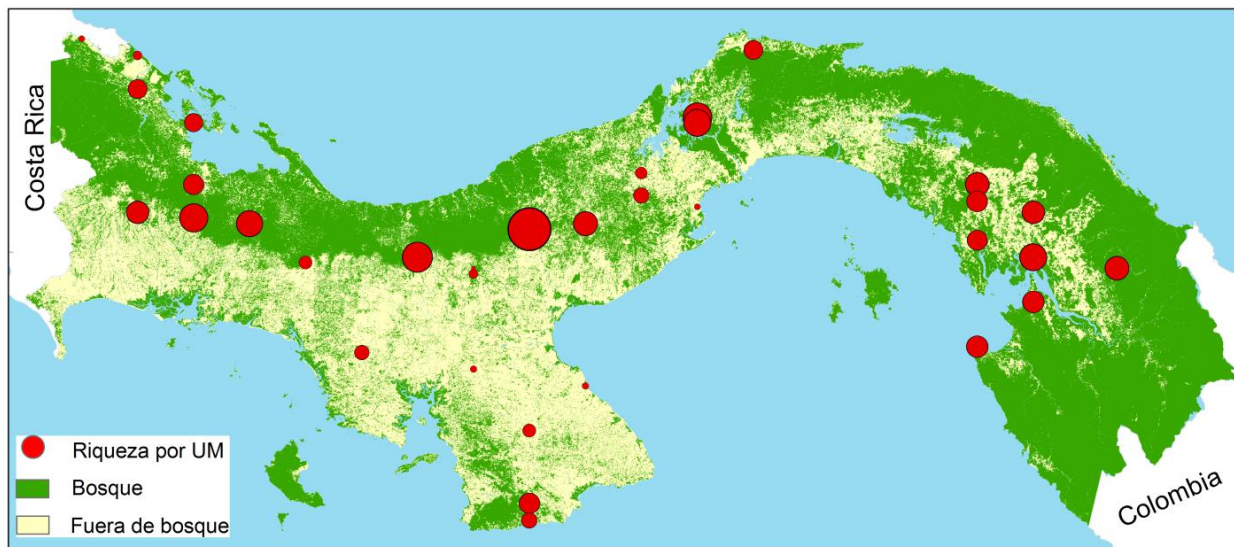


Figura 11. Distribución espacial de la riqueza de especies de árboles para la fase piloto del INFC. El tamaño de los círculos aumenta en proporción al número de especies registradas.

En la Tabla 16 se observa que se encontraron pocas especies comunes entre las diferentes UM, ya que la proporción de especies únicas por UM fue cerca o más de la mitad en la mayoría de los casos.

Tabla 16. Riqueza total de especies y especies únicas por UM según ubicación para la fase piloto del INFC.

Ubicación	Identificador de la UM	Número de especies por UM		
		Total	Únicas	Proporción de especies únicas
<b>En bosque</b>				
Parque Nacional Omar Torrijos Herrera, Coclé	3598	151	68	45%
Santa Fe, Veraguas	2506	82	39	48%
Río Agua Salud, Colón	5012	76	23	30%
Reserva de Fortuna, Chiriquí	1045	74	45	61%
Camino de Oleoducto, Colón	5013	68	20	29%
La Palma, Darién	6717	68	12	18%
Alto Nuri, Comarca Ngäbe Bugle	1336	65	32	49%
Tucucito, Coclé	4236	56	19	34%
Villa Caleta, Comarca Embera Wounaan	7691	55	11	20%
Tortí, Panamá	6230	54	13	24%
Arimae, Tierras Colectivas Embera Wounaan	6709	50	20	40%
Potreros, Chiriquí	659	49	34	69%
Garachiné, Darién	6250	46	23	50%
Mogocenega, Darién	6724	46	16	35%
Río Congo Arriba, Darién	6233	43	20	47%
Pedregalito, Los Santos	3647	42	24	57%
Oriente, Comarca Ngäbe Bugle	1039	41	22	54%
Río Congo, Darién	6240	40	24	60%
El Empalme, Bocas del Toro	637	37	20	54%
Nombre de Dios, Colón	5259	37	24	65%
Cauchero, Bocas del Toro	1034	34	19	56%
San San Pond Sak, Bocas del Toro	631	10	9	90%
La Yeguada, Veraguas	2954	10	7	70%
Santa Ana, Los Santos	4252	6	3	50%
Playa Leona, Panamá Oeste	5028	5	5	100%
<b>Fuera de bosque</b>				
Cambutal, Los Santos	3650	26	15	58%
La Gaita, Panamá Oeste	4694	25	14	56%
Corozal, Veraguas	2109	23	9	39%
Alto Quetzal, Comarca Ngäbe Bugle	1706	19	18	95%
El Calabacito, Herrera	3634	19	14	74%
La Trinidad, Panamá Oeste	4690	16	13	81%
La Carrillo, Veraguas	2971	6	4	67%
Tiger Hills, Bocas del Toro	188	5	5	100%
La Chitra, Veraguas	2953	3	3	100%
El Roble, Coclé	3717	0	0	0%
San Miguelito, Panamá	5277	0	0	0%

La Figura 12 muestra que la riqueza de especies es muy variable entre las distintas UM, y que en la mayoría de las UM se encuentran entre 20 y 80 especies.

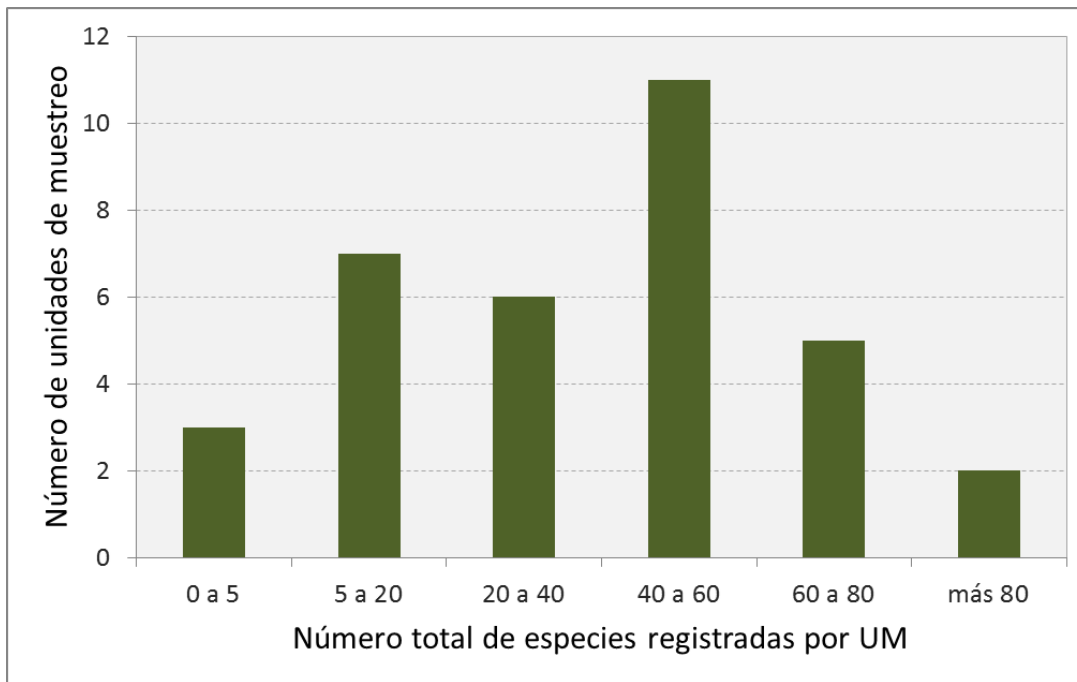


Figura 12. Riqueza de especies (frecuencia por UM) para la fase piloto del INFC.

Para analizar la importancia relativa de los árboles, palmas, helechos arbóreos y lianas, los mismos fueron separados en grupos funcionales. Las lianas pueden ser un indicador del estado del bosque y se ha reportado que en bosques con mayor densidad de lianas, la biomasa aérea en árboles es menor<sup>15</sup>; esto se debe a la competencia lumínica de las lianas en el dosel superior.

La Figura 13 muestra el número de individuos por grupo funcional según la categoría de cobertura y uso de la tierra. Debido al alto número de árboles con respecto a los otros grupos funcionales, la Figura 13 presenta dos gráficas: (A) para árboles y (B) para los demás grupos; ambas con escalas distintas en el eje x (número de individuos). En la figura B sobresale el alto número de palmas en el bosque de rafia debido a que en esta categoría más del 60% de los individuos pertenece a esta especie de palma; para facilitar la presentación de los datos, se efectuó una interrupción el eje x.

Los helechos arbóreos y las lianas se encontraron en baja proporción y solamente en los bosques maduros, bosques secundarios y en rastrojos. No se encontraron diferencias significativas entre el número de lianas en bosques secundarios y maduros.

<sup>15</sup> Durán y Gianoli. 2013. Carbon stocks in tropical forests decreases with liana density. *Biology Letters* 9: 20130301

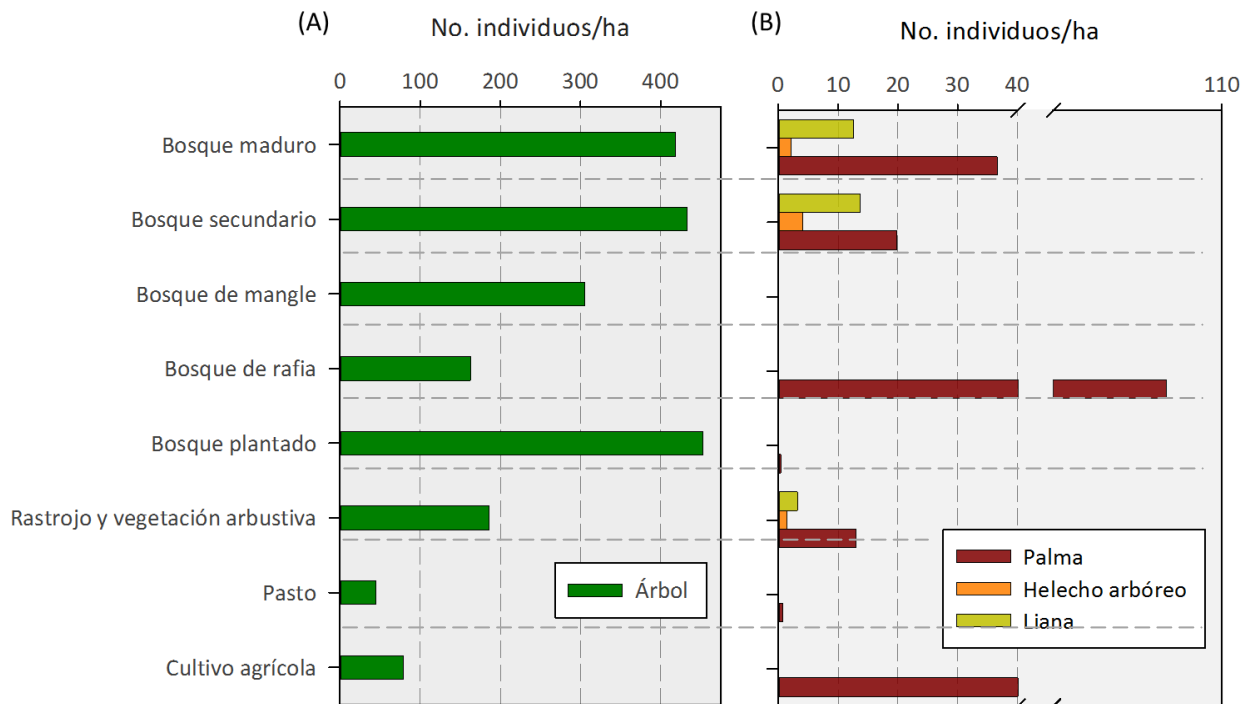


Figura 13. Número de individuos por grupo funcional según cobertura y uso de tierra para la fase piloto del INFC: (A) árboles, (B) palmas, helechos arbóreos y lianas.

### 7.5.1 Especies amenazadas y endémicas

En la fase piloto del INFC se registraron 62 especies amenazadas según el Ministerio de Ambiente<sup>16</sup>. De éstas, dos especies están reportadas en peligro crítico (CR): *Podocarpus oleifolius* y *Swietenia macrophylla*; ocho se encuentran en peligro (EN) y 52 son vulnerables (VU). Adicionalmente, se registraron 17 especies endémicas, las cuales se listan en la Tabla 17.

Tabla 17. Especies endémicas y cantidad de UM en las que fueron reportadas en la fase piloto del INFC.

Especie	Familia	#UM <sup>A</sup>
<i>Aiouea vexatrix</i>	Lauraceae	1
<i>Amphitecna spathicalyx</i>	Bignoniaceae	1
<i>Coccoloba manzinellensis</i>	Polygonaceae	1
<i>Coussapoa brevipes</i>	Urticaceae	1
<i>Croton pachypodus</i>	Euphorbiaceae	1
<i>Dilodendron costaricense</i>	Sapindanceae	1
<i>Guatteria rotundata</i>	Annonaceae	1
<i>Ladenbergia laurifolia</i>	Rubiaceae	1
<i>Matisia exalata</i>	Malvaceae	1

Especie	Familia	#UM <sup>A</sup>
<i>Ocotea gordonii</i>	Lauraceae	1
<i>Palicourea roseofaucis</i>	Rubiaceae	1
<i>Parathesis amplifolia</i>	Primulaceae	1
<i>Pentagonia nuciformis</i>	Fabaceae	2
<i>Protium tenuifolium</i>	Burseraceae	5
<i>Swartzia nuda</i>	Fabaceae	2
<i>Vantanea depleta</i>	Humiriaceae	2
<i>Xylopia panamensis</i>	Annonaceae	1

<sup>A</sup> #UM refiere a la cantidad de UM en las que se reportó las especies

<sup>16</sup> Categorías de amenaza de especies según la resolución No. AG-0051-2008 del 2008 de la Autoridad Nacional del Ambiente (actualmente Ministerio de Ambiente)

### 7.5.2 Nuevos reportes

La incorporación de especialistas botánicos como parte de las cuadrillas de campo para el levantamiento de información botánica en las UM, permitió la identificación y verificación de las especies arbóreas registradas en cada uno de los sitios estudiados. Durante la fase piloto del INFC se encontraron cinco (5) especies nuevas para la ciencia:

i. Parque Nacional Omar Torrijos Herrera, Coclé:

- *Dacryodes* sp. (Burseraceae),
- *Eschweilera* sp. (Lecythidaceae),
- *Vochysia* sp. (Vochysiaceae), y
- un taxón de la familia Lythraceae.

ii. Garachiné, Darién:

- *Pleradenophora* sp (Euphorbiaceae)

***Para la descripción y publicación de estas especies nuevas según los estándares de la taxonomía vegetal, es necesario recolectar material adicional, ya sea de las flores o los frutos, para que sea validado.***

Además, hubo seis (6) reportes nuevos de especies para Panamá:

i. Parque Nacional Omar Torrijos Herrera, Coclé:

- *Huerteia glandulosa* Ruiz & Pav.
- *Warszewiczia uxpanapensis* (Lorence) C.M. Taylor

ii. Parque Nacional Santa Fe, Veraguas:

- *Conostegia rhodopetala* Donn. Sm.

iii. Changuinola, Bocas del Toro:

- *Zygia inaequalis* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Pittier

iv. Fortuna, Chiriquí:

- *Blakea grandiflora* Hemsl

v. La Palma, Darién:

- *Batocarpus amazonicus* (Ducke) Fosberg

### 7.6 Topografía y suelos

La información de la fase piloto fue levantada en áreas con un amplio rango de pendiente, exceptuando los manglares, que siempre se encuentran en sitios planos (Tabla 18). Los suelos observados en las UM mostraron densidades aparente similares (con excepción de la rafia que tiene suelos de turba), pero con variación en los niveles de intercambio catiónico.

Tabla 18. Pendiente, densidad aparente y acidez del suelo según categorías de uso de tierra para la fase piloto del INFC.

Categoría de uso de tierra	Pendiente (%)				Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de intercambio catiónico (MEQ/100g)
	Promedio	Mínima	Máxima	CV <sup>A</sup>		
Bosque maduro	25.7	0	40	63.7%	1.16	2.07
Bosque secundario	23.4	0	50	82.8%	1.01	3.45
Bosque de mangle	0.0	0	0		1.07	0.05
Bosque de rafia	0.0	0	0		0.13	1.30
Plantación	20.0	20	20		1.10	7.10
Rastrojo	27.5	10	45	90.0%	1.11	2.85
Pasto	19.3	0	45	98.6%	1.11	2.73
Cultivo agrícola	18.3	0	38	101.9%	1.39	1.23

<sup>A</sup> CV = coeficiente de variación. Se estima dividiendo la desviación estándar entre el promedio, presentado en porcentaje.

La Tabla 19 presenta la fertilidad de los suelos para las diferentes categorías de cobertura y uso de la tierra presentes en la fase piloto del INFC. Esta información se recolectó para complementar la información de suelos disponible en el país, considerando el carácter multipropósito del INFC. La riqueza de esta información se puede utilizar ampliamente en diversas aplicaciones y análisis más allá del alcance de este informe; en particular, puede contribuir al manejo de suelos para las distintas coberturas y usos de la tierra.

Tabla 19. Fertilidad del suelo según categorías de uso de tierra para la fase piloto del INFC.

Categoría de uso de tierra	Macronutrientes <sup>A</sup>				Micronutrientes <sup>B</sup>				
	K (ppm)	Ca (MEQ/100 g)	Mg (MEQ/100 g)	P (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Na (ppm)
Bosque maduro	103.2	15.3	10.7	7.0	107.0	45.0	3.7	3.5	48.3
Bosque secundario	81.0	24.5	8.3	16.3	176.0	54.2	3.4	5.7	41.0
Bosque de mangle	916.0	4.6	23.2	12.0	304.5	286.0	4.5	8.5	6724.0
Bosque de rafia	98.0	14.4	24.0	11.0	139.0	112.0	4.0	21.0	2785.0
Plantado	60.0		0.4	14.0	174.0	50.0		3.0	11.0
Rastrojo	79.5	14.0	9.6	34.0	214.0	54.5	6.0	4.0	41.5
Pasto	163.6	18.2	11.9	17.0	199.7	45.0	4.0	6.0	46.6
Cultivo agrícola	87.3	15.5	11.4	19.3	114.2	75.5	3.7	4.8	176.0

<sup>A</sup> Macronutrientes: Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P)

<sup>B</sup> Micronutrientes: Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Sodio (Na)

Estos datos destacan que el contenido de Fósforo en los bosques es menor que en otros usos, lo cual confirma la situación general en los bosques tropicales. Los bosques de mangle y rafia poseen contenidos altos de Sodio debido a que estos bosques están expuestos al flujo y reflujo de las mareas que aportan salinidad a los suelos.

## 8 Lecciones aprendidas y buenas prácticas

Durante el desarrollo de la fase piloto del INFC, hubo un mejoramiento continuo tanto de los procesos logísticos y organizativos, como para el levantamiento de los datos de campo. A continuación se presentan las principales lecciones aprendidas y buenas prácticas desarrolladas.

### 8.1 Coordinación y logística del trabajo de campo

#### 8.1.1 Misiones de reconocimiento

Para mejorar la eficiencia de las giras de levantamiento de las UM, es altamente recomendable realizar una misión previa de reconocimiento con los siguientes objetivos:

- Informar a las Direcciones Regionales y Agencias de MIAMBIENTE, sobre el INFC y las actividades a desarrollar en el área.
- Reunirse con las comunidades y dueños de los predios para informar sobre el trabajo a realizar, y obtener los permisos de acceso necesarios.
- Ubicar las coordenadas del punto central de la UM, evaluar opciones de acceso y requerimientos para llegar al sitio, así como realizar los arreglos necesarios en caso de requerir medios de transporte adicionales (bote, caballos, otros), todo para facilitar la llegada de la brigada de campo a la UM.
- Identificar condiciones para la estadía y alimentación de la brigada de campo, y personal de apoyo a ser contratado localmente como guías y trabajadores de campo.
- En territorios indígenas, la misión de reconocimiento debe incluir un amplio proceso de información a las autoridades tradicionales de los distintos niveles de organización, así como a la(s) comunidad(es) más cercana(s) a la unidad de muestreo. En este caso debe considerarse de 2 a 5 días adicionales, para asegurar que se llega a un acuerdo con todas las autoridades, miembros de la comunidad y dueños de los predios.

#### 8.1.2 Composición de cuadrillas de campo

La composición de la cuadrilla de campo se ajustó durante el trabajo de campo de la fase piloto del INFC, y con base en estas experiencias se recomienda una cuadrilla integrada por, al menos, las siguientes personas.

- 1 jefe de cuadrilla, quien además tiene la función de anotador
- 1 delimitador de parcela + 2 ayudantes locales
- 1 técnico encargado de mediciones dasométricas
- 1 botánico + 1 ayudante local



En general se pagó B./ 20 diarios a los trabajadores locales. Sin embargo, esta cifra puede variar, particularmente en los lugares donde existen megaproyectos de construcción, en los cuales es necesario realizar ajustes para asegurar la participación de trabajadores locales.

Dependiendo de la complejidad de la UM y requerimientos de tiempo, pueden emplearse dos cuadrillas de campo para levantar una UM.

## 8.2 Recolecta de datos de campo

El trabajo de campo durante la fase piloto generó muchas experiencias y aprendizajes relacionados con la recolecta de los datos; entre ellos, se recomiendan específicamente:

- Utilizar una regla para medir árboles con gambas.
- Al recolectar muestras de suelo para densidad aparente, se debe asegurar que los cilindros metálicos se llenen completamente (queden al ras) y forrarlos con papel aluminio para evitar pérdidas. En humedales y manglares, se toma la muestra solamente en los primeros 30 cm de profundidad. Además, se debe tomar una fotografía de las muestras recolectadas de suelo y hojarasca dentro de las bolsas ziplock debidamente rotuladas.
- Llevar un registro de las fotografías de referencia y de misión, el cual debe ser entregado con los formularios de campo. La cámara fotográfica debe configurarse para que en las fotografías se muestre el número de la foto y la fecha.
- Documentar la posición del punto central de la UM, tomando fotografías de los cuatro puntos cardinales con el GPS de alta precisión.
- No incluir las unidades de medida al llenar los formularios de campo.
- Revisar que los formularios de campo estén completos antes de salir de la UM, para evitar pérdida de información y posible regreso a la UM. El jefe de la cuadrilla de campo debe asegurar diariamente el llenado correcto de los formularios utilizando la lista de chequeo.
- El conteo de la regeneración natural debe estar apoyado por el botánico para evitar la inclusión de arbustos.
- Llevar una copia del manual de campo para consultarlo durante el levantamiento de campo, si fuera necesario.

Para el mejoramiento continuo del trabajo de campo, tanto en términos de eficiencia como para la calidad de los datos levantados, es importante incorporar un proceso de capacitación permanente. Si se trabaja con varias brigadas de campo, es útil realizar ejercicios conjuntos que permitan la retroalimentación de experiencias, y homologación en los procedimientos para las mediciones dasométricas y los criterios de clasificación de distintas variables. El acompañamiento periódico por el coordinador técnico del INFC a las brigadas es importante para detectar errores y corregir procedimientos, y también para homologar metodologías.

### 8.3 Contratación de empresas forestales y ONG

Durante la etapa de planificación de la fase piloto del INFC, se estableció que parte del trabajo de campo se realizaría por medio de la contratación de empresas forestales a las cuales se capacitaría en la metodología a utilizar. Aunque este proceso estaba por iniciar en 2013, debido a la suspensión de nuevas actividades de ONU-REDD Panamá acordada en ese momento, este proceso se postergó hasta 2014 mediante una licitación por invitación realizada por la FAO para el levantamiento de campo fuera de los territorios indígenas. Los términos de referencia utilizados para esta contratación se encuentran en un documento separado titulado “*Términos de referencia: Empresas Forestales para el levantamiento de datos de la primera fase*”.

Para el levantamiento de campo en territorios indígenas, se desarrolló un proceso diferente con amplia participación de las autoridades tradicionales, quienes se involucraron en la designación de organizaciones o técnicos indígenas, siguiendo un proceso de Consentimiento Libre, Previo e Informado (CLPI).

A partir de las experiencias de estos procesos, se recomienda lo siguiente:

- Las comunicaciones deben realizarse por escrito y con el punto focal debidamente establecido, para documentar acontecimientos y decisiones, y mantener coherencia en los procesos realizados.
- La planificación de las actividades de campo debe realizarse en estrecha colaboración con MIAMBIENTE y con la debida antelación para asegurar el acompañamiento de personal del Ministerio en las actividades de campo. Cambios en el cronograma deberán realizarse de mutuo acuerdo y por escrito.
- Discutir y acordar al inicio del contrato, las circunstancias por las cuales la empresa u ONG puede no levantar o levantar parcialmente una unidad de muestreo. En todos los casos, cuando se presentan estas situaciones en el campo, la empresa u ONG deberá informar al punto focal de MIAMBIENTE sobre la situación y contar con su consentimiento antes de abandonar el lugar de la UM.
- Asignar montos o porcentajes específicos para las diferentes tareas del trabajo de campo e incluirlos en el contrato con la empresa u ONG; esto para tener claridad sobre los pagos en caso de unidades de muestreo incompletas.
- Incluir el número de serie de los equipos de mayor valor en el listado de equipo entregado a las empresas u ONG.
- En las unidades de muestreo que se localicen en comarcas y territorios indígenas, las empresas u ONG deben seguir el proceso de *Balu Wala*, que implica la participación de los sabios, líderes y técnicos indígenas en todo el proceso.

## 8.4 Control de calidad

Algunas de las recomendaciones específicas sobre el control de calidad que surgieron de las experiencias de levantamiento de campo fueron:

- Contar con los datos de campo del levantamiento de la UM.
- Anotar el número de árbol utilizado en el levantamiento de la UM, para facilitar la comparación de las mediciones dasométricas.
- Verificar la altura sólo de los árboles medidos y no de los estimados.

## 9 Conclusiones y recomendaciones

Dado que los resultados de la fase piloto del INFC están basados en 36 UM, los datos y estimaciones presentadas en este informe deben tratarse con prudencia y no como datos oficiales nacionales definitivos, considerando que los errores de muestreo de esta muestra relativamente pequeña, pueden ser elevados. Una vez se complete el INFC, se dispondrá de un conjunto de datos que constituirá la información oficial.

Las experiencias del trabajo realizado, resultados y análisis ulteriores, fueron utilizados para proponer ajustes en el diseño del INFC, buscando como aumentar la eficiencia y reducir los costos del inventario. Esta propuesta se encuentra en el documento *“Diseño de la fase piloto 2013-2015 y propuesta para la fase final”*.

El uso del SIBP<sup>2</sup> ha mostrado ser de gran utilidad para la gestión, procesamiento y análisis de los datos del INFC. Esto, aunado con la descripción metodológica contenida en este documento, brinda una base sólida para la gestión de los datos y la continuación del trabajo del INFC. Para el buen uso, y para asegurar la integridad, calidad y preservación de la base de datos desarrollada, se requiere la asignación de una persona responsable para su administración. La información contenida actualmente en la base de datos, resume la mayor parte del esfuerzo efectuado, tanto técnico como financiero, de la fase piloto del inventario.

De igual forma, la colección de referencia de especímenes botánicos que se encuentra en el Herbario de la Universidad de Panamá, debe continuar su desarrollo según se avance con la implementación del INFC, lo cual requiere continuar la colaboración con el Herbario para el montaje de los especímenes y su inclusión en las bases de datos, tanto del inventario como del Herbario.

**Anexo 1. Sistema de clasificación de cobertura y uso de la tierra para el sistema nacional de monitoreo de los bosques.**

TERRITORIOS	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV		
	ECOSISTEMA Y USO	COBERTURA	TIPO	SUBTIPO		
TERRITORIOS	BOSQUE	Natural	Latifoliado mixto	Maduro Secundario		
			Mangle	Maduro Secundario		
			Orey	Maduro Secundario		
			Cativo	Maduro Secundario		
			Rafia	Maduro Secundario		
			Plantado	Coníferas		
				Latifoliadas		
			VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBÁCEA	Rastrojo y vegetación arbustiva		
				Vegetación herbácea	Paja canalera Otra vegetación herbácea	
				Vegetación baja inundable		
	Páramo					
	ÁREA ABIERTA SIN O CON POCA VEGETACIÓN	Afloramiento rocoso y tierra desnuda				
		Playa y arenal natural				
		Albina				
	AGROPECUARIO	Cultivo	Cultivo permanente	Café		
				Cítrico		
				Palma aceitera		
				Palma de coco		
				Plátano/banano		
			Otro cultivo permanente			
Cultivo anual			Arroz			
	Caña de azúcar					
	Horticultura mixta					
Área heterogénea de producción agropecuaria	Maíz					
	Piña					
Otro cultivo anual						
SUPERFICIE DE AGUA	Pasto					
	Río					
SUPERFICIE DE AGUA	Lago y embalse	Lago Embalse				
	ÁREA CULTURAL	Área poblada	Urbana Rural			
Infraestructura						
Explotación minera						
Estanque para acuicultura						
Salinera						
Otra área cultural						