



# **HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN LAS ACCIONES NACIONALMENTE APROPIADAS DE MITIGACION (NAMA) DEL SECTOR FORESTAL DE COLOMBIA.**

**Elaborado por Blanca Bernal, Gabriel Sidman, Felipe Casarim, and Tim Pearson.**

Winrock International, Diciembre 2017.

## Tabla de Contenidos

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>CÁLCULO DE LAS EMISIONES CAPTURADAS</b> .....	<b>3</b>
1. Reservorios y Gases Contabilizados .....	3
2. Modelo de Acumulación de Biomasa.....	4
3. Cálculo de la incertidumbre de las emisiones capturadas .....	4
<b>DATOS DE COLOMBIA UTILIZADOS EN LA HERRAMIENTA</b> .....	<b>6</b>
1. Reforestación comercial o Plantaciones: .....	8
2. Restauración de bosques: .....	10
3. Restauración de manglares:.....	11
4. Prácticas agroforestales.....	13
<b>CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS EN LA HERRAMIENTA</b> .....	<b>15</b>
1. Construcción de escenarios: .....	15
2. Entrada de datos:.....	16
3. Datos Informativos Adicionales: .....	16
<b>VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS EN LA HERRAMIENTA</b> .....	<b>18</b>
1. Resultados del escenario:.....	18
2. Visualización de los resultados de todos los escenarios creados:.....	19
<b>ANEXO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO</b> .....	<b>20</b>

Documento desarrollado por Winrock International. Cita sugerida: B. Bernal, G. Sidman, F. Casarim, T. Pearson. 2017. Herramienta de apoyo a la toma de decisiones en las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMA) de sector forestal de Colombia. Manual del Administrador. Winrock International. 28 pp.

En caso de dudas o comentarios, por favor contactar al autor principal: Blanca Bernal ([blanca.bernal@winrock.org](mailto:blanca.bernal@winrock.org)).

Winrock agradece encarecidamente el apoyo y financiación del Gobierno Federal de la Republica de Alemania para realizar este producto, bajo la International Climate Initiative.

Supported by:



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation,  
Building and Nuclear Safety

*This project is part of the International Climate Initiative (IKI). The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.*

based on a decision of the German Bundestag

## RESUMEN

Esta herramienta ha sido diseñada por Winrock International bajo los fondos del *International Climate Initiative* (IKI) del Gobierno de Alemania, como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) del Gobierno de Colombia dentro de su NAMA Forestal. La NAMA Forestal de Colombia es una iniciativa de varias fases que incluye componentes de planificación, actuación, monitoreo, y educación. Su objetivo es aumentar la captura de gases de efecto invernadero en el sector de uso de la tierra a través de la reforestación con plantaciones comerciales, y la restauración forestal de especies nativas, de prácticas agroforestales, y de manglares.

Esta herramienta permite visualizar las capturas de CO<sub>2e</sub> que pueden ser logradas a lo largo del periodo de la NAMA, entre 2018-2050, bajo distintos escenarios. Los escenarios se definen en función de las actividades de la NAMA, específicas para cada región, durante un periodo y un área determinados por el usuario de la herramienta. La herramienta permite construir 32 escenarios y comparar las capturas de CO<sub>2e</sub> logradas bajo cada uno de ellos, tanto numérica como gráficamente.

En las secciones siguientes se detallan los parámetros y ecuaciones utilizadas en cada componente de la construcción de escenarios, así como las fuentes de datos de Colombia utilizadas, los modelos matemáticos, y la arquitectura de la herramienta. La intención de este 'Manual del Administrador' es facilitar el entendimiento de la ciencia y arquitectura de la herramienta con transparencia, y permitir una actualización de los datos por parte del administrador, en la medida que estos vayan estando disponibles.

## CÁLCULO DE LAS EMISIONES CAPTURADAS

### 1. Reservorios y Gases Contabilizados

Los reservorios de carbono incluidos en esta herramienta de apoyo a la NAMA Forestal consisten en:

- ✓ biomasa arbórea, tanto aérea como subterránea.

El único gas de efecto invernadero considerado es:

- ✓ dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

La cantidad de biomasa que se acumula se suele expresar en términos de peso seco, que se convierte a peso de carbono asumiendo que el 50% del peso seco de la biomasa equivale al peso seco de carbono. El peso de carbono se transforma a su vez en equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2e</sub>), multiplicando la masa de carbono por el factor de conversión 44/12<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Este factor de conversión representa el peso molecular del CO<sub>2</sub> (44 g) dividido por el peso molecular del carbono (12 g).

---

Las toneladas totales de CO<sub>2e</sub> capturadas bajo las actividades e la NAMA Forestal descritas en la herramienta equivalen a la suma de las toneladas de CO<sub>2e</sub> contenidas en la biomasa aérea y subterránea, capturadas cumulativamente a lo largo del periodo de duración del escenario creado bajo las condiciones introducidas.

## 2. Modelo de Acumulación de Biomasa

Las toneladas de carbono contenidas en la biomasa aérea se calculan siguiendo el modelo de Chapman-Richards<sup>2</sup>, una función de crecimiento biológico sigmoideo que calcula la tasa de crecimiento de un bosque según la Ecuación 1:

$$CBA = MAX * [1 - EXP(-k * a)]^{1/(1-m)} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde,

- CBA* es el carbono contenido en la biomasa aérea (t C ha<sup>-1</sup>),
- MAX* es la asíntota de la curva que indica el máximo de biomasa,
- EXP* es la función exponencial de la curva,
- k* y *m* son parámetros adimensionales de crecimiento,
- a* es el número de años.

A partir del CBA se calcula el carbono contenido en la biomasa subterránea (CBS), en t C ha<sup>-1</sup>, siguiendo el modelo de Mokany<sup>3</sup> descrito en la Ecuación 2:

$$CBS = 0.489 * CBA^{0.89} \quad \text{Ecuación 2}$$

La suma de las t C ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea y subterránea equivalen al total del carbono capturado por hectárea de la actividad. Esta cantidad se convierte a t CO<sub>2e</sub> multiplicando por el área del escenario y multiplicando por el factor de conversión 44/12.

La tasa promedio de captura en t CO<sub>2e</sub> año<sup>-1</sup> y en t CO<sub>2e</sub> ha<sup>-1</sup> se calcula dividiendo las t CO<sub>2e</sub> totales por el número de años o de hectáreas, respectivamente, en el escenario creado.

## 3. Cálculo de la incertidumbre de las emisiones capturadas

La herramienta calcula además la incertidumbre asociada a las toneladas totales de CO<sub>2e</sub> capturadas bajo el escenario, proporcionando el valor del intervalo de confianza del 95% del valor total. Para calcularlo se

<sup>2</sup> Pienaar, L.V., K.J. Turnbull. 1973. The Chapman-Richards Generalization of Von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even-Aged Stands. *Forest Science* 19: 2-22.

<sup>3</sup> Mokany, K., R.J. Raison, A.S. Prokushkin. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.

determina primero el intervalo de confianza asociado a la captura de carbono en la biomasa aérea ( $IC_A$ ), utilizando la Ecuación 3:

$$IC_A = TINV * \sigma_{res} * \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) + [(a - a_p)^2 / \sum a_{res}]} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde,

$IC_A$  es la mitad del intervalo de confianza del 95% del  $CBA$ ,

$TINV$  es la inversa de la distribución  $t$ -Student de la curva Chapman-Richards con  $p$ -valor de 0.05,

$\sigma_{res}$  es la desviación estándar de los residuales de la curva Chapman-Richards,

$n$  es el número de datos que han producido la curva Chapman-Richards,

$a$  son los años del escenario,

$a_p$  es el promedio de años en los datos que han producido la curva Chapman-Richards,

$\sum a_{res}$  es la sumatoria de los residuales de los años en la curva Chapman-Richards.

El intervalo de confianza asociado a la captura de carbono en la biomasa subterránea se calcula como un porcentaje predeterminado del carbono en la biomasa subterránea ( $CBS$ ), definido por Mokany<sup>2</sup> para bosques tropicales y detallado en la Tabla 1.

**Tabla 1. Porcentaje de la incertidumbre asociada al CBS.**

		Clima	
		Húmedo	Seco
CBA	< 125 t C ha <sup>-1</sup>	55.9 %	48.6 %
	≥ 125 t C ha <sup>-1</sup>	10.6 %	13.9 %

El intervalo de confianza asociado a la captura de carbono en la biomasa subterránea ( $IC_B$ ) se calcula por tanto multiplicando  $CBS$  por la incertidumbre correspondiente al escenario creado.

El intervalo total de confianza de las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e capturadas bajo el escenario ( $IC$ ) se calcula propagando la incertidumbre<sup>4</sup> del  $CBA$  ( $IC_A$ ) y la del  $CBS$  ( $IC_B$ ), de acuerdo con la Ecuación 4:

$$IC = \sqrt{(IC_A^2 + IC_B^2)} \quad \text{Ecuación 4}$$

$IC$  (t C ha<sup>-1</sup>) se convierte a t CO<sub>2</sub>e multiplicando por el área del escenario y multiplicando por el factor de conversión 44/12.

<sup>4</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1, Chapter 3: Uncertainties.

## DATOS DE COLOMBIA UTILIZADOS EN LA HERRAMIENTA

La creación de escenarios en la herramienta comienza con la selección de la unidad geográfica en que se quiere realizar una actividad de la NAMA Forestal. Estas unidades se dividen en Departamentos (32) o en Corporaciones Autónomas Regionales (34), listadas en la Tabla 2.

**Tabla 2. Lista de Departamentos y Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) en Colombia.**

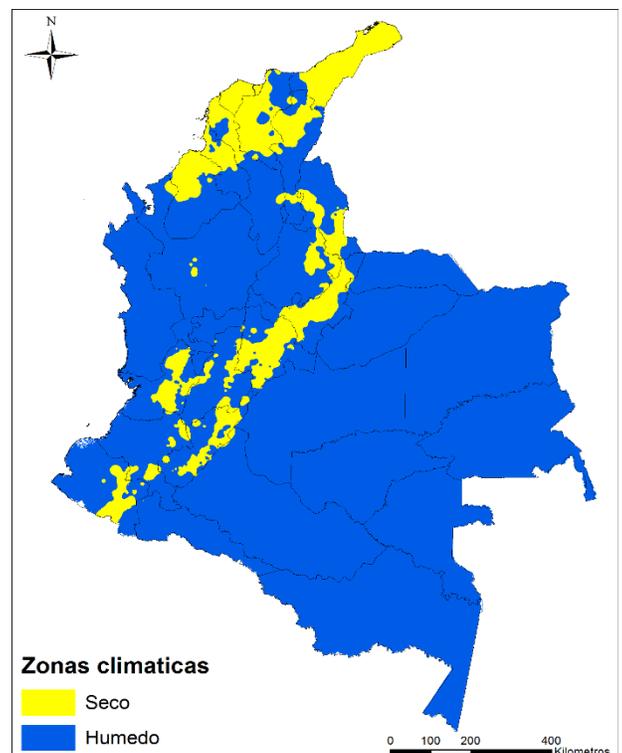
Departamentos	CARs
Amazonas	AMVA
Antioquia	CAM
Arauca	CAR
Atlántico	Carder
Bolívar	Cardique
Boyacá	Carsucre
Caldas	CAS
Caquetá	CDA
Casanare	CDMB
Cauca	Codechocó
Cesar	Coralina
Chocó	Corantioquia
Córdoba	Cormacarena
Cundinamarca	Cornare
Guainía	Corpamag
Guaviare	Corpoamazonia
Huila	Corpoboyacá
La Guajira	Corpocaldas
Magdalena	Corpocesar
Meta	Corpochivor
Nariño	Corpoguajira
Norte de Santander	Corpoguavio
Putumayo	Corpomojana
Quindío	Corponariño
Risaralda	Corponor
San Andrés y Providencia	Corporinoquia
Santander	Corpourabá
Sucre	Cortolima
Tolima	CRA
Valle del Cauca	CRC
Vaupés	CRQ
Vichada	CSB
	CVC
	CVS

Las actividades de la NAMA Forestal que se pueden introducir en la creación de escenarios, que a su vez se subdividen en especies o subactividades relevantes en Colombia, son:

1. Reforestación comercial o Plantaciones:
  - a. Teca
  - b. Eucalipto
  - c. Latifoliadas nativas (excluye Teca y Eucalipto)
  - d. Coníferas
  - e. Caucho
2. Restauración de bosques:
  - a. Restauración activa
  - b. Restauración pasiva
3. Restauración de manglares:
  - a. Especies arbóreas
  - b. Especies arbustivas
4. Prácticas agroforestales:
  - a. Sistemas silvopastoriles
  - b. Cultivos de café o cacao (cultivo de sombra)
  - c. Cercas vivas o plantaciones frutales

Tanto la actividad de reforestación comercial o plantaciones como la de restauración de bosques permiten además elegir entre tipo de bosque húmedo o seco, según el clima de la unidad geográfica de interés. La diferenciación entre clima húmedo y seco se basa en la precipitación media anual (mm) de la unidad geográfica seleccionada (Figura 1), siendo las zonas de clima seco aquellas con precipitaciones medias anuales inferiores a 1500 mm, y las húmedas las de medias anuales superiores a 1500 mm.

Las bases de datos utilizadas para cada una de estas actividades y sus curvas de crecimiento de Chapman-Richards se describen en detalle a continuación. Las referencias bibliográficas empleadas para la obtención de datos de crecimiento de biomasa bajo cada una de las actividades y subactividades mencionadas están compiladas en el Anexo 1 de este documento.



**Ilustración 1. Distribución de las zonas climáticas utilizadas en la herramienta (mapa realizado por IDEAM en 2017).**

## 1. Reforestación comercial o Plantaciones:

### Curvas de crecimiento:

La actividad de reforestación comercial/plantaciones se subdivide en las especies de árboles más relevantes en las plantaciones colombianas<sup>5</sup>. Los datos recogidos para Colombia y la región del neotrópico<sup>6</sup> produjeron los siguientes parámetros en las curvas de crecimiento de Chapman-Richards (Tabla 3A):

**Tabla 3A. Parámetros de las curvas de crecimiento de Chapman-Richards descritos en la Ecuación 1 para las especies de las plantaciones de Colombia.**

Especie	Clima	Corta (años)	R <sup>2</sup>	Parámetros de la curva de crecimiento			
				MAX	k	m	1/(1-m)
<i>Teca</i>	<b>Seco</b>	14	0.91	125	0.169	0.56	2.273
	<b>Húmedo</b>	14	0.91	125	0.169	0.56	2.273
<i>Eucalipto</i>	<b>Seco</b>	21	0.86	117	0.216	0.72	3.571
	<b>Húmedo</b>	14	0.53	205	0.136	0.65	2.857
<i>Resto de latifoliadas</i>	<b>Seco</b>	20	0.56	95	0.092	0.71	3.448
	<b>Húmedo</b>	12	0.78	142	0.108	0.56	2.273
<i>Conífera</i>	<b>Seco</b>	25	0.91	195	0.142	0.87	7.692
	<b>Húmedo</b>	15	0.52	190	0.091	0.70	3.333
<i>Caucho</i>	<b>Seco</b>	25	0.79	125	0.090	0.55	2.222
	<b>Húmedo</b>	25	0.79	125	0.090	0.55	2.222

Los ciclos de corta se definen siguiendo los predeterminados por el Ministerio de Medioambiente del Gobierno de Colombia en su Memoria Técnica de la NAMA Forestal<sup>4</sup>, ya que son valores consistentes con las curvas de crecimiento elaboradas. Para aquellas plantaciones que no están listadas en esta Memoria (eucalipto en clima seco, coníferas, y latifoliadas nativas de clima seco) se utilizan los ciclos determinados por FAO<sup>7</sup> y CONIF<sup>8</sup>.

El intervalo de confianza del 95% de estas curvas viene dado por los siguientes parámetros (Tabla 3B):

<sup>5</sup> Acción Nacionalmente Apropiada de Mitigación del Sector Forestal de Colombia. Remoción de carbono asociada a la implementación de las actividades propuestas en la NAMA Forestal. Memoria Técnica. Nov. 2016, Bogotá, D.C. MINAMBIENTE.

<sup>6</sup> Región del continente Americano entre el Trópico de Cáncer y el de Capricornio.

<sup>7</sup> FAO. 2001. Mean annual volume increment of selected industrial forest plantation species by L. Ugalde, O. Pérez. Forest Plantation Thematic Papers, Working Paper 1. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome.

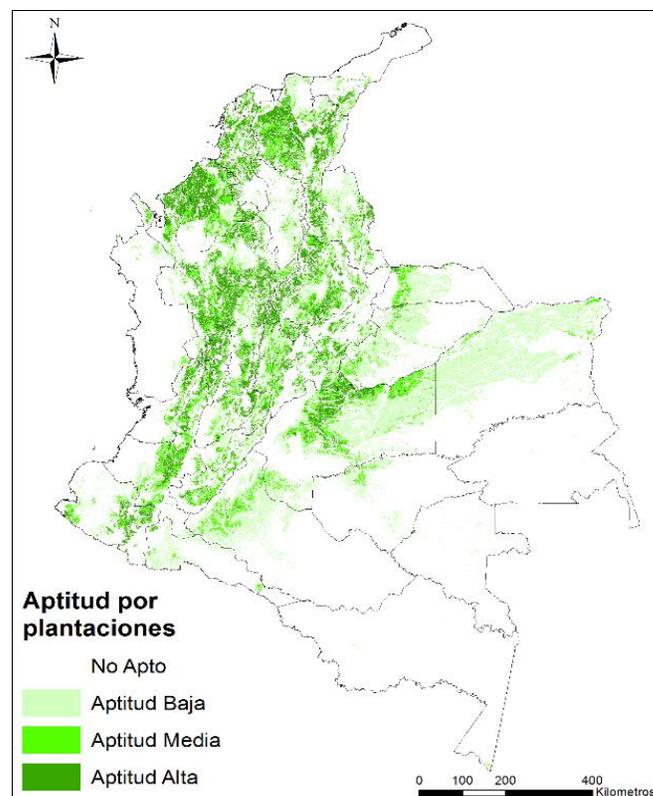
<sup>8</sup> Guía para Plantaciones Forestales Comerciales: Series de Documentación del CONIF. Bogotá, Colombia. <http://www.itto.int/>

**Tabla 3B. Parámetros del intervalo de confianza del 95% descritos en la Ecuación 2 para las especies de las plantaciones de Colombia.**

Especie	Clima	Parámetros del intervalo de confianza del modelo				
		TINV	$\sigma_{res}$	$a_p$	$\sum a_{res}$	n
<i>Teca</i>	<b>Seco</b>	2.36	7.15	14	392.86	7
	<b>Húmedo</b>	2.36	7.15	14	392.86	7
<i>Eucalipto</i>	<b>Seco</b>	2.31	4.95	7	51.09	8
	<b>Húmedo</b>	2.23	36.75	9	206.28	10
<i>Resto de latifoliadas</i>	<b>Seco</b>	2.20	17.63	18	570.73	11
	<b>Húmedo</b>	2.05	11.35	6	554.59	12
<i>Conífera</i>	<b>Seco</b>	2.11	12.81	19	844.00	11
	<b>Húmedo</b>	2.06	36.61	16	3283.96	24
<i>Caucho</i>	<b>Seco</b>	1.99	36.16	13	11422.21	92
	<b>Húmedo</b>	1.00	36.16	13	11422.21	92

### Datos de información geográfica:

El mapa de plantaciones comerciales utilizado para definir la localización de las actividades de reforestación comercial o plantaciones en Colombia es el desarrollado en 2014 por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)<sup>9</sup>, del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Colombia. Esta base de datos diferencia cuatro categorías en la zonificación de aptitud de la tierra para plantaciones forestales con fines comerciales: Aptitud Alta, Media, Baja, y No Apto. Como se especifica en la Memoria Técnica de la NAMA Forestal del Ministerio de Medioambiente, solo se consideran áreas adecuadas para plantaciones comerciales bajo la NAMA aquellas que pertenecen a la categoría de Aptitud Alta. Solo los Departamentos Amazonas, Guainía, San Andrés y Providencia, y Vaupés, y el CAR Coralina, quedan excluidos por tanto de poder seleccionar esta actividad en esta versión de la herramienta.



**Ilustración 2. Zonificación de las regiones con aptitud alta, media, baja, o no aptas, para plantaciones comerciales (mapa realizado por UPRA en 2014).**

<sup>9</sup> Mapa de Aptitud para plantaciones forestales con fines comerciales (2014), bajo Cadenas Productivas en el Ordenamiento Productivo, descargable en <http://upra.gov.co/SIPRA/>

## 2. Restauración de bosques:

### Curvas de crecimiento:

La actividad de restauración de bosques se subdivide en restauración activa y pasiva o espontánea. La revisión bibliográfica del crecimiento de biomasa boscosa en ambos tipos de restauración revela que no existen diferencias significativas entre ambas estrategias, respecto a la cantidad de remociones de CO<sub>2e</sub> potenciales en cada una ( $p$ -valor = 0.69<sup>10</sup>). La diferenciación entre restauración activa y pasiva se mantuvo en la herramienta, sin embargo, porque el Plan Nacional de Restauración de 2015 de Colombia<sup>11</sup> contempla ambas opciones, las cuales representan un costo por hectárea de bosque restaurada diferente.

Los datos recogidos para Colombia y la región del Sudamérica produjeron los siguientes parámetros en las curvas de crecimiento de Chapman-Richards (Tabla 4A):

**Tabla 4A. Parámetros de las curvas de crecimiento de Chapman-Richards descritos en la Ecuación 1 para la reforestación de bosques de Colombia.**

Clima	R <sup>2</sup>	Parámetros de la curva de crecimiento			
		MAX	k	m	1/(1-m)
<b>Seco</b>	0.26	75	0.090	0.50	2.000
<b>Húmedo</b>	0.31	110	0.125	0.80	5.000

El intervalo de confianza del 95% de estas curvas viene dado por los siguientes parámetros (Tabla 4B):

**Tabla 4B. Parámetros del intervalo de confianza del 95% descritos en la Ecuación 2 para la reforestación de bosques de Colombia.**

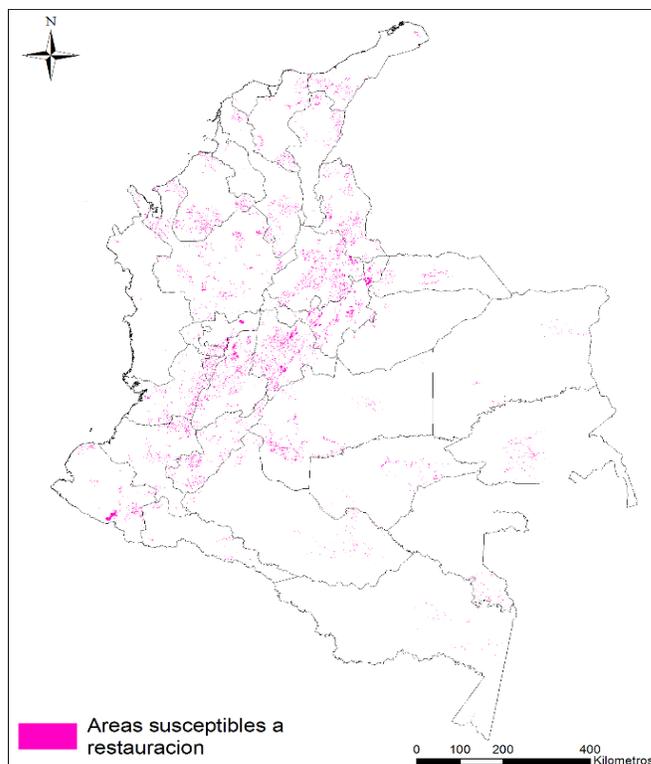
Clima	Parámetros del intervalo de confianza del modelo				
	TINV	$\sigma_{res}$	$a_p$	$\sum a_{res}$	n
<b>Seco</b>	1.99	43.32	9	4474.78	72
<b>Húmedo</b>	1.98	53.41	21	42542.18	106

<sup>10</sup> Calculado a partir de los datos en la revisión de Pain (2012); publicación referenciada en el Anexo 1 de este Manual.

<sup>11</sup> Plan Nacional de Restauración: Recuperación Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas. 2015. Bogotá, D.C. MINAMBIENTE.

**Datos de información geográfica:**

El mapa de áreas de restauración forestal elaborado por el Ministerio de Medioambiente del Gobierno de Colombia para el Plan Nacional de Restauración de 2015 identifica las áreas susceptibles o potenciales a procesos de restauración de bosques en Colombia. De acuerdo con estos datos, todos los Departamentos y CAR de Colombia presentan áreas bajo alguna de las formas de restauración que contempla el Plan Nacional.



**Ilustración 3. Zonificación de las áreas susceptibles a procesos de restauración de bosques (realizado por MADS en 2015).**

**3. Restauración de manglares:****Curvas de crecimiento:**

Dadas sus diferencias en el crecimiento y volumen de biomasa acumulada, la actividad de restauración de manglares contempla la restauración de especies arbóreas y de especies arbustivas<sup>12</sup>, ambas relevantes en las costas colombianas.

Los datos recogidos sobre el crecimiento de ambos tipos de manglar en regiones tropicales costeras produjeron los siguientes parámetros en las curvas de crecimiento de Chapman-Richards (Tabla 5A):

**Tabla 5A. Parámetros de las curvas de crecimiento de Chapman-Richards descritos en la Ecuación 1 para la restauración de manglares de Colombia.**

Tipo	R <sup>2</sup>	Parámetros de la curva de crecimiento			
		MAX	k	m	1/(1-m)
<b>Especies arbóreas</b>	0.56	158	0.073	0.55	2.222
<b>Especies arbustivas</b>	0.53	37	0.111	0.71	3.448

Los intervalos de confianza del 95% de estas curvas viene dado por los siguientes parámetros (Tabla 5B):

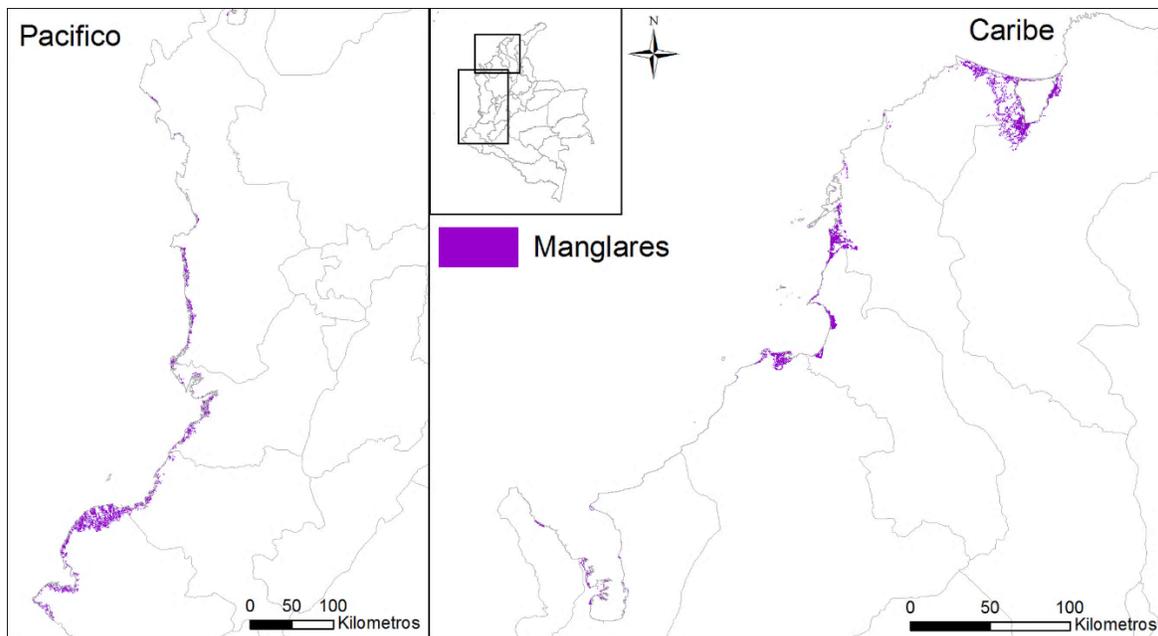
<sup>12</sup> Las especies arbóreas miden 5 m o más de alto en la madurez, y las arbustivas menos de 5 m (2003 IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry).

**Tabla 5B. Parámetros del intervalo de confianza del 95% descritos en la Ecuación 2 para la restauración de manglares de Colombia.**

Tipo	Parámetros del intervalo de confianza del modelo				
	TINV	$\sigma_{res}$	$a_p$	$\sum a_{res}$	n
<b>Especies arbóreas</b>	2.01	54.24	17	18202.50	50
<b>Especies arbustivas</b>	2.16	6.60	15	1169.08	13

***Datos de información geográfica:***

Las zonas costeras con presencia de manglares se definieron según el mapa de 2014 elaborado por INVEMAR en la plataforma CMA2<sup>13</sup>. Todos los Departamentos y CAR de Colombia con costa en el Pacífico o el Caribe presentan áreas con cobertura de manglares.



**Ilustración 4. Cobertura de los manglares en las costas del Pacífico (panel izquierdo) y el Caribe (panel derecho), realizado por INVEMAR en 2016.**

<sup>13</sup> Plataforma y Repositorio CMA2, Caribbean Marine Atlas, coordinada por INVEMAR en Colombia; descargable en <http://www.caribbeanmarineatlas.net/>

## 4. Prácticas agroforestales

### Curvas de crecimiento:

Para las prácticas agroforestales se utilizaron los datos de crecimiento de biomasa compilados para la elaboración de las curvas de crecimiento de Latinoamérica y la región Caribe del *AFOLU Carbon Calculator*<sup>14</sup>, desarrollado por Winrock International (2014).

Las subactividades agroforestales para esta región en el *AFOLU Carbon Calculator* son tres:

1. sistemas silvopastoriles, que combinan árboles con pastos;
2. sistemas multiestrato, los cuales incluyen cultivos de sombra como el café o el cacao; y
3. sistemas de cultivos intercalados, que incluyen las cercas vivas o los árboles frutales.

Los datos sobre el crecimiento de biomasa en la región de Latinoamérica y Caribe bajo estas tres categorías de prácticas agroforestales produjeron los siguientes parámetros en las curvas de crecimiento de Chapman-Richards (Tabla 6A):

**Tabla 6A. Parámetros de las curvas de crecimiento de Chapman-Richards descritos en la Ecuación 1 para las prácticas agroforestales en Colombia.**

Tipo	R <sup>2</sup>	Parámetros de la curva de crecimiento			
		MAX	k	m	1/(1-m)
Cultivo café o cacao	0.27	80	0.224	0.75	4.000
Cercas vivas o Frutales	0.47	73	0.112	0.50	2.000
Sistema silvopastoril	0.57	60	0.171	0.70	3.333

A su vez, los intervalos de confianza del 95% de estas curvas viene dado por los siguientes parámetros (Tabla 6B):

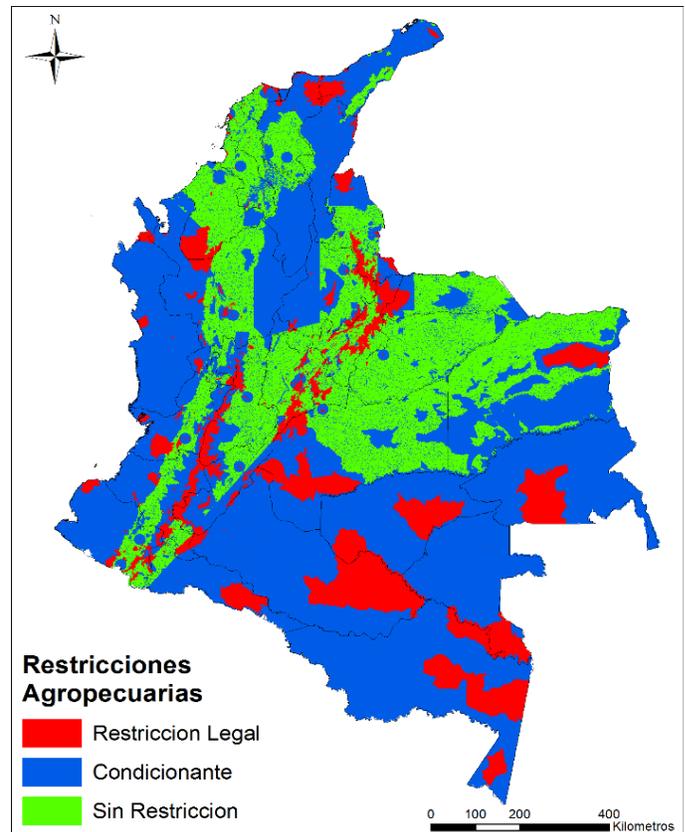
**Tabla 6B. Parámetros del intervalo de confianza del 95% descritos en la Ecuación 2 para las prácticas agroforestales en Colombia.**

Tipo	Parámetros del intervalo de confianza del modelo				
	TINV	$\sigma_{res}$	a <sub>p</sub>	$\sum a_{res}$	n
Cultivo café o cacao	2.05	25.21	9	826.44	27
Cercas vivas o Frutales	2.08	12.95	14	1446.95	21
Sistema silvopastoril	2.05	16.35	9	1492.05	29

<sup>14</sup> <http://afolucarbon.org/>

### *Datos de información geográfica:*

Para localizar las áreas con uso potencial de sistemas y prácticas agroforestales en Colombia se utilizó el mapa de áreas disponibles para actividades agropecuarias y forestales, desarrollado en 2015 por la UPRA, del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Colombia. Este mapa presenta áreas sin restricción, áreas con condicionantes (de producción limitada), y áreas con restricción legal. Las áreas con restricción legal son aquellas en las que las prácticas agroforestales no estaría permitidas, según la legislación vigente colombiana de ordenación territorial. Todos los Departamentos y CAR de Colombia presentan áreas bajo los regímenes sin restricción o condicionantes, con la excepción del Departamento de San Andrés y Providencia.



**Ilustración 5. Zonificación de las regiones de restricciones legales, condicionantes, o sin restricción agropecuarias (mapa realizado por UPRA en 2015).**

## CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS EN LA HERRAMIENTA

### 1. Construcción de escenarios:

El panel de construcción de escenarios presenta cuatro secciones: *Nombre del escenario*, *Selección del escenario*, *Entrada de datos*, y *Datos informativos adicionales*.

**PANEL DE CONFIGURACION DEL ESCENARIO 1**

Nombre del escenario:

---

**SELECCIÓN DEL ESCENARIO**

1.A. Tipo de unidad geografica:       1.B. Nombre de la unidad:

2. Tipo de actividad:

3. Especies o subactividad:       Ciclo de corta recomendado: **14 años**

4. Tipo de bosque:       Si prefiere un ciclo de corta distinto al recomendado, modifíquelo aquí:  años

---

**ENTRADA DE DATOS**

1. Área del proyecto:  hectáreas

2.A. Año de comienzo del escenario:       2.B. Año de finalización del escenario:

Duración del escenario: **25 años**

---

DATOS INFORMATIVOS ADICIONALES DEL MADS	DATOS DEL DANE DE 2010															
Costo (en miles de COP2014) de los 3 primeros años del escenario: <b>5,028,674 mil COP</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Producto de madera</th> <th style="text-align: left;">Factor de conversión*</th> <th style="text-align: left;">Vida media (IPCC 2003)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contrachapada</td> <td>4.5</td> <td>30 años</td> </tr> <tr> <td>Aglomerada</td> <td>1.7</td> <td>20 años</td> </tr> <tr> <td>Aserrada</td> <td>2.2</td> <td>35 años</td> </tr> <tr> <td>Pulpa</td> <td>4.5</td> <td>2 años</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>*ton. de madera necesarias para 1 ton. de producto</small></p>	Producto de madera	Factor de conversión*	Vida media (IPCC 2003)	Contrachapada	4.5	30 años	Aglomerada	1.7	20 años	Aserrada	2.2	35 años	Pulpa	4.5	2 años
Producto de madera	Factor de conversión*	Vida media (IPCC 2003)														
Contrachapada	4.5	30 años														
Aglomerada	1.7	20 años														
Aserrada	2.2	35 años														
Pulpa	4.5	2 años														
Hectáreas bajo el Plan Nacional de Restauración (2015) en: <b>Corpoamazonia</b>																
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación: <input type="text" value="949,524"/> hectáreas</li> <li>• Rehabilitación: <input type="text" value="890,078"/> hectáreas</li> <li>• Restauración: <input type="text" value="709,577"/> hectáreas</li> <li>• Total: <b>2,549,179 hectáreas</b></li> </ul>																

**Ilustración 6. Panel de construcción del escenario.**

**SELECCIÓN DEL ESCENARIO**

1.A. Tipo de unidad geografica:       1.B. Nombre de la unidad:

2. Tipo de actividad:

3. Especies o subactividad:       Ciclo de corta recomendado: **14 años**

4. Tipo de bosque:       Si prefiere un ciclo de corta distinto al recomendado, modifíquelo aquí:  años

**Ilustración 7. Sección de Selección del Escenario en el Panel de Construcción de Escenarios.**

## 2. Entrada de datos:

En este panel el usuario tendrá que introducir en las celdas blancas el área del proyecto del escenario (celda de selección 1), el año de inicio (celda de selección 2.A), y el año de finalización (celda de selección 2.B).

ENTRADA DE DATOS	
1. Área del proyecto:	<input type="text" value="900"/> hectáreas
2.A. Año de comienzo del escenario:	<input type="text" value="2020"/>
2.B. Año de finalización del escenario:	<input type="text" value="2045"/>
Duración del escenario: 25 años	

**Ilustración 8. Sección de Entrada de Datos en el Panel de Construcción de Escenarios.**

## 3. Datos Informativos Adicionales:

La herramienta no permite al usuario hacer modificaciones en esta sección. Si se requiere actualizar o modificar los datos que la sección muestra, es necesario desbloquear la página y descubrir la pestaña 'datos' oculta, siguiendo las instrucciones descritas anteriormente.

El lado izquierdo de esta sección muestra datos informativos del MADS, consistentes en costos económicos de realizar el escenario creado y en las hectáreas que el Departamento o CAR elegido destina, de acuerdo con el Plan Nacional de Restauración de 2015 de Colombia<sup>15</sup>, a las acciones de Recuperación, Rehabilitación, Restauración, y el Total de las tres. Los valores cambian en función al Departamento o CAR elegido y a los datos introducidos en la sección *Entrada de Datos*.

DATOS INFORMATIVOS ADICIONALES DEL MADS	
Costo (en miles de COP2014) de los 3 primeros años del escenario:	2,347,783 mil COP
Hectáreas bajo el Plan Nacional de Restauración (2015) en:	<b>Santander</b>
• Recuperación:	<input type="text" value="525,278"/> hectáreas
• Rehabilitación:	<input type="text" value="516,577"/> hectáreas
• Restauración:	<input type="text" value="360,103"/> hectáreas
• Total:	1,401,959 hectáreas

**Ilustración 9. Sección de Datos Informativos Adicionales en el Panel de Construcción de Escenarios.**

El lado derecho de esta sección se presentan dos tipos de información, en función de si el usuario seleccionó las actividades de *Reforestación comercial/Plantación* o de *Restauración de bosques* en la sección *Selección de Escenario*:

<sup>15</sup> Plan Nacional de Restauración: Recuperación Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas. 2015. Bogotá, D.C. MINAMBIENTE.

- Si se seleccionó la actividad de *Reforestación comercial/Plantación*, la herramienta mostrará en el lado derecho de esta sección datos informativos del DANE de 2010 sobre (1) factores de conversión de diversos productos de madera (es decir, las toneladas de madera necesarias para obtener una tonelada de cada producto de madera), y (2) sobre la vida media de dichos productos según el IPCC<sup>16</sup>.

DATOS INFORMATIVOS ADICIONALES DEL MADS		DATOS DEL DANE DE 2010		
Costo (en miles de COP2014) de los 3 primeros años del escenario:	5,028,674 mil COP	Producto de madera	Factor de conversión*	Vida media (IPCC 2003)
Hectáreas bajo el Plan Nacional de Restauración (2015) en:	Corpoamazonia	Contrachapada	4.5	30 años
• Recuperación:	949,524 hectáreas	Aglomerada	1.7	20 años
• Rehabilitación:	890,078 hectáreas	Aserrada	2.2	35 años
• Restauración:	709,577 hectáreas	Pulpa	4.5	2 años
• Total:	2,549,179 hectáreas	*ton. de madera necesarias para 1 ton. de producto		

**Ilustración 10. Datos informativos del DANE de 2010 al crear un escenario de Reforestación Comercial/Plantaciones.**

- Si se seleccionó la actividad de *Restauración de bosques*, la herramienta mostrará en el lado derecho de esta sección la lista de Parques Nacionales Naturales<sup>17</sup>, del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (UNAP) de Colombia, que se encuentran dentro del Departamento o CAR elegido en el escenario.

DATOS INFORMATIVOS ADICIONALES DEL MADS		PARQUES NACIONALES EN LA REGIÓN	
Costo (en miles de COP2014) de los 3 primeros años del escenario:	10,297,772 mil COP	Alto Fragua Indi Wasi	Serranía de Chiribiquete
Hectáreas bajo el Plan Nacional de Restauración (2015) en:	Corpoamazonia	Amacayacu	La Playa
• Recuperación:	949,524 hectáreas	Cahuinari	Yaigojé Apaporis
• Rehabilitación:	890,078 hectáreas	Cordillera de los Picachos	
• Restauración:	709,577 hectáreas	Serranía de los Churumbelos	
• Total:	2,549,179 hectáreas	P. Medicinales Orito Ingi Ande	
		Rio Pure	

**Ilustración 11. Datos informativos de Parques Nacionales Naturales en la región al crear un escenario de Restauración de bosques.**

<sup>16</sup> IPCC Report on Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Chapter 3: LUCF Sector Good Practice Guidance, Table 3a.1.3, default values. 2003. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html)

<sup>17</sup><http://mapas.parquesnacionales.gov.co/>

## VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS EN LA HERRAMIENTA

### 1. Resultados del escenario:

Los paneles de resultados de los escenarios se encuentran junto a los paneles de construcción de escenarios, en las cuatro pestañas de las páginas del libro de excel en azul oscuro llamadas *Escenarios 1 al 8*, *Escenarios 9 al 16*, *Escenarios 17 al 24*, *Escenarios 25 al 32*.



**Ilustración 12. Panel de resultados del escenario creado.**

La herramienta no permite al usuario introducir datos ni realizar modificaciones en esta sección; los valores que aparecen en ella son cálculos automáticos que la herramienta realiza en función de los parámetros introducidos por el usuario en las secciones de *Selección de Escenario* y *Entrada de Datos* del *Panel de Configuración del Escenario* correspondiente.

La visualización de los resultados del escenario tiene tres partes: (1) una sección doble que presenta numéricamente las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e capturadas bajo este escenario, el intervalo de confianza del 95% asociado a ese valor total, y las tasas promedio por año y por hectárea de ese escenario; (2) una tabla vertical que muestra las toneladas de CO<sub>2</sub>e cumulativas capturadas en cada año del escenario creado; y (3)

un gráfico que permite visualizar las toneladas de CO<sub>2e</sub> capturadas a lo largo de los años que dura el escenario.

## 2. Visualización de los resultados de todos los escenarios creados:

Cada escenario que el usuario crea queda además recogido en las páginas del libro de excel en azul claro, llamadas *Resumen de los resultados* y *Gráficos de los resultados*:

Escenario	Nombre del Escenario	Región	Actividad	Especies o subactividad	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Atlan-mangr-ab	Atlántico	Restauración de manglares	Especies arbóreas	0	2,445	9,992	22,124	38,111	57,221	78,778
2	Santand-agrof-silv	Santander	Prácticas agroforestales	Sistema silvopastoril	0	744	5,274	15,056	29,700	47,981	
3	Boyac-Caucho-30	Boyacá	Reforestación comercial/Plantación	Caucho	0	4,507	15,462	30,560	48,221	67,299	
4	CRC-frut-25	CRC	Prácticas agroforestales	Cercas vivas o Frutales	0	18	356	1,873	5,656	12,630	23,330
5	CorAmaz-Rest-all	Corpoamazonia	Restauración de bosques	Activa	0	0	0	9,724	37,354	76,784	122,464
6	CorAmaz-Teca-25	Corpoamazonia	Reforestación comercial/Plantación	Teca	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL DE TODOS</b>					<b>0</b>	<b>2,463</b>	<b>15,599</b>	<b>57,456</b>	<b>138,789</b>	<b>250,803</b>	<b>384,333</b>

Ilustración 6. Tabla resumen de todos los escenarios creados, en la página 'Resumen de los resultados'.

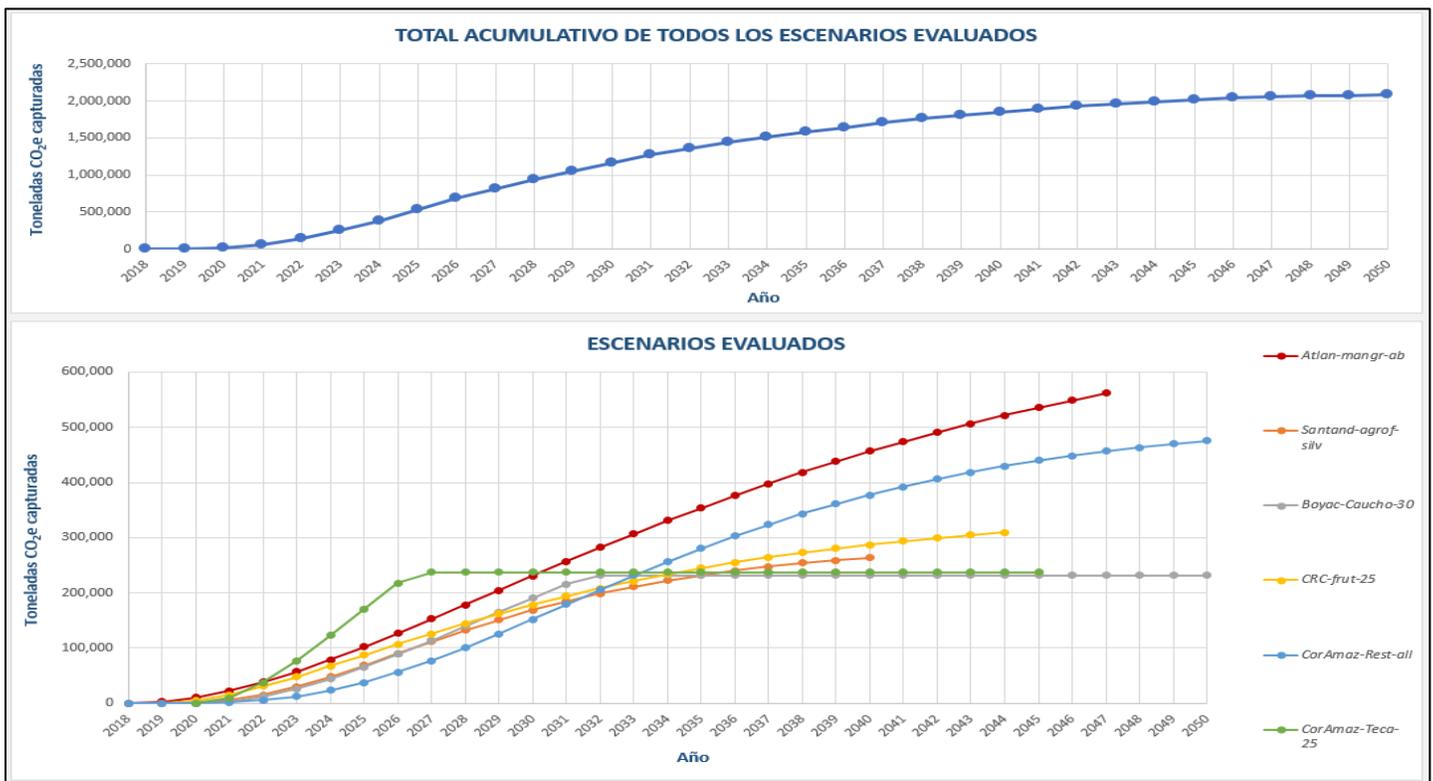


Ilustración 14. Gráficos de visualización de los resultados de todos los escenarios creados, en página 'Gráficos de los resultados'.

## ANEXO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO

- Alongi, D. 2014. "Carbon Sequestration in Mangrove Forests." *Carbon Management* 3: 313–322.
- Amézquita, M.C., M. Ibrahim, P. Buurman, and E. Amézquita. 2005. "Carbon sequestration in pastures, silvopastoral systems and forests in four regions of the Latin American Tropics." *J. Sustain. For.* 21: 21–49.
- Andrade, H.J., R. Brook, and M. Ibrahim. 2008. "Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica." *Plant Soil* 308: 11–22.
- Antle, J.M., J.J. Stoorvogel, and R.O. Valdivia. 2007. "Assessing the economic impacts of agricultural carbon sequestration, terraces and agroforestry in the Peruvian Andes." *Agric. Ecosyst. Environ.* 122: 435–445.
- Bannister, M.E., and P.K.R. Nair. 1990. "Alley-cropping as a sustainable technology for the hillsides of Haiti: experience of an agroforestry outreach project." *American Journal of Alternative Agriculture* 5: 51–59.
- Barreto, A.B.P., E.F. Gama-Rodrigues, A.C. Gama-Rodrigues, A.G. Fontes, J.C. Polidoro, M.K.S. Moc, R.C.R. Machado, and V.C. Baligar. 2011. "Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil." *Agroforest. Syst.* 81: 213–220.
- Cairns, M.A., S. Brown, E.H. Helmer, and G. A. Baumgardner. 1997. "Root Biomass Allocation in the World's Upland Forests." *Oecologia* 111: 1–11.
- Camargo, J.C., J.A. Rodríguez, and A. M. Arango. 2010. "Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia." *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 86–94.
- Chen, G., N.F.Y. Tam, and Y. Ye. 2012. "Spatial and seasonal variations of atmospheric N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics." *Soil Biology and Biochemistry.* 48: 175–181.
- Dosa, E.L., E.C. Fernandes, W.S. Reid, and K. Ezui. 2008. "Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open grown and a shaded coffee plantation." *Agroforest. Syst.* 72: 103–115.
- Faber-Langendoen, D. 1992. "Ecological constraints on rain forest management at Bajo Calima, western Colombia." *Forest Ecology and Management* 53: 213–244.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department. 2001. "Forest Plantations Thematic Papers: Mean Annual Volume Increment of Selected Industrial Forest Plantation Species" L. Ugalde and O. Perez, Eds. D. J. Mead. Working Paper FO/1. FAO, Rome, Italy. 27pp.
- Farage, P.A. 2007. "The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America - A modelling approach." *Soil and Tillage Research* 94: 457–472.
- Fonseca, W., F.E. Alice, and José María Rey-Benayas. 2012. "Carbon Accumulation in Aboveground and Belowground Biomass and Soil of Different Age Native Forest Plantations in the Humid Tropical Lowlands of Costa Rica." *New Forests* 43: 197–211.
-

- Gama-Rodrigues, E.F., A.C. Gama-Rodrigues, and PKR Nair. 2011. "Soil carbon sequestration in cacao agroforestry systems: a case study from Bahia, Brazil." *In: Carbon Sequestration in Agroforestry Systems* (Kumar B.M. and Nair P.K.R., eds) Springer, The Netherlands, pp. 85–99.
- Gama-Rodrigues, E.F., P.K.R. Nair, V.D. Nair, A.V. Gama-Rodrigues, V.C. Baligar, and R.C.R. Machado. 2010. "Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil." *Environ. Manage.* 45: 274–283.
- Garcia-Oliva, F., and R. Masera. 2004. "Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in land-use, land-use change, and forestry (LULUCF) projects under the Kyoto Protocol." *Climatic Change* 65: 347–364.
- Jha, K. Kumar. 2015. "Carbon Storage and Sequestration Rate Assessment and Allometric Model Development in Young Teak Plantations of Tropical Moist Deciduous Forest, India." *Journal of Forestry Research* 26: 589–604.
- Jiménez, J.J., R. Lal, H.A. Leblanc, and R.O. Russo. 2007. "Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica." *Forest Ecology and Management* 241: 134–144.
- Johnson, C. et al. 2001. "Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia." *Forest Ecology and Management* 147: 245–252.
- Kairo, J.G., J. Bosire, J. Langat, B. Kirui, and N. Koedam. 2009. "Allometry and Biomass Distribution in Replanted Mangrove Plantations at Gazi Bay, Kenya." *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19: S63–S69.
- Kathiresan, K., et al. 2013. "Carbon Sequestration potential of *Rhizophora mucronate* and *Avicennia marina* as influenced by age, season, growth and sediment characteristics in southeast coast of India. Coastal Conservation Planning and Management. DOI 10.1007/s11852-013-0236-5
- Kraenzel, M., A. Castillo, T. Moore, and C. Potvin. 2003. "Carbon Storage of Harvest-Age Teak (*Tectona Grandis*) Plantations, Panama." *Forest Ecology and Management* 173: 213–25.
- Lobna, Z., H. Chaar, A. Khaldi, B. Hanchi, F. Mouillot, and F. Gharbi. 2016. "Estimate of biomass and carbon pools in disturbed and undisturbed oak forests in Tunisia." *Forest Systems* 25.
- Lovelock, C.E., B.K. Sorrell, N. Hancock, Q. Hua, and A. Swales. 2010. "Mangrove Forest and Soil Development on a Rapidly Accreting Shore in New Zealand." *Ecosystems* 13: 437–451.
- Lucas, C.M., J. Schongart, P. Sheikh, F. Wittmann, M.T.F. Piedade, D.G. McGrath. 2014. "Effectes of land-use and hydroperiod on aboveground biomass and productivity of secondary Amazonian floodplain forests." *Forest Ecology and Management* 319: 116–127.
- Lugo, Ariel E. 1992. "Comparison of Tropical Tree Plantations with Secondary Forests of Similar Age." *Ecological Monographs* 62: 1–41.
- Lugo, A.E., D. Wang, and F.H. Bormann. 1990. "A Comparative Analysis of Biomass Production in Five Tropical Tree Species." *Forest Ecology and Management Elsevier Science Publishers B.V* 31: 153–66.
- Madari, B., P. Machado, E. Torres, A.G. de Andrade, and L.I.O. Valencia. 2005. "No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil." *Soil Tillage Res.* 80: 185–200.
-

- Marin-Spiotta, E., D.F. Cusack, R. Ostertag, and W.L. Silver. 2008. "Trends in Aboveground and Belowground Carbon with Forest Regrowth After Agricultural Abandonment in the Neotropics." In *Post-Agricultural Succession in the Neotropics*, 22–72.
- Mokany, K., R.J. Raison, A.S. Prokushkin. 2006. "Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes." *Global Change Biology* 12: 84–96.
- Nair, P.K.R., R.G. Tonucci, R. Garcia, and V.D. Nair. 2011. "Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado)." In: *Carbon Sequestration in Agroforest. Syst.* (Kumar, B.M., and Nair P.K.R., Eds). Springer, The Netherlands.
- Oelbermann, M., R.P. Voroney, N.V. Thevathasan, A.M. Gordon, D.C.L. Kass, and A.M. Schlonvoigt. 2006. "Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system." *Agroforest. Syst.* 68: 27–36.
- Oelbermann, M.V. 2004. "Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems a review with examples from Costa Rica and southern Canada." *Agri. Ecosyst. Environ.* 104: 359–377.
- Ogle, S.M., F.J. Breidt, and K. Paustian. 2005. "Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions." *Biogeochemistry* 72: 87–121.
- Pain, R. 2012. "The effect of active and passive restoration strategies on the species composition of a hardwood forest." [https://wp.stolaf.edu/naturallands/files/2015/08/Pain\\_2012.pdf](https://wp.stolaf.edu/naturallands/files/2015/08/Pain_2012.pdf)
- Parrotta, J.A. 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 124: 45–77.
- Pienaar, L.V., K.J. Turnbull. 1973. "The Chapman-Richards Generalization of Von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even-Aged Stands." *Forest Science* 19: 2–22.
- Redondo-Brenes, A. 2007. "Growth, carbon sequestration, and management of native tree plantations in humid regions of Costa Rica." *New Forests* 34: 253–268.
- Redondo-Brenes, A., and F. Montagnini. 2006. "Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica." *Forest Ecology and Management* 232: 168–178.
- Ren H., H. Chen, Z. Li, and W. Han. 2010. "Biomass Accumulation and Carbon Storage of Four Different Aged *Sonneratia Apetala* Plantations in Southern China." *Plant and Soil* 327: 279–291.
- Salmo III, S.G., C. Lovelock, and N.C. Duke. 2013. "Vegetation and Soil Characteristics as Indicators of Restoration Trajectories in Restored Mangroves." *Hydrobiologia* 720: 1–18.
- Schroth, G., S.A. D'Angelo, W.G. Teixeira, D. Haag, and R. Lieberei. 2002. "Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years." *Forest Ecology and Management* 163: 131–150.
-

- Sherman, R.E., T.J. Fahey, and P. Martinez. 2003. "Spatial Patterns of Biomass and Aboveground Net Primary Productivity in a Mangrove Ecosystem in the Dominican Republic." *Ecosystems* 6: 384–398.
- Silver, W.L., L.M. Kueppers, A.E. Lugo, R. Ostertag, and V. Matzek. 2004. "Carbon Sequestration and Plant Community Dynamics Following Reforestation of Tropical Pasture." *Ecological Applications* 14: 1115–27.
- Spracklen, D.V., and R. Righelato. 2016. "Carbon storage and sequestration of re-growing montane forests in southern Ecuador." *Forest Ecology and Management* 364: 139–144.
- Stanley, W.G., and F. Montagnini. 1999. "Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica." *Forest Ecology and Management* 113: 91–103.
- Tapia-Coral, S.C., F.J. Luizao, E. Wandelli, and E.C.M. Fernandes. 2005. "Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil." *Agroforest. Syst.* 65: 33–42.
- del Valle, J.I., H.I. Restrepo, and M.M. Londoño. 2011. "Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia." *Rev. Biol. Trop.* 59: 1337–1358.
- Winrock International. 2014. "AFOLU Carbon Calculator. The Agroforestry Tool: Underlying Data and Methods". Prepared by Winrock International under the Cooperative Agreement No. EEM-A-00-06-00024-00.
- Yepes, A.P., J.I. del Valle, S.L. Jaramillo, and S.A. Orrego. 2010. "Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia)." *Rev. Biol. Trop.* 58: 427–445.
-