

# MEMORIA DE CÁLCULO Y PRINCIPALES RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL DE COSTA RICA

## Primera Aproximación en Base a Resultados de las Fases I y II del INF de Costa Rica



Componente 3  
Monitoreo Forestal  
País: Costa Rica



### REPORTE PRELIMINAR

Para Análisis de SINAC

Preparado por Sud-Austral Consulting SpA en el marco del Componente de Monitoreo Forestal del Programa REDD-CCAD-GIZ

María Isabel Chavarría  
Mauricio Castillo  
SINAC – Costa Rica  
Patricio Emanuelli A.  
Fabián Milla A.  
Efraín Duarte  
Sud-Austral Consulting  
Abner Jiménez G.  
Responsable Componente  
Monitoreo Programa REDD-  
CCAD-GIZ

San José, Costa Rica



INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN  
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional  
REDD/CCAD-GIZ



Este trabajo ha sido realizado en el marco del Componente de Monitoreo Forestal del Programa REDD-CCAD-GIZ

## Contenido

I. ANTECEDENTES GENERALES.....	3
II. TAMAÑO DE LA MUESTRA Y ASIGNACIÓN DE UNIDADES MUESTRALES EN LA FASE I.....	9
III. PROCESAMIENTO DE LOS ANTECEDENTES ASOCIADOS A CADA COMPONENTE DE CARBONO .....	11
3.1 Componente arbóreo $DAP \geq 10$ cm Unidad Muestral Primaria (UMP) .....	11
3.2 Componente arbóreo $DAP \geq 2$ cm y $< 10$ cm Unidad Muestral Secundaria (UMS) .....	13
3.3 Componente arbóreo $DAP < 2$ cm (regeneración) y $HT \geq 1,5$ m (árboles/ arbustos/palmas/helechos arborescentes) Unidad Muestral Terciaria (UMT) .....	15
3.4 Componente herbáceo, Unidad Muestral Cuaternaria (UMC).....	15
3.5 Componente hojarasca, Unidad Muestral Hojarasca (UMH) (de quinto nivel).....	15
3.6 Componente maderas muertas, Unidad Muestral Maderas Muertas (UMMm) .....	16
3.7 Componente suelo, Unidad Muestral Suelo (UMSuelo).....	18
IV. TAMAÑO DE LA MUESTRA Y ASIGNACIÓN DE UNIDADES MUESTRALES EN LA FASE II .....	19
V. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL INF-CR.....	21
VI. PRINCIPALES RESULTADOS DEL INF-CR.....	32
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## I. ANTECEDENTES GENERALES

Como parte del apoyo del Programa REDD-CCAD-GIZ a Costa Rica, se encuentra el desarrollo del Inventario Nacional Forestal de Costa Rica (INF-CR) con el cual se busca cuantificar y caracterizar las existencias de los recursos forestales en el país, y que a su vez establecer la línea base para la implementación del Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) en el marco de la Estrategia REDD+ Nacional. Se espera que la información generada por el INF-CR, esté a disposición de las instituciones y personal encargado de la toma de decisiones, y sirva de base para la buena gestión de los recursos forestales del país y generación de políticas de conservación, manejo y gestión de los recursos naturales.

El INF-CR tiene como objetivo “determinar las existencias, características y el estado de los recursos forestales del país como base para orientar el ordenamiento de las tierras forestales en la toma de decisiones para su manejo y administración”.

Sus objetivos específicos son:

1. Determinar el área de cobertura forestal del país por tipos de bosque.
2. Determinar las existencias y el estado productivo por tipos de bosque (dendrometría, especies, abundancia, biomasa y las existencias de carbono relacionadas).
3. Servir de base para la determinación de tasas de recuperación, deforestación y degradación de los bosques.
4. Generar información para el sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para la Estrategia Nacional REDD - Costa Rica.
5. Generar información para orientar el ordenamiento de tierras forestales y atender los compromisos del país en el ámbito nacional e internacional.

El INF-CR cuenta con un Comité Director, compuesto por funcionarios de FONAFIFO y SINAC cuya función es orientar las actividades para que se cumpla con los objetivos establecidos para el INF-CR y los mecanismos acordados de MRV de REDD.

En el contexto del INF-CR y del Monitoreo, Reporte y Verificación de REDD se adoptó la definición de bosque reportada por Costa Rica para los proyectos MDL: “Bosque es una área de tierra con un tamaño mínimo de 1,0 hectárea con una cobertura de dosel (o el equivalente en densidad) de más de 30%, con árboles con un potencial para alcanzar una altura mínima de 5 metros a su madurez in situ. Un bosque puede consistir de formaciones cerradas donde los árboles de varios estratos y sotobosque cubren una alta proporción del terreno, o de bosque abierto. Rodales naturales jóvenes, y todas las plantaciones que no hayan alcanzado todavía una cobertura de dosel del 30%, o una altura de 5 metros son considerados bosques”. La definición adoptada para el IFN y MRV de REDD es compatible con la definición legal de bosque y ecosistema boscoso adoptada por Costa Rica en la Ley Forestal No. 7575 del 13 de Marzo de 1996 (Art 3, Alcance: 21, N° Gaceta

7216/04/1996): “Bosque: Ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70%) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de quince o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho (DAP)”.

Las clases de uso-cobertura, o tipos de bosque, utilizados en el INF fueron definidas en base al mapa forestal de Costa Rica, el cual se desarrolló paralelamente al inventario utilizando imágenes RapidEye con una resolución de 5 metros (figura 1).

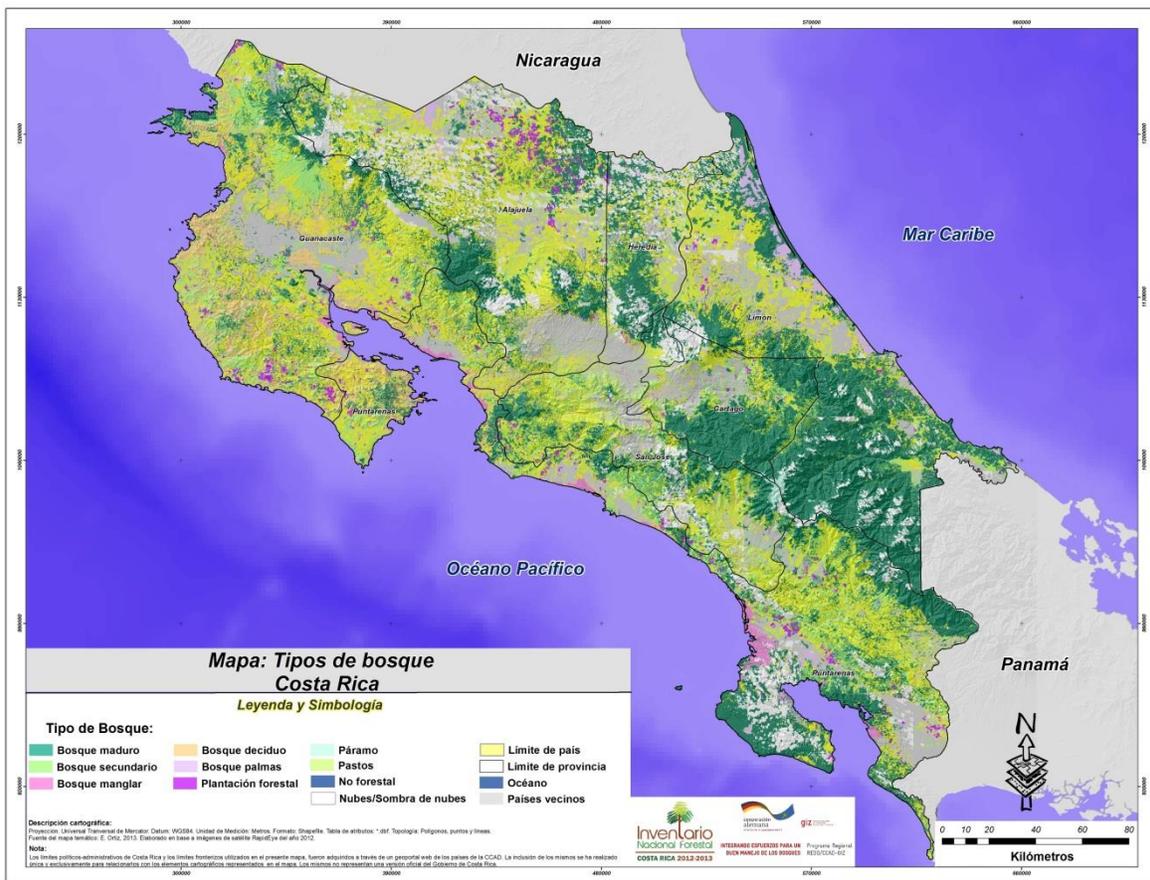


Figura 1. Mapa forestal de Costa Rica

Se definieron 5 uso-coberturas como la población objetivo a ser muestreada, correspondiendo cada tipo de bosque a un estrato para efectos de la planificación del INF (figura 2).

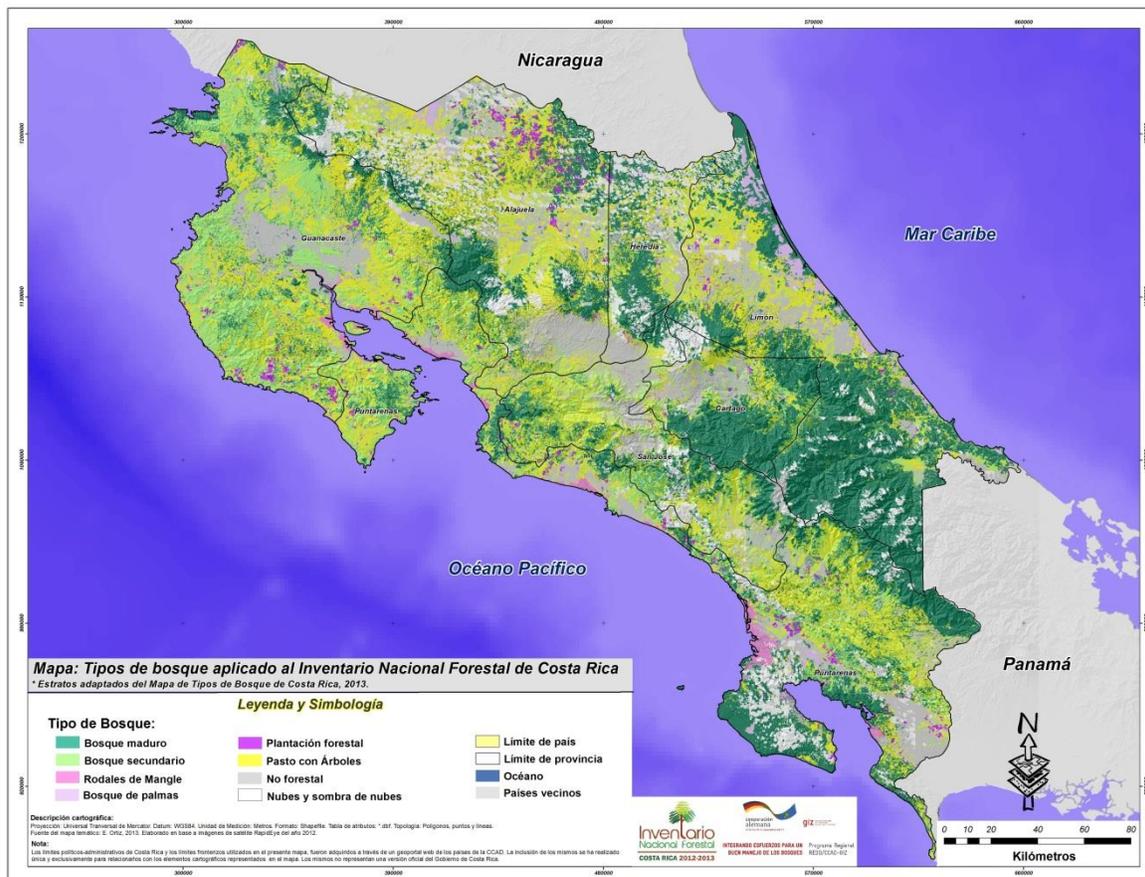


Figura 2. Mapa de tipos de bosque para el INF-CR

Los tipos de bosques de mayor participación en cuanto a la superficie de bosques de Costa Rica son el Bosque maduro y el Bosque secundario, que en conjunto representan el 73,03 % de la superficie boscosa del país; la tercera superficie en importancia corresponde al uso Pasto con árboles, con un 22,76% de participación. Los usos Bosque de palmas, Rodales de mangle y Plantaciones forestales representan en conjunto sólo el 4,21% de la superficie de interés (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Superficie y participación de los tipos de bosque en Costa Rica

<b>USO DEL SUELO (tipos de bosques)</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Participación (%)</b>
Bosque Maduro	12.725,81	1.272.581,00	40,59
Bosque Secundario	10.172,97	1.017.297,00	32,45
Rodales de Mangle	340,70	34.070,00	1,09
Bosque de Palmas	388,68	38.868,00	1,24
Pasto con Árboles	7.135,48	713.548,00	22,76
Plantaciones Forestales	590,22	59.022,00	1,88
<b>TOTAL</b>	<b>31.353,86</b>	<b>3.135.386,00</b>	<b>100,00</b>

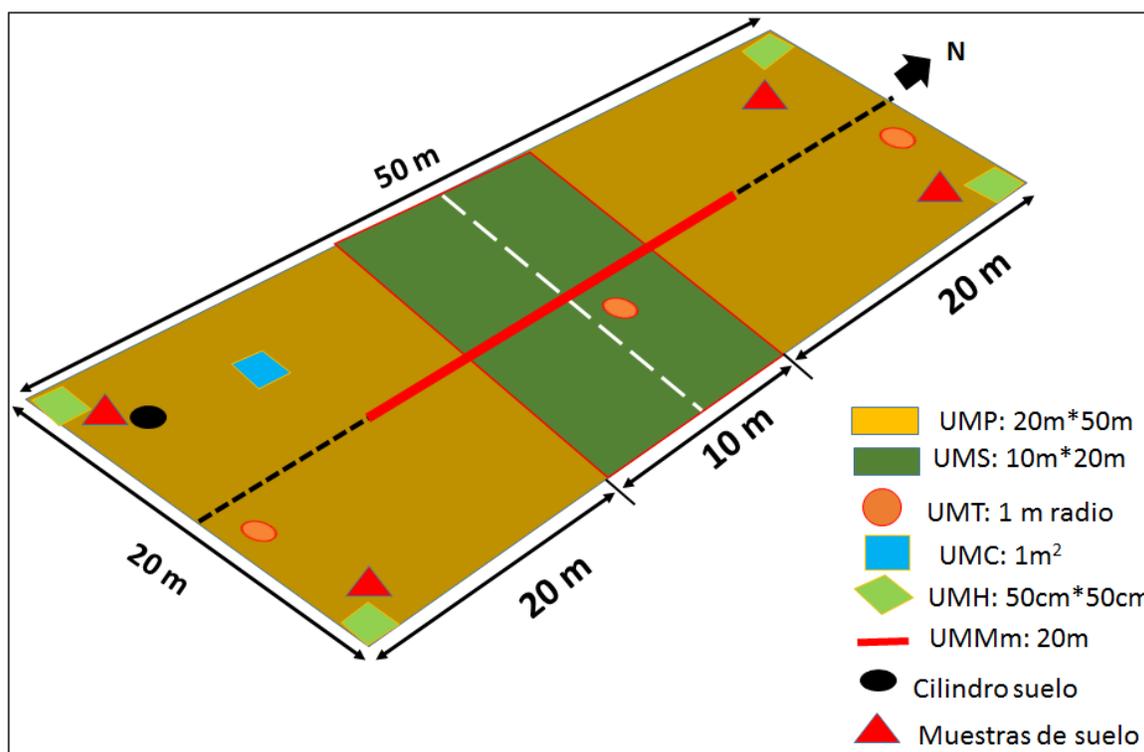
La definición técnica y legal de cada uno de estos tipos de bosque (estratos) es reportada por SINAC – Programa REDD-CCAD-GIZ (2014).

Definidos los tipos de bosque se aplica un muestreo sistemático en cada estrato, con una intensidad de muestreo variable que puede ser determinado ya sea a través de un premuestreo en cada área de interés o simplemente utilizando antecedentes bibliográficos u opinión de expertos en relación a la variabilidad existente en dichas áreas. Así entonces, el método utilizado para obtener la muestra en el INF-CR corresponde a un muestreo sistemático estratificado, en el que las parcelas se distribuyen de forma equidistantes dentro de cada estrato.

El tipo de unidad muestral a utilizar corresponde un sistema de parcelas de dimensiones variables (figura 3) según sea el componente a mensurar (Sánchez-Monge 2012, SINAC-FONAFIFO 2011). En este sentido se tiene 7 evaluaciones distintas desarrolladas en unidades muestrales anidadas:

- Unidad de muestreo primaria (20\*50 m; 1.000 m<sup>2</sup>) (UMP): para evaluar el componente arbóreo considerando los individuos cuyo DAP sea igual o mayor a 10 cm.
- Unidad de muestreo secundaria (10 m\*20 m; 200 m<sup>2</sup>) (UMS): en la cual se identifica y mide los individuos arbóreos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 2 y 10 cm.
- Unidad de muestreo terciaria (UMT) (1 m de radio; 3,1416 m<sup>2</sup>): para identificar y medir la altura total de árboles, arbustos, palmas y helechos arborescentes con una altura superior inferior o igual a 1,5 m y un DAP menor a 2 cm; esto corresponde a la regeneración existente en el bosque.

- Unidad cuaternaria (1\*1 m; 1 m<sup>2</sup>) (UMC): en la cual se registra abundancia y altura total de especies herbáceas.
- Unidad de muestreo de quinto nivel (0,5\*0,5 m; 0,25 m<sup>2</sup>)(UMH): para registrar la profundidad y peso de la hojarasca.
- Unidad de muestreo de madera muerta caída (20 m de longitud) UMMm): el diámetro de la madera muerta caída se mide en un transecto longitudinal de 20 m.
- Muestra de suelo: se extrae una muestra de suelo de los primeros 30 cm utilizando el método del cilindro.



**Figura 3.** Diseño de parcela de área variable.

Según lo establecido en el Manual de Campo del INF-CR (SINAC – Programa REDD-CCAD-GIZ, 2014), y en base a criterios técnicos definidos por los profesionales forestales de Costa Rica a cargo de la planificación del INF-CR, las parcelas secundarias, terciarias, cuaternarias, madera muerta caída y hojarasca se establecen en los estratos de bosque (maduro, secundario) y en el bosque de palma y rodal de mangle cuando las condiciones del sitio lo permitan, sin embargo, para los estratos de pasto con árboles y plantaciones forestales solo se establece la UMP.

Para hacer más eficiente el levantamiento de campo, particularmente en lo relativo a aspectos logísticos y tiempos de desplazamiento, se dividió al país en cinco regiones operativas (figura 4): Pacífico Norte y Valle Central (PNVC), Pacífico Central y Pacífico Sur (PCPS), Zona Norte y

Caribe Norte (ZNCN), Caribe Central y Caribe Sur (CCCS) y sitios de Difícil Acceso (cordillera de Talamanca; ZDA).



**Figura 4.** Regiones operativas del Inventario Nacional Forestal de Costa Rica.

Además, la estrategia de desarrollo del INF de Costa Rica implicó la ejecución del inventario en etapas. La primera, denominada Fase I, tuvo por objetivo refinar los datos estadísticos disponibles para el cálculo del tamaño de muestra, evaluar la logística y acceso, los arreglos institucionales y el tiempo requerido para el establecimiento de las parcelas. En la segunda etapa (Fase II) se utilizaron los datos colectados en la fase I para recalcular el tamaño de muestra y completar el número de parcelas requeridas para lograr un error de muestreo preestablecido (fijado inicialmente en un 15% para cada estrato), en la variable de principal interés para el inventario, con un nivel de confianza de 95%. En forma optativa se plantea el desarrollo de una tercera etapa (Fase III) cuyo objetivo sería el evaluar aquellas parcelas que por razones de accesibilidad, seguridad o condiciones meteorológicas no se pudieran medir durante las fases I y II.

## II. TAMAÑO DE LA MUESTRA Y ASIGNACIÓN DE UNIDADES MUESTRALES EN LA FASE I

En la planificación de la Fase I del INF-CR se utilizó información de unidades muestrales ya establecidas con anterioridad en el territorio nacional de Costa Rica. Esto implicó recabar y analizar información de las siguientes fuentes:

1. Parcelas compiladas por Ulate (2011) como parte de su tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal en la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). La tesis se titula “Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según Zona de Vida y tipo de bosque para Costa Rica”. La autora reunió datos de parcelas publicados por 41 fuentes entre 1970 y 2010. Los autores con mayor número de parcelas fueron: Holdridge (1970) (22), Imbach et al. (2005) (17), Kappelle (2001) (11), Rodríguez (2001) (10), Quirós (2002) (8), Zamora (2010) (8) y Barrantes y Muñoz (1995) (7). De los 951 registros compilados por Ulate (2011) se seleccionaron 666 con datos de área basal y un diámetro mínimo de medición de 5 o 10 cm.
2. Parcelas permanentes facilitadas por la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), de la Universidad Nacional e Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta información corresponde a datos de 31 sitios con parcelas permanentes ubicadas en el Caribe Norte; cada sitio puede tener entre 1 y 12 parcelas y cada parcela contar entre 1 y 9 mediciones realizadas entre 1995 y 2012.
3. La Universidad Nacional (UNA) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) facilitaron datos de 44 parcelas permanentes establecidas en bosque maduro del P. N. Guanacaste, sur y este de la cordillera de Tilarán, El Rodeo, La Cangreja, Fincas Bella Vista y La Catalina (piedemonte noreste de la C. V. Central), Finca Municipal de Guácimo, Finca Agropecuaria López (tierras bajas del Caribe Central), Osa, Mogos (Filas Esquinas y Aguacate).
4. Parcelas del inventario forestal piloto (IFP) realizado en el marco de la evaluación de recursos forestales de FAO (FRA, por sus siglas en inglés) (Kleinn et al., 2001). Este inventario se llevó a cabo bajo una Carta de Acuerdo entre FAO y CATIE y con la participación de SINAC como autoridad nacional responsable por la gestión de los bosques en Costa Rica. Esta información corresponde a 39 conglomerados establecidos en el campo que aportaron información relativa a los estratos Pasto con árboles, Bosque de mangle y Plantación forestal:
  - se seleccionaron 24 conglomerados que contenían pasto natural, pasto-leñosas o potreros y para los propósitos del INF-CR se reclasificaron como pasto con árboles.
  - el conglomerado 17 del IFP fue establecido en el manglar de Térrraba-Sierpe, Osa y el 69 en la desembocadura del río Bongo, Península de Nicoya aportando ambos entonces información relativa a Bosque de mangle.
  - como parte de la campaña de campo del IFP se estableció el conglomerado 162 en una plantación de teca y el 223 a una plantación de gmelina.

Sobre la base de esta información se determinó el tamaño de la muestra para cada estrato. Inicialmente la propuesta fue trabajar con la variable área basal, ya que esta variable integra tanto el tamaño de los árboles como su frecuencia en la parcela, está estrechamente relacionada con el volumen y la biomasa, y no incluye errores atribuibles a otras fuentes ajenas a las mediciones de campo como es el caso del volumen o la biomasa (Chave *et al.*, 2004; Ketterings *et al.*, 2001). El error máximo admisible fue fijado en 15%, llegándose a establecer que el total de unidades muestrales a asignar correspondía a 526 UMP.

Realizando análisis complementarios que consideraron estimaciones para variables adicionales al área basal (Número de Árboles (arb/ha), Volumen (m<sup>3</sup>/ha) y Stock de CO<sub>2</sub> (ton/ha)), además de analizar distintos niveles de error para cada estrato, se logra establecer que operacionalmente es posible distribuir en total 235 UMP para el desarrollo de la Fase I.

Finalmente, en la ejecución de la Fase I se evaluaron en forma efectiva un total de 108 unidades de 1.000 m<sup>2</sup>, pero cabe señalar que la parcela 18780, de la Región Operacional CCCS, correspondía a un uso del suelo de sistema agroforestal (café con sombra) por lo que no fue considerada para efectos del procesamiento de la información. Las 107 parcelas en análisis quedaron distribuidas para cada uno de los estratos según se ilustra en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Unidades muestrales planificadas y ejecutadas en la Fase I del INF-CR

ESTRATO	Fase I	
	Planificadas	Medidas
Bosque Maduro	28	22
Bosque Secundario	46	32
Rodales de Mangle	4	4
Bosque de Palmas	7	5
Pasto con Árboles	141	38
Plantaciones Forestales	9	6
<b>TOTAL</b>	<b>235</b>	<b>107</b>

### III. PROCESAMIENTO DE LOS ANTECEDENTES ASOCIADOS A CADA COMPONENTE DE CARBONO

En el desarrollo del INF-CR para obtener la información de terreno se utilizó un sistema de dimensiones de parcelas variables dependiendo de las características arbóreas o vegetales específicas a medir. La división de las estructuras vegetacionales se relacionan principalmente con tamaños (alturas y diámetros) y comprenden siete categorías:

- a) Especies arbóreas con  $DAP \geq 10$  cm.
- b) Especies arbóreas con  $DAP \geq 2$  cm y  $< 10$  cm.
- c) Regeneración de especies (árboles, arbustos, palmas y helechos arborescentes) con una altura  $\geq 1,5$  m y  $DAP \leq 2$  cm.
- d) Especies herbáceas.
- e) Profundidad y peso de la hojarasca en el piso forestal.
- f) Maderas muertas en el piso forestal.
- g) Carbono orgánico en el suelo

A continuación se detalla el esquema de procesamiento y cálculo para cada una de estas categorías.

#### 3.1 Componente arbóreo $DAP \geq 10$ cm Unidad Muestral Primaria (UMP)

- Tamaño: la parcela de la UMP es de  $1.000 \text{ m}^2$  (20m de ancho x 50m de largo), con un factor de expansión a la hectárea de 10.
- Mediciones: se mide el DAP (diámetro a la altura del pecho) a todos los árboles dentro de la parcela y una muestra de la HT (altura total) a 5 árboles en función de estrato social, el resto de las HT se estiman visualmente utilizando intervalos de 5 metros de largo.
- Ajuste alturas (HT): en algunas parcelas no se realizó o no incluyó la estimación visual de las HT no medidas, por lo que para obtenerlas se realizó el ajuste de una función de altura en base a los estratos o usos de la tierra:

$$\text{Ln}(\text{HT}) = a + b * \text{Ln}(\text{DAP})$$

- Cálculo de volumen: el volumen de los árboles (en  $\text{m}^3$ ) fue calculado con el área basal (AB ( $\text{m}^2$ )), la altura total (HT (m)) y un factor de forma promedio de 0,5 conformando la siguiente fórmula:

$$V = AB * HT * 0,5$$

- Cálculo de biomasa: la biomasa aérea (sobre el suelo) seca en Kg de los árboles es calculada utilizando la función alométrica de biomasa generada por Chave *et al.* (2005) para un rango de DAP de 5 cm a 106 cm y que agrega las variables gravedad específica (GE (cm/g)) y la altura total (HT (m)):

$$B = \text{EXP}(-2,977 + \text{Ln}(\text{GE} * \text{DAP}^2 * \text{HT}))$$

La gravedad específica (GE) fue obtenida de la literatura cuya fuente principal es Chave *et al.* (2006). Se busca en primer lugar el valor de la especie específica (género/especie), de no encontrarse, se asciende a valores de género y finalmente a valores de familia si no se encuentran los anteriores. Para aquellas especies desconocidas o no encontradas en ninguno de los niveles de búsqueda se utilizó el valor de densidad o gravedad promedio de la especies encontradas (totales).

Específicamente para plantaciones de *Tectona grandis* se cuenta con una función desarrollada para Costa Rica por Pérez y Kanninen (2003):

$$B = 10^{(-0,815 + (2,382 * \text{LOG}_{10}(\text{DAP}))}$$

- Cálculo de Carbono Aéreo: el carbono aéreo ( $C_A$ ) en toneladas es calculado usando la fracción de Carbono (FC) obtenido de la literatura para especies o bosques tropicales. Contenido de carbono en la biomasa estimada (ton/ha) en un 50%, según IPCC (1997).

$$C_A = B * 0,5$$

- Cálculo de Carbono total: para llegar al carbono total del componente arbóreo es necesario incorporar en la estimación el contenido de carbono de las raíces de los árboles. La fracción de carbono contenida en la raíz cambia según la especie, por lo que se utilizaron distintos factores según el tipo de bosque que se tratara y estos se obtuvieron de una revisión bibliográfica. Para el caso de Rodales de mangle el factor usado fue 0,39 (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012); para Plantaciones forestales se usó 0,30 (Fonseca *et al.*, 2008); para Bosque secundario 0,25 (Fonseca *et al.*, 2009) en tanto que para Bosque maduro, Bosque de palmas y Pasto con árboles se usó el valor por defecto de 0,27 (IPCC, 1997).

- Cálculo de dióxido de carbono: el CO<sub>2</sub> fijado en toneladas es calculado usando el carbono en la biomasa (ton/ha) por una constante (44/12), obtenido también de la literatura.

$$\text{CO}_2 \text{ fijado} = C * (44/12)$$

- Clases de diámetro: El DAP se agrupó en clases de diámetro par de dos en dos centímetros (10...12...14...n).

### 3.2 Componente arbóreo DAP ≥ 2 cm y < 10 cm Unidad Muestral Secundaria (UMS)

- Tamaño: la parcela de la UMS es de 200 m<sup>2</sup> (10m de ancho x 20m de largo), con un factor de expansión a la hectárea de 50.
- Mediciones: se mide el DAP (diámetro a la altura del pecho) a todos los árboles dentro de la parcela y una muestra de la HT (altura total) a 5 árboles en función de estrato social, el resto de las HT se estiman visualmente utilizando intervalos de 1 metro de largo.
- Ajuste alturas (HT): en algunas parcelas no se realizó o no incluyó la estimación visual de las HT no medidas, por lo que para obtenerlas se realizó el ajuste de una función de altura en base a los estratos o usos de la tierra:

$$\text{Ln}(\text{HT}) = a + b * \text{Ln}(\text{DAP})$$

- Cálculo de volumen: el volumen en m<sup>3</sup> de los árboles fue calculado con el área basal (AB (m<sup>2</sup>)), la altura total (HT (m)) y un factor de forma promedio de 0,5 conformando la siguiente fórmula:

$$V = AB * HT * 0,5$$

- Cálculo de biomasa: la biomasa aérea (sobre el suelo) seca en Kg de los árboles es calculada utilizando la función alométrica de biomasa generada por Chave *et al.* (2005) para un rango de DAP de 5 cm a 106 cm y que agrega las variables gravedad específica (GE (cm/gr)) y la altura total (HT (m)) y otra función generada por Fonseca *et al.* (2009) para un rango de DAP de 2,5 cm a 30 cm y utilizando en este caso para los DAP < 5 cm:

$$B = \text{EXP}(-2,977 + \text{Ln}(\text{GE} * \text{DAP}^2 * \text{HT}))$$

Específicamente para plantaciones de *Tectona grandis* se cuenta con una función desarrollada para Costa Rica por Pérez y Kanninen (2003):

$$B = 10^{(-0,815 + (2,382 * \text{LOG}_{10}(\text{DAP}))}$$

La gravedad específica (GE) fue obtenida de la literatura cuya fuente principal es Chave *et al.* (2006). Se busca en primer lugar el valor de la especie específica (genero/especie), de no encontrarse, se asciende a valores de género y finalmente a valores de familia si no se encuentran las anteriores. Para aquellas especies desconocidas o no encontradas en ninguno de los niveles de búsqueda se utilizó el valor de densidad o gravedad promedio de la especies encontradas (totales).

- Cálculo de Carbono aéreo: el carbono aéreo ( $C_A$ ) en toneladas es calculado usando la fracción de Carbono (FC) obtenido de la literatura para especies o bosques tropicales. Contenido de carbono en la biomasa estimada (ton/ha) en un 50%, según IPCC (1997).

$$C_A = B * 0.5$$

- Cálculo de Carbono total: para llegar al carbono total del componente arbóreo se siguió el mismo procedimiento indicado para la UMP.
- Cálculo de dióxido de carbono: el  $\text{CO}_2$  fijado en toneladas es calculado usando el carbono en la biomasa (ton/ha) por una constante (44/12), obtenido también de la literatura.

$$\text{CO}_2 \text{ fijado} = C * (44/12)$$

- Clases de diámetro: El DAP se agrupó en clases de diámetro par de dos en dos centímetros (10...12...14...n).

### 3.3 Componente arbóreo DAP < 2 cm (regeneración) y HT ≥ 1,5 m (árboles/ arbustos/palmas/helechos arborescentes) Unidad Muestral Terciaria (UMT)

- Tamaño: la UMT consta de tres subparcelas circulares de 3,1416 m<sup>2</sup>, con un factor de expansión a la hectárea de 3.183.
- Mediciones: se midió a todas las especies dentro de la parcela la HT (altura total) y no se realizó mediciones de DAP.
- Clases de altura: Las alturas (HT) se agruparon en clases con intervalos de 0,2 metros (1,4...1,6...1,8...n).

### 3.4 Componente herbáceo, Unidad Muestral Cuaternaria (UMC)

- Tamaño: la UMC consta de una parcela de 1 m<sup>2</sup> (1m x 1m) con un factor de expansión a la hectárea de 10.000.
- Mediciones: se midió a todas las especies dentro de la parcela la HT (altura total) y no se realizó mediciones de DAP.
- Clases de altura: Las alturas (HT) se agruparon en clases con intervalos de 0,2 metros (0,02...0,22...0,42...n).

### 3.5 Componente hojarasca, Unidad Muestral Hojarasca (UMH) (de quinto nivel)

- Tamaño: la UMH consta de cuatro parcelas de 0,25 m<sup>2</sup> (50cm x 50cm) con un factor de expansión a la hectárea de 40.000.
- Mediciones: se midió la profundidad de la hojarasca y el peso de ella en gr. En cada submuestra se pesará la hojarasca (gr.).
- Se toma una muestra compuesta de hojarasca en una bolsa de 15x25 cm que es enviada al laboratorio.
- Cálculo de biomasa: La biomasa (B) en toneladas por hectárea se realiza utilizando los resultados de laboratorio, peso fresco (PF) y peso seco (PS) en gramos, obteniendo en primer lugar el porcentaje de peso seco (%PS). Luego multiplicando el %PS por el peso verde (PV) en gramos obtenido del inventario al momento de realizar la parcela.

$$\%PS = PS / PF$$

- Cálculo de Carbono: el carbono (C) en toneladas por hectárea es calculado usando la fracción de Carbono (FC<sub>(lab)</sub>) calculada en laboratorio en base a muestras enviadas. Multiplicada por la biomasa (B) calculada anteriormente (ton/ha).

$$C = B * FC_{(lab)}$$

- Cálculo de dióxido de carbono: el CO<sub>2</sub> fijado en toneladas por hectárea es calculado usando el carbono en la biomasa (ton/ha) por una constante (44/12), obtenido también de la literatura.

$$CO_2 \text{ fijado} = C * (44/12)$$

### 3.6 Componente maderas muertas, Unidad Muestral Maderas Muertas (UMMm)

- Tamaño: la UMMm consta de un transecto de 20 m.
- Mediciones: se midió el diámetro de maderas muertas cilíndricas o semicilíndricas (troncos y ramas con un diámetro mínimo de 10 cm y una longitud mínima de 1,5 m) que interceptaban la línea, para trozos de maderas bifurcados o que se cruzaban con el trayecto varias veces, el diámetro se registró en cada intersección. Además se clasificó el estado de descomposición de la madera como sólido, intermedio y podrido (Teissier du Cros y López, 2009; IPCC, 2003; Marshall *et al.*, 2000; Kaiser, 1983; van Wagner 1968, 1982a, 1982b; Warren y Olsen, 1964; Woodall *et al.*, 2004; Woodall y Williams, 2005; Woodall *et al.*, 2009).
- Cálculo volumen maderas muertas caídas: El volumen (**V**) en metros cúbicos por hectárea es calculado en base al diámetro (**d**) en centímetros de la troza, la longitud del trayecto (**L**) en metros y el valor de la constante  $\Pi$  (3,1416).

$$V_i = \frac{\Pi^2}{8 \times L} \sum_{j=1}^m d_j^2$$

Dónde:

V = volumen (m<sup>3</sup>/ha) de madera muerta caída.

d = diámetro (cm) de la troza perpendicular a su eje en el punto de intersección con el trayecto.

L = longitud de trayecto (m).

$\Pi$  : valor de la constante Pi (3,1416).

- Cálculo de biomasa: La biomasa (**B**) en toneladas por hectárea se realiza multiplicando el volumen por hectárea (**V**) obtenido con ecuación anterior por la gravedad específica (GEMm) en gramos por centímetro cúbico de las maderas muertas, a su vez calculada

ésta con la GEArb promedio de todas las especies de la parcela y en función del nivel de descomposición del material leñoso muerto en el suelo (sólidos, intermedios y podridos).

$$B = GEMm * V$$

La gravedad específica (GEMm en  $\text{gr/cm}^3$ ) se obtiene en base a fórmulas agrupadas según clases de descomposición. Los valores de densidad de las clases de descomposición son específicos de cada sitio, pero altamente relacionados con la densidad de la madera de los árboles vivos a nivel de parcela (Chao *et al.*, 2008). Así la densidad de maderas muertas caídas (GEMm) fue estimada como una función de la densidad o gravedad promedio de los árboles vivos de la parcela (GEArb), según las ecuaciones que se detallan a continuación.

⇒ *Maderas sólidas:*

$$GEMm = 1,17 (GEArb) - 0,21$$

⇒ *Maderas no sólidas e intermedias:*

$$GEMm = 1,17 (GEArb) - 0,31$$

⇒ *Maderas podridas, blandas o suaves,* se utiliza valor medio de la densidad por detritus de estudios publicados de bosques neotropicales húmedos de las tierras bajas, correspondiente a un valor fijo de:

$$0,29 \text{ gr/cm}^3$$

- Cálculo de Carbono: el carbono (C) en toneladas es calculado usando la fracción de Carbono (FC) obtenido de la literatura para especies o bosques tropicales. Contenido de carbono en la biomasa estimada ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) en un 50%, según IPCC (1996).

$$C = B * 0.5$$

- Cálculo de dióxido de carbono: el  $\text{CO}_2$  fijado en toneladas es calculado usando el carbono en la biomasa ( $\text{ton/ha}$ ) por una constante (44/12), obtenido también de la literatura.

$$\text{CO}_2 \text{ fijado} = C * (44/12)$$

### 3.7 Componente suelo, Unidad Muestral Suelo (UMSuelo)

Se recoge muestras compuestas de suelo para la determinación de porcentaje de carbono orgánico y densidad aparente. La muestra de suelo se extrae de los primeros 30 cm de suelo mineral de la esquina NE de la parcela primaria.

- Con información entregada por el laboratorio de porcentaje de carbono orgánico y de densidad aparente se calcula el carbono del suelo (ton/ha), multiplicando la densidad aparente en ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) por la profundidad (m) definida para la toma de la muestra por el porcentaje de carbono orgánico dividido por 100 y por 10.000.

$$C_{\text{suelo}} = 10.000 * D_a * P * (\% \text{CO}/100)$$

- Cálculo de dióxido de carbono: el  $\text{CO}_2$  fijado en toneladas es calculado usando el carbono del suelo (ton/ha) por una constante (44/12), obtenido también de la literatura.

$$\text{CO}_2 \text{ fijado} = C_{\text{suelo}} * (44/12)$$

## IV. TAMAÑO DE LA MUESTRA Y ASIGNACIÓN DE UNIDADES MUESTRALES EN LA FASE II

La información obtenida de la Fase I fue proporcionada por cada cuadrilla en un formulario Excel tipo que fue revisado por el Director del INF-CR, así como por personal del SINAC, previo a la entrega de la información para procesamiento por parte del Programa REDD-CCAD-GIZ. La tarea de análisis de la información correspondió a Sud Austral Consulting SpA, cuyo personal procedió nuevamente a contrastar la información de la planilla Excel respecto a los formularios originales de terreno que se adjuntaron debidamente escaneados. Sólo una vez clarificadas por la contraparte profesional de Costa Rica todas las posibles inconsistencias de información y dudas surgidas en esta revisión se procedió a generar una Base de Datos apropiada para hacer más eficiente el procesamiento de los antecedentes recabados.

Con la información obtenida en la Fase I se procedió a determinar el número de unidades muestrales que es necesario evaluar para cometer distintos niveles de error de muestreo. El cálculo se realizó para cada estrato en forma independiente, así como también se considera a todo el bosque de Costa Rica como una sola población (estrato TODOS), siguiendo la secuencia por cada componente de carbono indicada en el capítulo precedente.

Las variables consideradas en este cálculo fueron: número de árboles (arb/ha), área basal ( $m^2/ha$ ), volumen ( $m^3/ha$ ) y stock de  $CO_2$  (ton/ha). En términos generales, las variables analizadas que presentaron la mayor variabilidad (mayor número de unidades muestrales para un mismo nivel de error) son volumen y stock de  $CO_2$ . La excepción la constituyen los estratos Rodales de Mangle y Plantaciones Forestales en donde es el número de árboles resulta ser la expresión dasométrica de mayor variabilidad. Lo anterior tiene su explicación en dos elementos:

- La configuración heterogénea de cada estrato: las plantaciones pueden estar constituidas por bosques de distintas edades y con distintos esquemas de actuación silvícola, y a su vez los rodales de mangles pueden corresponder a bosques en distintos estados de desarrollo y/o con distinta composición.
- El bajo número de unidades muestrales utilizadas en las estimaciones.

Analizando los resultados del procesamiento de la Fase I, y conciliando los temas de baja intensidad de muestreo inicial para los estratos Rodales de Mangle y Bosques de Palmas e importancia relativa de los estratos Bosque Maduro y Bosque Secundario, además de la precisión final requerida del inventario y los tiempos (costos) que conllevan las mediciones, la propuesta de parcelas a evaluar en la Fase II implica:

- Adicionar 10 parcelas a las calculadas para el 15% de error de muestreo a los estratos Bosque Maduro y Bosque Secundario, con la intención de que el error final sea

efectivamente inferior al 15% en estos estratos que son los de mayor participación en superficie.

- Establecer el tamaño de la muestra de los estratos Rodales de Mangle y Bosques de Palmas considerando un error de muestreo del 30% (igual que el fijado para Pasto con Árboles). En estos estratos de la Fase I se tiene muy pocas parcelas, la información total una vez finalizada la Fase II permitiría realizar una mejor estimación de la variabilidad de estos bosques y, por ende, precisar de mejor manera el total de unidades muestrales requeridas para errores más bajos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la Fase II quedaría constituida completamente al medir en ella 173 unidades muestrales con lo que el Inventario Nacional Forestal de Costa Rica contaría hasta esa etapa de 280 parcelas. La distribución por cada uno de los estratos es la que se indica en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Tamaño de muestra estimado para la Fase II y total del INF-CR

ESTRATO	Error Muestreo Requerido (%)	Parcelas medidas en la FASE I	Parcelas a medir en la FASE II	Total parcelas propuestas para el IFN
Bosque Maduro (*)	15	22	38	60
Bosque secundario (*)	15	32	48	80
Rodales de Mangle	30	4	11	15
Bosque de Palmas	30	5	14	19
Pasto con Arboles	30	38	45	83
Plantaciones Forestales	15	6	17	23
<b>TOTAL</b>		<b>107</b>	<b>173</b>	<b>280</b>

(\*) Se agregan 10 parcelas adicionales respecto a las calculadas

## V. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL INF-CR

Desarrollada la Fase II se tiene que en esta etapa se materializaron 179 parcelas, superando en 6 UMP las planificadas. Esta diferencia se genera dado que para el estrato Bosque secundario se midieron 7 UMP más que lo estimado y en cambio para el estrato pasto con árboles se evaluó 1 UMP menos que lo planificado (cuadro 4).

**Cuadro 4.** Unidades muestrales planificadas y ejecutadas en la Fase II del INF-CR

ESTRATO	Fase II Planificadas	Fase II Medidas
Bosque Maduro (*)	38	38
Bosque secundario (*)	48	55
Rodales de Mangle	11	11
Bosque de Palmas	14	14
Pasto con Arboles	45	44
Plantaciones Forestales	17	17
<b>TOTAL</b>	<b>173</b>	<b>179</b>

Adicionalmente, debe mencionarse que fue necesario revisar los estratos o tipos de bosques de esta Fase II para homologarlos con los de la Fase I. Esto ya que en los registros de las parcelas de la Fase II aparecían listados algunos usos del suelo como: Bosque de Yolillo, Tacotal, Charral, Bosque ripario, Café arbolado, Bosque deciduo; los que no se correspondían a los estratos definidos para la Fase I. La homologación se realizó en función de la definición previa de los estratos del INF y los antecedentes reportados a nivel de especies y tamaños de los individuos revisados en los formularios con los datos de terreno.

Si bien la información obtenida de la Fase II fue proporcionada por cada cuadrilla en un formulario Excel tipo que fue revisado por el equipo técnico del INF-CR, al igual que en la Fase I el personal de Sud Austral Consulting SpA procedió nuevamente a contrastar la información de la planilla Excel respecto a los formularios originales de terreno, y sólo una vez clarificadas todas las posibles dudas se procedió a generar ingresar la información de la Fase II en la Base de Datos junto a la información de la Fase I.

Respecto a la metodología de cálculo de las variables dasométricas asociadas a cada parcela, esta fue la misma que la empleada en el procesamiento de los antecedentes de la Fase I y descrita en el capítulo 3 del presente documento.

En términos de algunas funciones de altura calculadas, estas corresponderían a las indicadas en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Ecuaciones de altura empleadas en el procesamiento del INF-CR

ESTRATO	FUNCION
Bosque Secundario	$Ht = EXP (0,636074555 + 0,582816836 * LN(DAP))$
Bosque Maduro	$Ht = EXP (0,5603881 + 0,62021264 * LN(DAP))$
Bosque de Palmas	$Ht = EXP (0,770591968 + 0,572780943 * LN(DAP))$

Una vez realizadas las estimaciones de CO<sub>2</sub>, por cada sumidero de carbono y para cada parcela, se realizó por estrato un análisis de diagrama de caja (Box-plot) con la finalidad de detectar posibles datos atípicos para la estimación de CO<sub>2</sub>. Este análisis se realizó en forma independiente para cada uno de los componentes de carbono analizados; esto es árboles con DAP mayor a 10 cm, árboles entre 2 y 10 cm de DAP; hojarasca, suelo y madera muerta caída. En total se determinó 63 datos atípicos, vale decir, parcelas en las que el CO<sub>2</sub> estimado (en alguno de los sumideros analizados) estaba por sobre el tercer cuartil más 1,5 veces el Rango Intercuartílico o por debajo del primer cuartil más 1,5 veces el Rango Intercuartílico (cuadro 6).

**Cuadro 6.** Datos atípicos en la estimación del CO<sub>2</sub> (ton/ha) de los cinco sumideros evaluados

ESTRATO	Parcela	CO2 árboles > 10 cm	CO2 árboles 2-10 cm	CO2 Hojarasca	CO2 Suelo	CO2 MM
Bosque Maduro	15	22	38			60
Bosque Maduro	15	32	48			80
Bosque Maduro	30	4	11			15
Bosque Maduro	30	5	14			19
Bosque Maduro	30	38	45			83
Bosque Maduro	2275	1.089,1				
Bosque Maduro	2294					322,2
Bosque Maduro	3161				775,4	
Bosque Maduro	3815				457,4	
Bosque Maduro	6630	1.088,2				
Bosque Maduro	6706		52,2			135,5
Bosque Maduro	7632	1.065,0				
Bosque Maduro	8358					130,7
Bosque Maduro	17869				803,9	235,6
Bosque Maduro	18948				1.133,4	
Bosque Secundario	19242				909,9	
Bosque Secundario	20045	1.101,6				96,9
Bosque Secundario	20128					120,0
Bosque Secundario	23922	1.367,7				
Bosque Secundario	15808				1.296,5	
Bosque Secundario	1829					56,6
Bosque Secundario	2181				746,1	
Bosque Secundario	2937					131,5
Bosque Secundario	4637	562,4			822,1	
Bosque Secundario	5717				783,1	
Bosque Secundario	9078			13,6		

Bosque Secundario	9534	757,5		770,0	
Bosque Secundario	10973	548,4			
Bosque Secundario	14696		20,0	745,8	39,5
Bosque Secundario	16786	613,7			
Bosque Secundario	17424		47,7		
Bosque Secundario	17852				30,9
Bosque Secundario	18064				76,4
Bosque Secundario	18154				47,6
Bosque Secundario	20149				29,5
Bosque Secundario	20401			775,2	
Bosque Secundario	20753		44,8		
Bosque Secundario	22488				74,9
Bosque Secundario	17149 - BS				46,2
Bosque Secundario	18506	-	1,6		
Bosque Secundario	3430	66,2	7,7		
Bosque Secundario	3530	14,3	4,5		
Bosque Secundario	5413	42,4	12,3		
Bosque Secundario	19048	35,9	-		
Bosque Secundario	6177	64,1	16,9		
Bosque Secundario	6253	63,1	20,8		
Pasto con Arboles	6891	45,9	16,5		
Pasto con Arboles	23743	37,4	7,0		
Pasto con Arboles	5692	62,2	28,8		
Pasto con Arboles	14947	10,4	4,3		
Pasto con Arboles	1736	21,1	5,9		
Pasto con Arboles	3113	191,2			
Pasto con Arboles	6110	130,3			
Pasto con Arboles	13870	170,5			

Pasto con Arboles	15514	161,4		
Pasto con Arboles	15803	297,1		
Pasto con Arboles	20599	190,5		
Pasto con Arboles	11229	164,6		
Pasto con Arboles	23910	136,7		
Pasto con Arboles	15717	118,4		
Pasto con Arboles	19505			194,3
Rodales Mangle	4070	-	4,7	
Rodales Mangle	17663	-	7,3	
Plantación Forestal	5503	-		
Plantación Forestal	5870	289,0		
Plantación Forestal	6704	-	3,5	
<b>TOTAL</b>		<b>107</b>	<b>173</b>	<b>280</b>

Dado que un valor atípico es un dato que es considerablemente diferente a los otros datos de la muestra su existencia alerta sobre las anomalías experimentales o errores en las mediciones tomadas. Si los valores atípicos del conjunto se ignoran, puede haber cambios importantes en las conclusiones obtenidas del estudio. Además, para lograr estimaciones robustas de estadísticos de posición se destaca la importancia de la mediana como estimador de parámetros de localización y en general de los cuartiles como estimadores de parámetros de dispersión (Carbonero *et al.*, 2005).

Para establecer si efectivamente los valores de estas 63 parcelas corresponden a datos atípicos, generados por inconsistencias o errores en los cálculos o el manejo de la información, se procedió a revisar cada una de ellas, tanto a nivel de los datos de terreno como de la secuencia de cálculo empleada.

Para el caso de stock CO<sub>2</sub> de árboles mayores a 10 cm de DAP se logró constatar que valores muy altos para esta variable se generaban porque en las parcelas bajo análisis existían árboles de gran tamaño (de más de 65 cm de DAP y hasta 130 cm en algún caso) así como en otros casos si bien los diámetros no eran tan altos sí existía un gran número de árboles; para valores demasiado bajos en el stock de CO<sub>2</sub> ocurría lo inverso tanto para los DAPs como para el número de árboles. La situación es similar para el caso del CO<sub>2</sub> de árboles entre 2 y 10 cm de DAP, así como para el CO<sub>2</sub> de la madera muerta caída.

En lo relativo a stock de CO<sub>2</sub> en la hojarasca, si bien se encuentran 2 valores que se podrían considerar como atípicos (13,6 y 20,0 ton/ha), la revisión de los antecedentes de terreno indican que efectivamente se encontraba una alta masa de hojarasca en las parcelas correspondientes ambas a bosque secundario.

Para el caso del stock de CO<sub>2</sub> contenido en el suelo, los altos valores resultantes en general son producto de un alto contenido de carbono orgánico o de una alta densidad aparente del suelo. Dado que ambas variables son obtenidas de los análisis de laboratorio, los cuales no pueden ser revisados, se recurre a literatura sobre el tema encontrándose que los valores altos para ambas variables se encuentran dentro del rango posible a nivel mundial por lo que se asume que no se trata de valores atípicos.

Finalmente, se realizó una depuración de la información eliminando aquellas parcelas que siendo datos atípicos además registran inconsistencias entre lo evaluado en terreno y lo que sería correcto según el estrato que se trate. El total de parcelas eliminadas y la justificación para la depuración se indica en el cuadro 7.

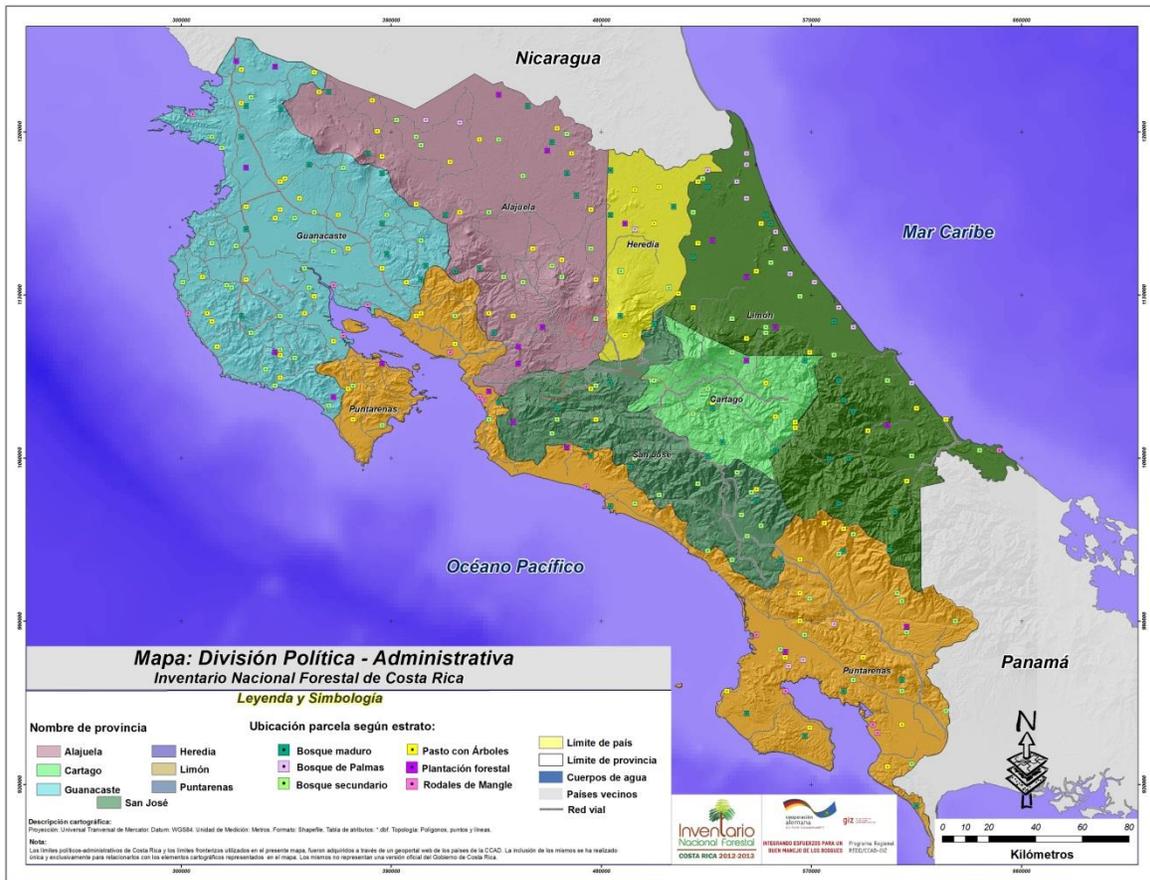
**Cuadro 7.** Resultado del proceso de depuración

<b>Estrato</b>	<b>Parcela</b>	<b>R. operativa</b>	<b>Justificación</b>
Bosque de palma	1111	ZNCN	Sin registro de árboles en la UMP y en la UMS, tampoco a nivel de regeneración y herbáceas; ningún dato respecto a los restantes componentes de carbono
Bosque secundario	18506	CCCS	UMP sin árboles y en UMS solo la especie de Páramo <i>Hypericum irazuense</i> que crece sobre la línea de las especies arbóreas y bajo la línea de nieve (3.000 msnm aprox.). Se deduce que la parcela no corresponde a Bosque secundario
Bosque secundario	1736	ZNCN	UMP con muy baja densidad (60 arb/ha). En observación de parcela se indica: Punto cayó en BS + PF de teca. Se corrió al BS más cercano. Este es un BS socolado que se va a cortar para sembrar arroz.
Pasto con árboles	15514	ZNCN	UMP presenta una densidad mayor a 200 arb/ha. Por las especies listadas en el formulario y los tamaños de estas se presume que se trataría de un bosque secundario. Ya que no es posible corroborarlo se opta por no considerarla en las estimaciones.
Pasto con árboles	20599	CCCS	UMP presenta una densidad mayor a 300 arb/ha. Se procede igual que en el caso anterior.
Plantación forestal	5503	PNVC	Sin individuos en la UMP. En observación de parcela se indica: La plantación original fue cosechada y el sitio vuelto a plantar con teca de un año. Por el tamaño de las plantas tampoco se logra inclusión de individuos en la UMS.

Depurada la información, la base de datos a ser analizada queda constituida por el total de parcelas por estrato indicadas en el cuadro 8, cuya distribución espacial se muestra en la figura 5.

**Cuadro 8.** Unidades muestrales totales del INF-CR

ESTRATO	Número de unidades muestrales		
	FASE I	FASE II	TOTAL
Bosque Maduro	22	38	60
Bosque Secundario	32	53	85
Rodales de Mangle	4	11	15
Bosque de Palmas	5	13	18
Pasto con Árboles	38	42	80
Plantaciones Forestales	6	16	22
<b>TOTAL</b>	<b>107</b>	<b>173</b>	<b>280</b>



**Figura 5.** Ubicación de las unidades muestrales del INF-CR

Sobre estos antecedentes, con una muestra total de 280 parcelas, se efectuó el proceso de estimación para las variables consideradas de interés según muestreo aleatorio simple para cada estrato. La inferencia se realiza para la media y la varianza de las medias, con lo cual es posible establecer el error de muestreo para cada variable y por cada tipo de bosque. Para consolidar las estimaciones se

procede al cálculo de la media y error de muestreo general empleando los estadísticos correspondientes al muestreo estratificado, en donde la ponderación de cada estrato se estima a partir de la participación en superficie pues se considera que en todos los casos la población es infinita.

En el caso particular de la estimación de CO<sub>2</sub> por componente, es importante recordar que se estableció en el manual del INF-CR que las parcelas secundarias, terciarias, cuaternarias, madera muerta caída y hojarasca se establecen en los estratos de bosque maduro y bosque secundario siempre; en el bosque de palma y rodal de mangle sólo cuando las condiciones del sitio lo permitan, y que para los estratos de pasto con árboles y plantaciones forestales solo se establece la UMP. Luego, existen estratos en los cuales no se registra información de los componentes hojarasca, suelo y madera muerta caída (ya sea de todos o al menos uno de ellos) y otros en que estos componentes son registrados sólo en algunas parcelas. Esta consideración se tuvo en cuenta al momento de realizar las estimaciones de la media y error de muestreo de estas variables, ya que se contabilizó sólo las parcelas en las cuales había información registrada que no necesariamente coincide con el tamaño de muestra para el estrato.

La misma situación anterior genera también dificultades metodológicas al momento de establecer el CO<sub>2</sub> total, que corresponde a la suma del CO<sub>2</sub> de cada sumidero considerado para el INF-CR. Dado que existen estratos en los cuales la información para algunos sumideros es parcial y otros en los que esta información simplemente no existe, si bien se puede calcular el CO<sub>2</sub> total mediante la suma de los componentes (con valor cero para algunos de ellos) el resultado sería inconsistente al momento de realizar comparaciones entre estratos o de inferir hacia el total de CO<sub>2</sub> de los bosques de Costa Rica.

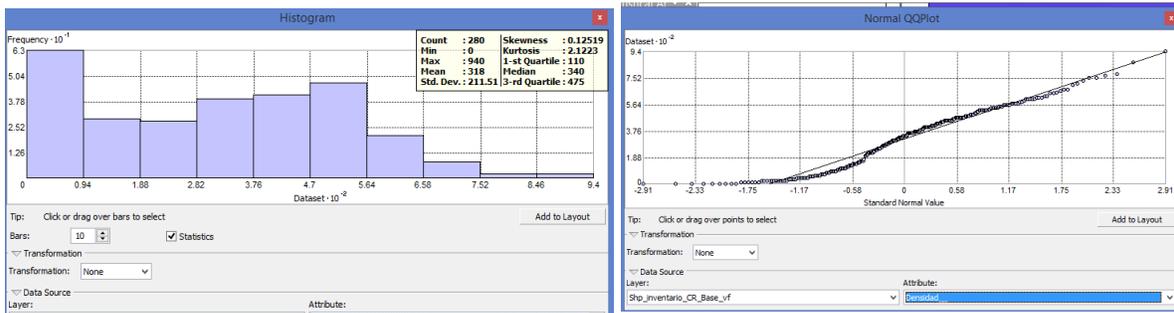
Para salvar esta situación, y únicamente para efectos de estimar el CO<sub>2</sub> total por tipo de bosque y a nivel de todo el país, se procedió a completar la información utilizando el promedio de los valores registrados por componente cuando existía alguna información de ellos para cada estrato.

De no existir datos registrados, entonces se usaron valores derivados de revisión bibliográfica. Este es el caso del tipo de bosque Rodales de mangle, en que para el componente hojarasca se empleó el valor de 0,97 ton/ha, para el componente suelo se usó el valor de 415,8 ton/ha y para el componente madera muerta caída el valor 10,73 ton/ha (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012). En el caso de Plantaciones forestales, para el componente hojarasca se empleó el valor de 7,47 ton/ha, para el componente suelo se usó el valor de 381,1 ton/ha y para el componente madera muerta caída el valor 5,68 ton/ha (Fonseca *et al.*, 2008).

Adicionalmente, para fines de conocer y representar gráficamente la distribución espacial de las variables dasométricas más relevantes y de los stocks de CO<sub>2</sub>, se generaron mapas temáticos mediante la aplicación de la geoestadística. El principal objetivo fue estimar valores a nivel nacional a través de interpolaciones utilizando los datos provenientes de las mediciones en terreno

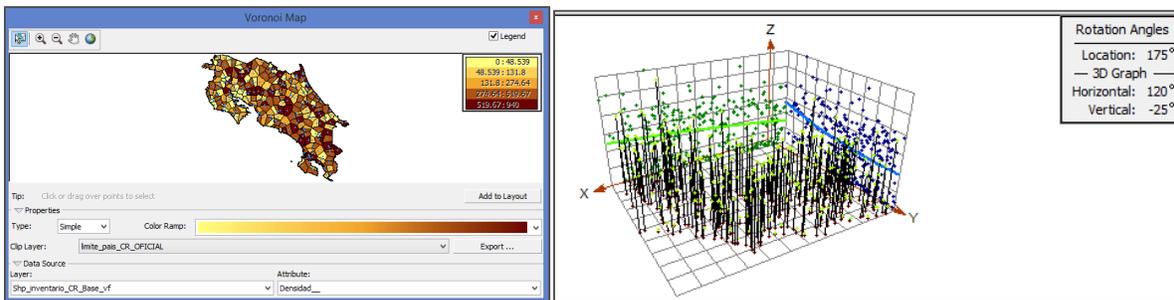
para las 280 parcelas distribuidas en los seis estratos de cobertura forestal a nivel nacional. Las variables utilizadas en la interpolación fueron: DAP, altura, área basal, densidad CO<sub>2</sub> en árboles, ramas, suelo, materia muerta caída y raíces. La metodología utilizada comprendió las siguientes etapas:

1. **Análisis exploratorio de los datos:** Con el objetivo de conocer la información disponible de las 280 parcelas y cada una de las variables medidas se realizó un análisis de estadística descriptiva buscando identificar si la distribución de los datos es normal mediante número de clases, rangos de distribución, moda, mediana, varianza, desviación estándar ilustrando cada uno de ellos mediante gráficos, mapas y vista en perspectiva entre otros.



**Figura 6.** Ejemplo de histograma y análisis de distribución normal para datos del INF-CR

2. **Análisis de correlación espacial:** con este análisis se busca identificar la dependencia espacial entre los datos. Se utilizó las funciones; semivariograma/covarianza de la superficie.



**Figura 7.** Correlación espacial para información del INF-CR

El cálculo del semivariograma es una de las herramientas geoestadísticas más importantes en la determinación de las características de variabilidad y correlación entre las variables que se desean interpolar, este análisis permite conocer cómo la variable cambia de una localización a otra. EL semivariograma fue calculado en diferentes direcciones (360°) permitiendo seleccionar un modelo esférico para modelar e interpolar los datos.

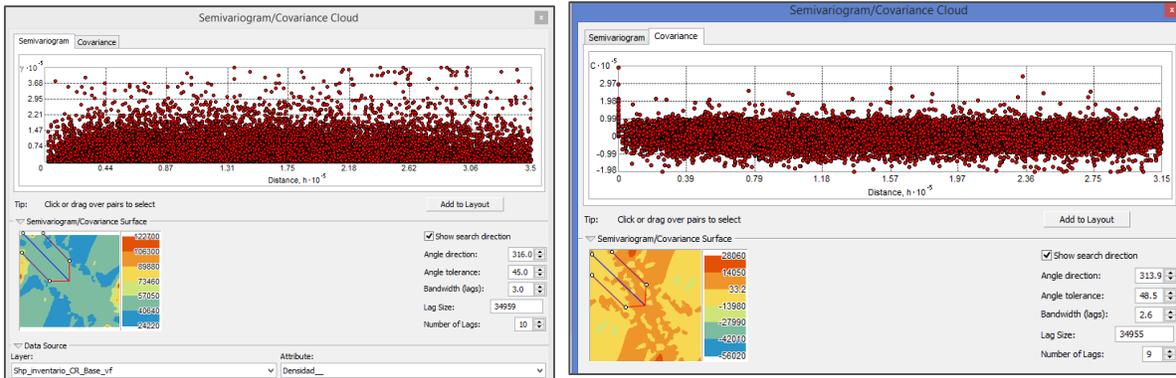
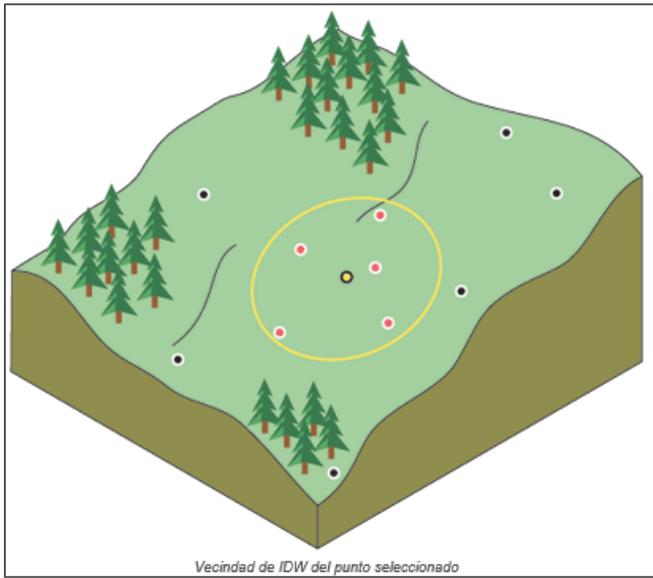


Figura 8. Ejemplo de aplicación del semivariograma/covarianza

3. **Aplicación de IDW, herramienta de interpolación utilizando a técnica de distancia inversa ponderada:** existen diferentes maneras de derivar una predicción para cada ubicación; cada método se denomina modelo. Con cada modelo, se realizan diferentes suposiciones acerca de los datos, y algunos modelos son más aplicables para determinados datos. La herramienta de interpolación, utilizada para generar las superficies predictoras utilizando como información base las 280 parcelas del INF-CR consistió en la aplicación del método denominado Inverse Distance Weighting (IDW) (peso ponderado por el inverso de la distancia), de la extensión Spatial Analyst de ArcGis Desktop ©ESRI.

La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación.

El método IDW presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde la ubicación del punto muestral en análisis.



**Figura 9.** Ilustración de la vecindad de un punto muestral

## VI. PRINCIPALES RESULTADOS DEL INF-CR

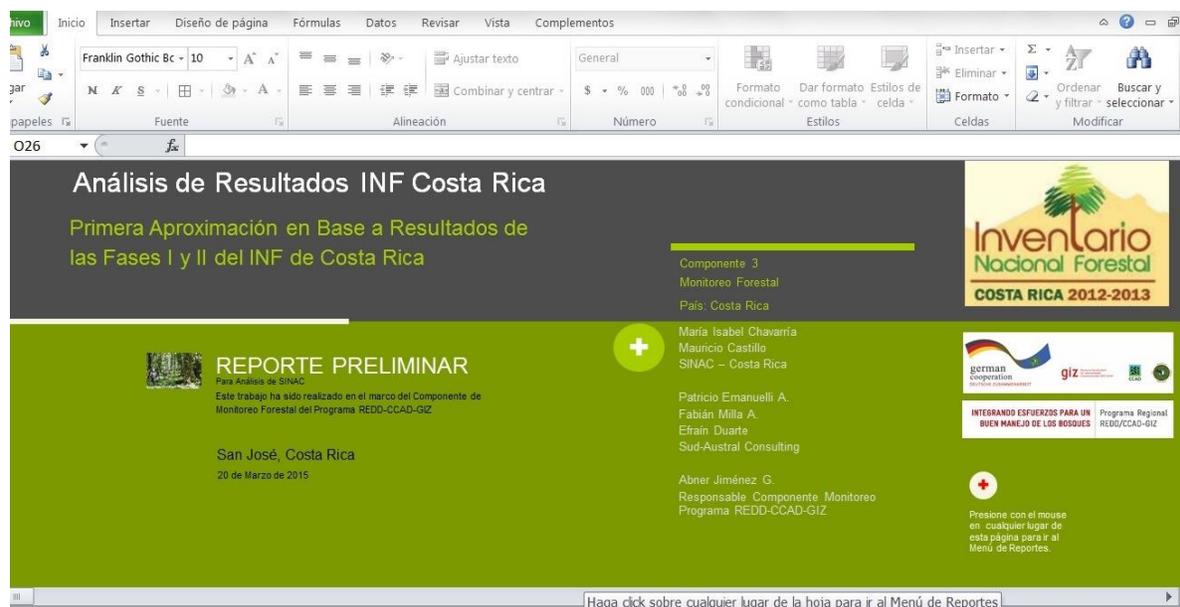
Los resultados que se presentan en este documento deben entenderse como preliminares e informales ya que no cuentan con el visto bueno de SINAC.

Los resultados generados a partir de la información capturada en campo pueden ser agregados desde el nivel de la parcela o Unidad de Muestreo hasta obtener un valor del Total para la superficie que se consideró en el diseño y ejecución del mismo.

Para mostrar la gran cantidad de información que se genera del análisis de la información de campo, se utilizó un Modelo de Datos construido especialmente para el Inventario Nacional de Costa Rica en EXCEL 2013 que permite visualizar de manera dinámica la información desde distintas perspectivas para los diferentes niveles de detalle que se requieren para lograr interpretar de manera adecuada los resultados. Esta manera de presentación recibe el nombre genérico de Dashboard y se asocia a normalmente a actividades de Inteligencia de Negocios (BI por sus siglas en inglés).

Un Dashboard o panel de control en el ámbito de la empresa se puede asimilar al tablero de mandos de un coche, en el que se reflejan las diferentes situaciones del nivel de gasolina, la velocidad, las luces y ayuda en la conducción. Sirve para lograr una visión global y rápida de la actividad empresarial y ayuda a la hora de tomar decisiones. En términos generales, para hacer un dashboard en Excel se debe crear un libro con tres hojas: "datos" (para los datos), "tablas" (para las tablas dinámicas) y "dashboard" (para el dashboard), esta última es la que permite la interacción y segmentación de la información a mostrar.

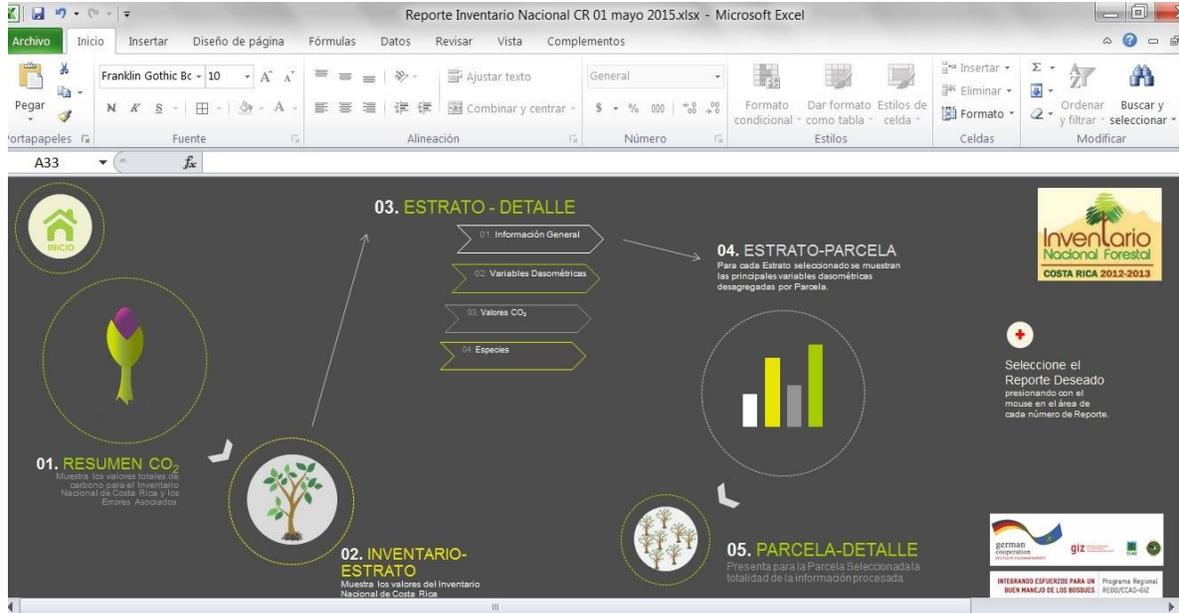
En el caso particular del Inventario Nacional de Costa Rica, al abrir la planilla Excel se encuentra la siguiente hoja:



The screenshot shows an Excel dashboard with the following content:

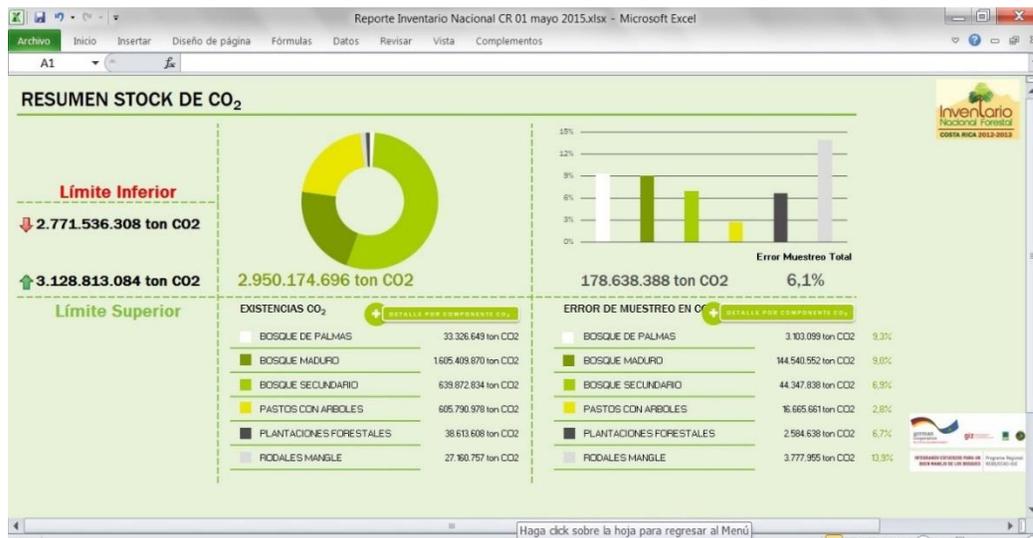
- Header:** "Análisis de Resultados INF Costa Rica"
- Sub-header:** "Primera Aproximación en Base a Resultados de las Fases I y II del INF de Costa Rica"
- Componente 3:** Monitoreo Forestal, País: Costa Rica
- Reporte Preliminar:**
  - Para Análisis de SINAC
  - Este trabajo ha sido realizado en el marco del Componente de Monitoreo Forestal del Programa REDD-CCAD-GIZ
  - San José, Costa Rica
  - 20 de Marzo de 2015
- Responsable:**
  - Abner Jiménez G.
  - Responsable Componente Monitoreo Programa REDD-CCAD-GIZ
- Logos:** German Cooperation, GIZ, and Programa Regional REDD/CCAD-GIZ.
- Footer:** "Haga click sobre cualquier lugar de la hoja para ir al Menú de Reportes"

Bastará presionar con el mouse cualquier lugar de esta página de inicio para acceder al menú de reportes.



Este menú permitirá al usuario acceder a la información del inventario en 5 niveles distintos de agregación de la información ordenados jerárquicamente desde el menor al mayor nivel de detalle o desagregación. Cada uno de ellos se explica a continuación.

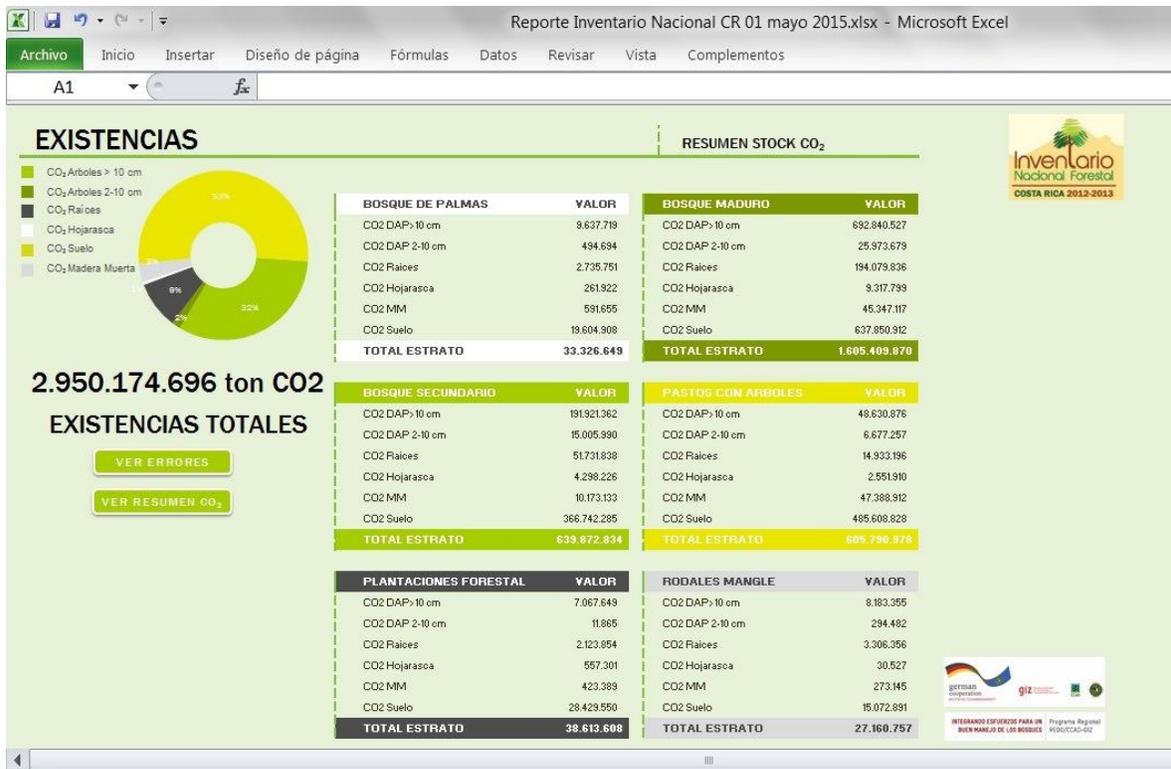
1. Resumen de CO<sub>2</sub>: muestra los valores totales de carbono para el INF-CR y los errores de muestreo asociados a esta estimación. Esta información puede verse a nivel global del bosque de Costa Rica así como también en forma parcializada para cada uno de los tipos de bosque evaluados.



El principal resultado de este análisis indica que el stock de CO<sub>2</sub> de los bosques de Costa Rica alcanza a 2.950.174.696 toneladas, estimación que tiene asociado un error de muestro (según muestreo estratificado) del 6,1% por lo que se puede afirmar que este stock oscila entre 2.771.536.308 y 3.128.813.084 toneladas.

En términos de la incertidumbre asociada a las estimaciones, el máximo error de muestreo corresponde a un 13,9%, para el estrato Rodales de Mangle y el mínimo error de muestreo corresponde a un 2,8%, para el estrato Pasto con Árboles. Además de la variabilidad propia del stock de CO<sub>2</sub> en cada uno de los estratos, estas cifras se explican por el bajo número de parcelas en el estrato Rodales de Mangle (15 parcelas) y, a la inversa, por el mayor número de parcelas en el estrato Pasto con Árboles (80 parcelas). Aun así, el error de muestreo en cada estrato es menor al 15 % fijado como objetivo al inicio de la planificación del INF-CR.

Adicionalmente, en este nivel de manejo de los datos es posible desagregar esta información global a fin de conocer lo que ocurre a nivel de cada uno de los componentes de carbono analizados, tanto en forma global como por estrato. Es posible también conocer los errores de muestreo de cada una de las estimaciones realizadas en este nivel de desagregación.





- Inventario-estrato: muestra los valores generales de las principales variables dasométricas del inventario y su desagregación por estrato. Se considera los valores promedio de las variables DAP (cm), Altura (m), Densidad (árboles/ha), Área basal (m<sup>2</sup>/ha), Volumen (m<sup>3</sup>/ha), Biomasa (toneladas/ha) y CO<sub>2</sub> Total (toneladas/ha).

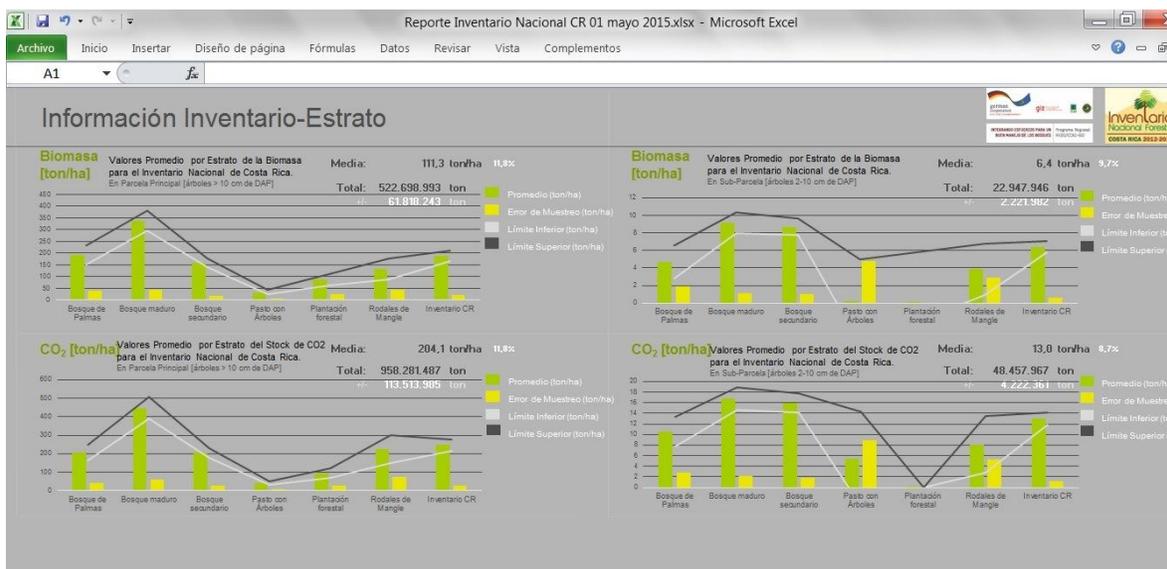
Incluye el valor promedio general (Inventario CR) y su respectivo error de muestreo, analizados estos como muestreo aleatorio simple considerando las 280 parcelas del inventario. Además, se muestra gráficamente el comportamiento de cada variable y su correspondiente error de muestreo para cada uno de los estratos.



Junto con presentar los valores para la UMP (árboles mayores a 10 cm de DAP) y la UMS (árboles con DAP entre 2 y 10 cm), se considera la agregación de ambas unidades de muestreo para mostrar los valores a nivel de todos los árboles con DAP mayor o igual a 2 cm.



En términos de CO<sub>2</sub> Total, puede verse gráficamente en este análisis que, tanto a nivel de la UMP como de la UMS, es el estrato Bosque Maduro el que presenta el mayor stock promedio de esta variable; le siguen los estratos Rodales de Mangle, Bosque de Palmas y Bosque Secundario, en el caso de los árboles mayores a 10 cm de DAP, y los estratos Bosque Secundario, Bosque de Palmas y rodales de Mangle en el caso de los árboles entre 2 y 10 cm de DAP.



- Estrato- detalle: permite conocer información general, variables dasométricas valores de CO<sub>2</sub> y especies a nivel de las estimaciones que se realizan en cada uno de los estratos, considerando el total de unidades muestrales evaluadas para ellos.

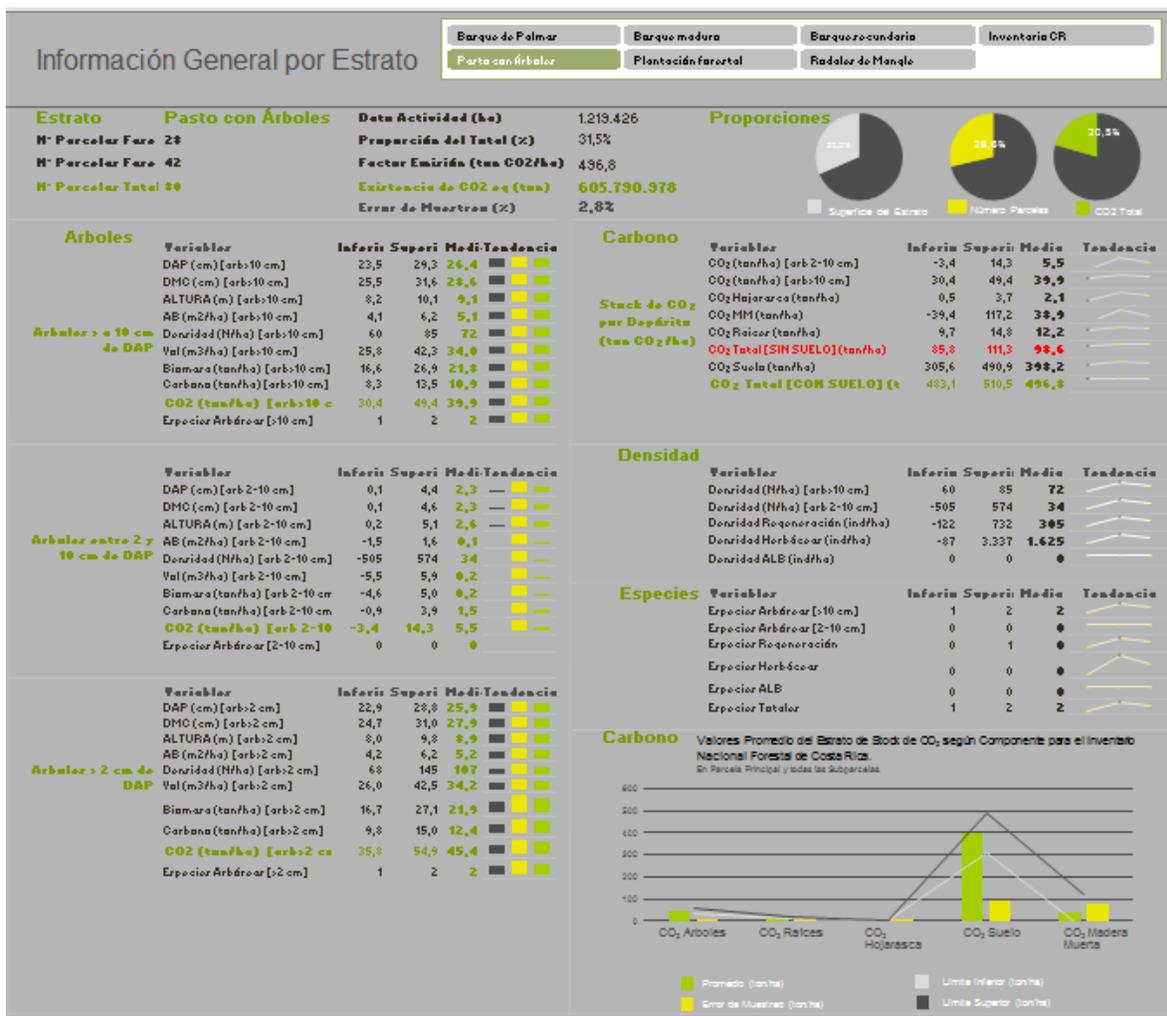
Se ejemplifica la aplicación de este nivel de información para el caso del estrato Pasto con Árboles, que se selecciona en la barra de Menú correspondiente. En esta barra, además de aparecer cada uno de los 6 estratos, también es posible abordar el análisis global del inventario completo utilizando la opción “Inventario CR”.

Para el caso de Pasto con Árboles, la superficie del estrato es de 1.219.426 ha, representando el 31,5% del bosque de Costa Rica, con un stock promedio de CO<sub>2</sub> estimado en 496,8 ton/ha (error de muestreo del 2,8%). Conjugando esta información, el stock total de CO<sub>2</sub> eq para este tipo de bosques es de 605.790.978 toneladas.

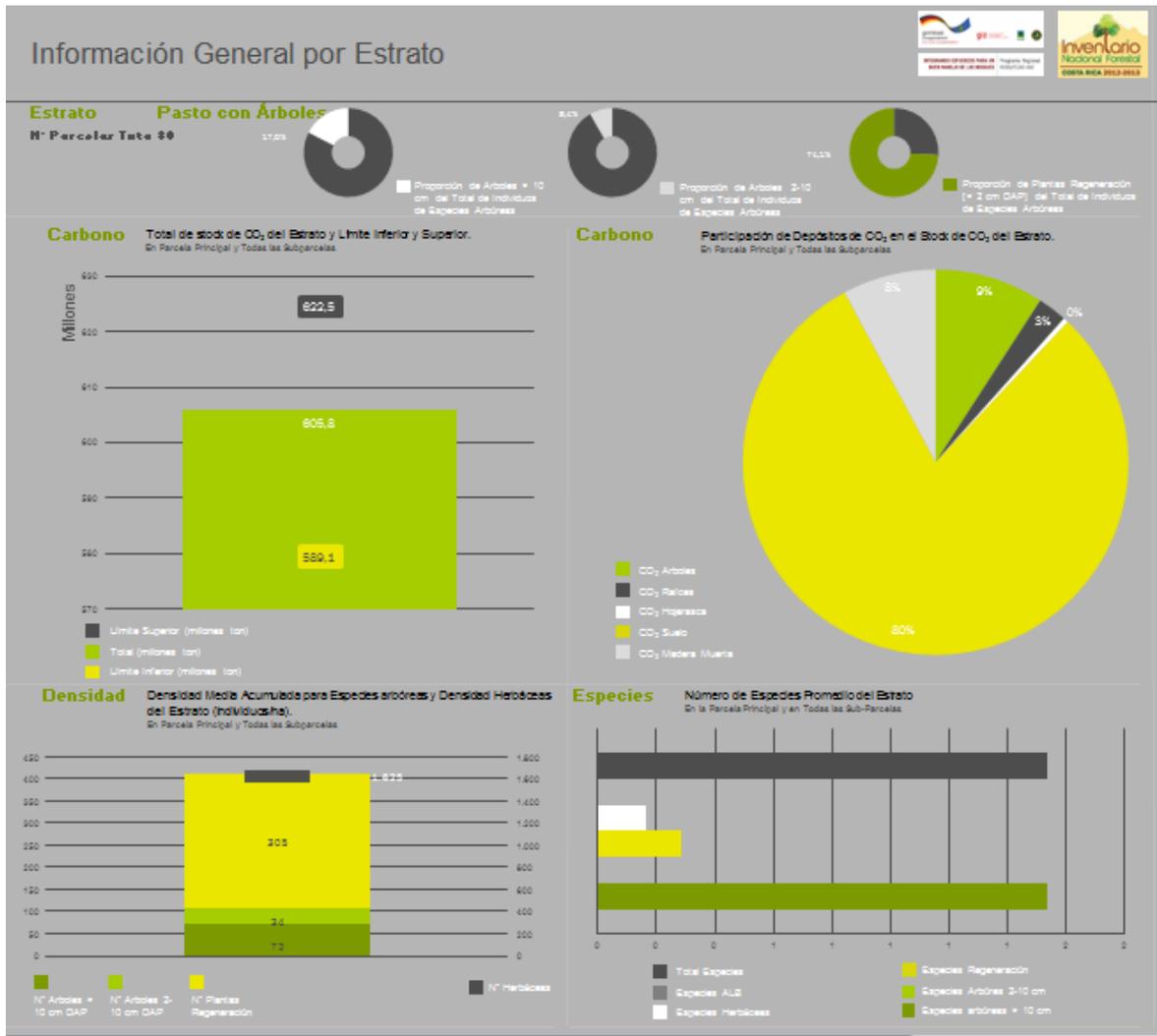
De las 80 parcelas que se utilizan en las estimaciones, 28 fueron monumentadas en la Fase I del inventario y 42 en la Fase II.

En términos de las variables dasométricas, se presentan los promedios de estas así como los límites inferior y superior de cada una en función del error de muestreo obtenido.

Para el caso de CO<sub>2</sub>, se muestran las estimaciones realizadas para cada uno de los sumideros considerados también incluyendo no sólo la media sino que los límites del intervalo de confianza.

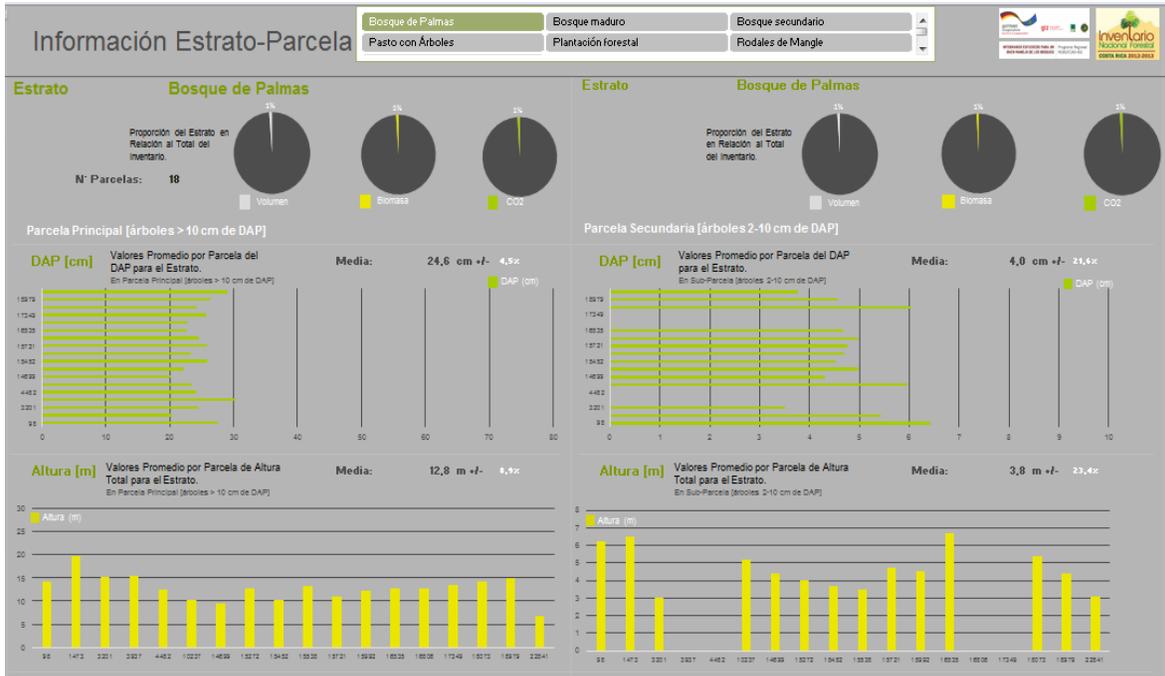


Gráficamente se ilustran los promedios de CO<sub>2</sub> por sumidero, los límites de confianza para el CO<sub>2</sub> total del estrato, la participación en el total de cada sumidero, así como información relativa a densidad y presencia de especies arbóreas, herbáceas y otras presentes en este estrato.

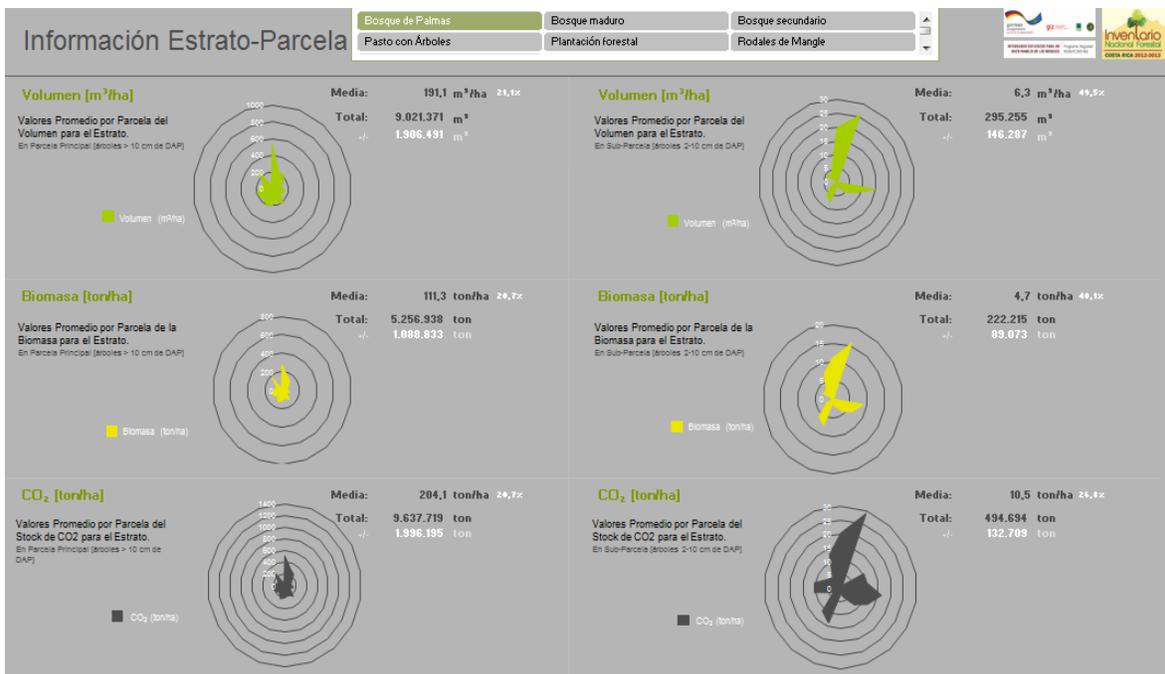


4. Estrato-parcela: es posible seleccionar cualquiera de los 6 estratos y visualizar las principales variables dasométricas a nivel de cada una de las parcelas evaluadas para ese tipo de bosques.

Se ejemplifica este nivel de información para el caso del Bosque de Palmas, estrato seleccionado en la barra de menú central. Para este estrato existen 18 parcelas procesadas, y para cada una de ellas se presenta información gráfica en relación a cada una de las variables dasométricas analizadas, segregando esta información para la UMP (árboles mayores a 10 cm de DAP) y la UMS (árboles entre 2 y 10 cm de DAP), así como para la agrupación de ambas (árboles mayores a 2 cm de DAP). Se efectúa también un análisis del aporte en términos de volumen, biomasa y CO<sub>2</sub> de este estrato en relación al total del bosque de Costa Rica correspondiendo este aproximadamente al 1% del total de cada una de las variables.



Más en específico, se analiza gráficamente el comportamiento a nivel de unidad de superficie (hectárea) del volumen, biomasa y CO<sub>2</sub> por tipo de unidad de muestreo de árboles, presentando los valores calculados en cada parcela así como los estadígrafos media y error de muestreo asociado a la estimación.



- Parcela-detalle: presenta para cualquiera de las 280 parcelas del inventario la totalidad de la información procesada así como la información general registrada en los formularios.

Se ejemplifica la información mostrada en este nivel para el caso de la parcela 98, correspondiente al estrato Bosque de Palmas y que fue evaluada en la Fase II del INF-CR. Esta parcela corresponde a la Región Operativa Pacífico Central y Pacífico Sur, y está ubicada en la Provincia de Punta Arenas, Distrito de Sierpe. Se presentan en el menú los antecedentes dasométricos correspondientes a los árboles, tanto considerando el espectro de árboles mayores a 2 cm de DAP como segregados por tipo de unidad muestral (UMP y UMS). Se aborda la estimación del contenido de CO<sub>2</sub> tanto de los árboles como de los otros sumideros evaluados y se aporta información en relación a especies presentes (arbóreas, arbustivas, helechos, lianas, bambúes y herbáceas).

## Información General por Parcela

**Parcela 98**

**Fase de Inventario:** Fase II

**Estrato:** Bosque de Palmas

**Región Operativa:** PCPS

**Provincia:** Puntarenas

**Cantón:** Osa

**Distrito:** Sierpe

**Localidad:** Pavon

**Coordenada X:** 373.349

**Coordenada Y:** 566.503

**Fecha de Medición:** 01-01-2014

**Estrato Según M:** Yolillo

**Elevación (msnm):** 13

**Posición Topográfica:** Bajo

**Pendiente Terreno (%):** 0

**Sucesión:** 0

**Origen:** Natural

**Integridad Fac. Natural:** 0

**Integridad Fac. Antróp:** 0

**Protección Hídrica:** (en blanco)

**Desplazamiento (hh:mm):** 3:48:00

**Ejecución (hh:mm):** 3:15:00

**Observaciones General:** [IN ORIGINAL PARCELA 33] El Ave de Yulilla, llamada. El puelo... a 1 km de quebrada de Labea [437] por lo que fue necesario tomar este punto de parcelación en la esquina 50

SELECCIONA PARCELA

Arboles		Variables	Media	Otras Variables	
<b>Arboles &gt; 2 cm de DAP</b>	DAP (cm) [arb>2 cm]		22,3	Densidad Regeneración (ind/ha)	0,0
	DMC (cm) [arb>2 cm]		19,0	<b>ESPECIES</b> Densidad Herbáceas (ind/ha)	60000,0
	ALTURA (m) [arb>2 cm]		12,1	Densidad ALB (ind/ha)	0,0
	AB (m <sup>2</sup> /ha) [arb>2 cm]		70,7	Especies Regeneración	0
	Densidad (N/ha) [arb>2 cm]		2.430,0	Especies Herbáceas	6
	Vol (m <sup>3</sup> /ha) [arb>2 cm]		542,1	Especies ALB	0
	Biomasa (ton/ha) [arb>2 cm]		289,0	<b>CARBONO</b> CO2 Árboles (ton/ha)	529,8
	Carbono (ton/ha) [arb>2 cm]		144,5	CO2 Raíces (ton/ha)	143,0
	<b>CO2 (ton/ha) [arb&gt;2 cm]</b>		<b>529,8</b>	CO2 Hojarasca (ton/ha)	5,5
	N' Esp [arb >2 cm]		3	CO2 Suelo (ton/ha)	415,2
			CO2 MM (ton/ha)	12,5	
			<b>CO2 TOTAL (ton/ha)</b>	<b>1106,0</b>	
Arboles entre 2 y 10 cm de DAP		Variables	Media	Arboles > a 10 cm de DAP	
DAP (cm) [arb 2-10 cm]			6,4	DAP (cm) [arb>10 cm]	27,6
DMC (cm) [arb 2-10 cm]			6,7	DMC (cm) [arb>10 cm]	23,7
ALTURA (m) [arb 2-10 cm]			6,2	ALTURA (m) [arb>10 cm]	14,1
AB (m <sup>2</sup> /ha) [arb 2-10 cm]			5,5	AB (m <sup>2</sup> /ha) [arb>10 cm]	65,2
Densidad (N/ha) [arb 2-10 cm]			1550,0	Densidad (N/ha) [arb>10 cm]	340,0
Vol (m <sup>3</sup> /ha) [arb 2-10 cm]			19,6	Vol (m <sup>3</sup> /ha) [arb>10 cm]	522,5
Biomasa (ton/ha) [arb 2-10 cm]			11,0	Biomasa (ton/ha) [arb>10 cm]	277,9
Carbono (ton/ha) [arb 2-10 cm]			5,5	Carbono (ton/ha) [arb>10 cm]	133,0
<b>CO2 (ton/ha) [arb 2-10 cm]</b>			<b>20,2</b>	<b>CO2 (ton/ha) [arb&gt;10 cm]</b>	<b>509,5</b>
N' Esp [arb 2-10 cm]			1	N' Esp [arb>10 cm]	2

98

99

370

460

554

648

1027

1104

1111

1181

1210

1473

1573

1664

1736

1745

1747

1829

1932

2005

2102

2171

2181

2275

2294

2355

2398

2571

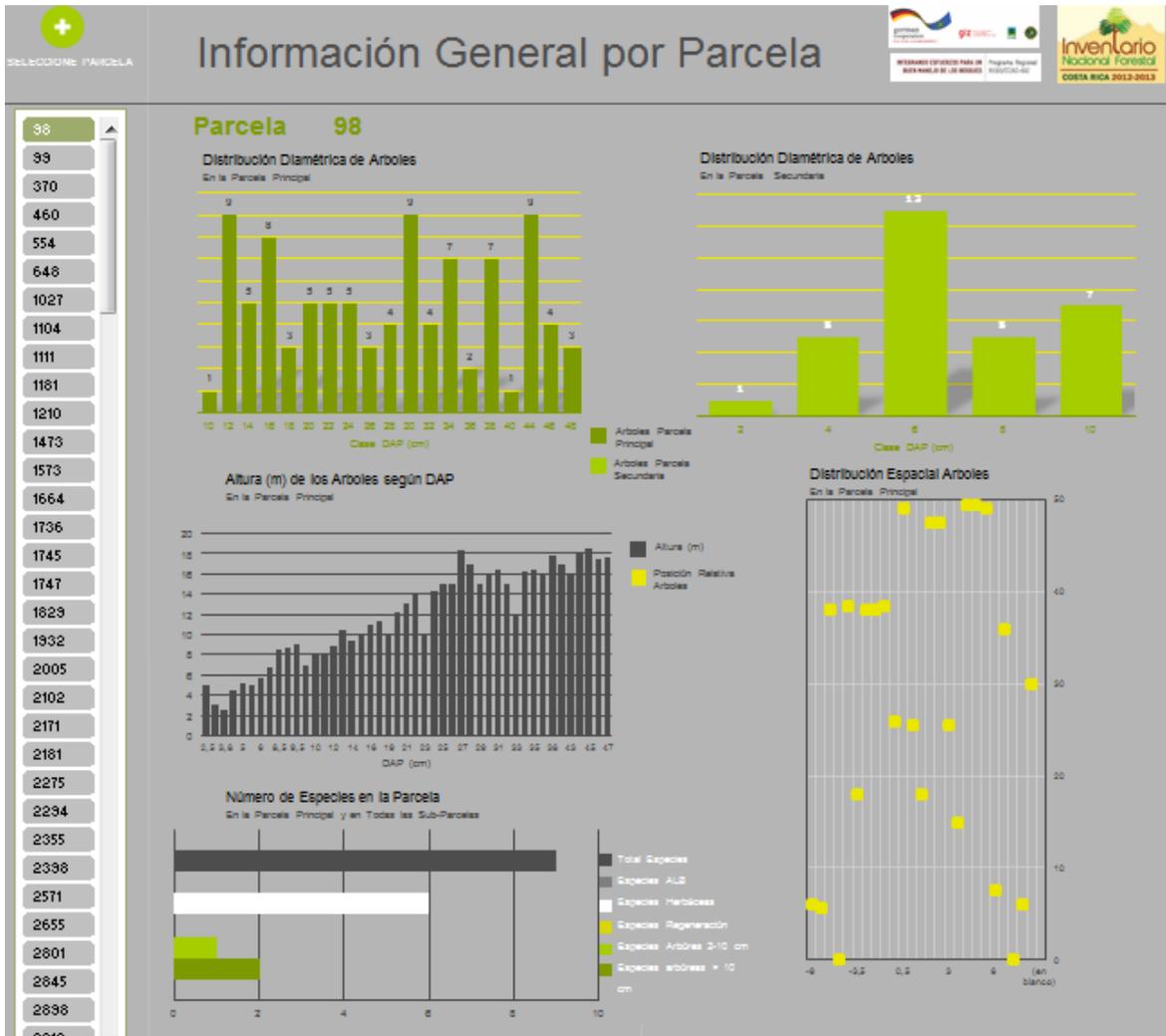
2655

2801

2845

2898

Además, es posible visualizar gráficamente la distribución diamétrica de los árboles en la UMP y en la UMS, la relación DAP-Altura total de los mismos, el número de especies distintas para cada categoría de cobertura vegetal definida y la distribución espacial de los árboles dentro de la UMP con el antecedente de las coordenadas x e y registradas para cada árbol.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2012.** Evaluación de carbono en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe. San José-Costa Rica. 26 pp.
2. **Carbonero, M.; Ramírez, J.; Hervás, C. y D. Ortiz. 2005.** Estimadores robustos de estadísticos de posición. Trabajo financiado por el MCYT, proyecto TIC2002-04036-C05-02 y con fondos FEDER. Presentado en el III Taller Nacional de Minería de Datos y Aprendizaje, TAMIDA2005. 14 al 16 de septiembre de 2005. Granada, España. 7 p.
3. **Chao, J.; Phillips, L.; Baker, R.; Peacock, J.; López, G.; Vasquez, R.; Monteagudo, A.; Torres A. 2009.** After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. *Biogeosciences* 6: 1615–1626.
4. **Chave, J.; Condit, R.; Aguilar, S.; Hernández, A., Lao, S. y Pérez, R. 2004.** Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359 1443:409-420. Disponible en <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/359/1443/409.full.pdf+html>
5. **Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.-P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. 2005.** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia, Ecosystem ecology* 145: 87–99
6. **Chave, J. 2006.** Medición de densidad de madera en árboles tropicales. *Proyectos Pan Amazonía - RAINFOR*. 7 pp.
7. **Fonseca, W.; Alice, F.; Montero, J.; Toruño, H. y H. Leblanc. 2008.** Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 46: 57-64.
8. **Fonseca, W.; Alice, F. y J.M. Rey. 2009.** Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47
9. **Kaiser, L. 1983.** Unbiased estimation in line-intersect sampling. *Biometrics*. 39: 965-976.
10. **Kleinn, C.; Ramírez, C.; Chaves, G. y Lobo, S. 2001.** Pilot forest inventory in Costa Rica for the Global Forest Survey (GFS) Initiative of FAO FRA. Report to FAO FRA. FAO-CATIE-SINAC. 46 p.
11. **Ketterings, Q.M.; Coe, R.; van Noordwijk, M.; Ambagau, Y. y Palm, C.A. 2001.** Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199–209.
12. **IPCC. 1997.** Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Libro de Trabajo (Volumen 2). Editores: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim., K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs and B.A. Callander. 185 p.

13. **IPCC. 2003.** Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. 583 p.
14. **Marshall, P.L.; Davis, G.; LeMay, V.M. 2000.** Using line intersect sampling for coarse woody debris. Tech. Rep. TR-003. Vancouver, BC: Research Section, Vancouver Forest Region, BC Ministry of Forests. 34 p.
15. **Pérez, D. y M. Kanninen 2003.** Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science 15(1): 199-213.
16. **Sánchez-Monge, M. 2012.** Documento metodológico para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica. Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD – CCAD – GIZ). SINAC-FONAFIFO San José, Costa Rica. 16 p.
17. **SINAC-FONAFIFO. 2011.** Taller Nacional de Expertos para Analizar y Sugerir la Metodología para la Línea de Base y el Sistema de Monitoreo, Reporte y Validación para la Estrategia Nacional REDD+ de Costa Rica, 20 y 21 de septiembre del 2011.
18. **SINAC – Programa REDD-CCAD-GIZ, 2014.** Manual de campo para el inventario forestal nacional de Costa Rica: Diseño de parcela y medición de variables de sitio y dasométricas. Elaborado por Jorge Fallas – consultor, para el Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ) y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). San José, Costa Rica. 78 páginas.
19. **Teissier du Cros, R.; López, S. 2009.** Preliminary study on the assessment of deadwood volume by the French national forest inventory. Ann. For. Sci 66, 302.
20. **Ulate, CA. 2011.** Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 61 p.
21. **Van Wagner, C.E. 1968.** The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. Forest Science 14: 20-26.
22. **Van Wagner, C.E. 1982a.** Graphical estimation of quadratic mean diameters in the line-intersect method. Forest Science. 28: 852-855.
23. **Van Wagner, C.E. 1982b.** Practical aspects of the line intersect method. Inform. Rep. PIX-12. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service. 18 p.
24. **Warren, W.G.; Olsen, P.F. 1964.** A line-intersect technique for assessing logging waste. Forest Science. 10: 267-276.
25. **Woodall, C.W.; Holden, G.R.; Vissage, J.S. 2004.** Large scale maps of forest fuels. Fire Management Today. 64 (2): 19-21.
26. **Woodall, C. y M. Williams. 2005.** Sampling Protocol, Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Program. Gen. Tech. Rep.



- NC-256. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station. 47 p.
27. **Woodall, C.W.; Rondeux, J.; Verkerk, P.; Stahl, G., 2009.** Estimating dead wood during national inventories: a review of inventory methodologies and suggestions for harmonization. *Environmental Management* 44: 624–631.