



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

Memoria de cálculo

Inventario Nacional de Bosque
de El Salvador 2017-2018





MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

Memoria de cálculo

Inventario Nacional de Bosque
de El Salvador 2017-2018



Memoria de cálculo del Inventario Nacional de Bosques

Fernando Andrés López Larreynaga
Ministro

Jorge Quezada
Punto Focal REDD+ del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Coordinación
Edgar Noel Ascencio, coordinador del Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador para el Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques (FCPB).

Elaboración
Constan Amurrio García, coordinador del Inventario Nacional de Bosque de El Salvador (INB), Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador para el Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques (FCPB) de parte de la consultora Vielca Ingenieros, S.A.
Amílcar Antonio López Melara, coordinador del Inventario Nacional de Bosque de El Salvador (INB), Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador para el Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques (FCPB).

Contribuciones técnicas
Abner Jiménez, responsable de Componente III del Programa Regional REDD/CCAD-GIZ; Andrew Lister, investigador forestal del US Forest Service (USFS); Reynaldo López, exdocente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES).

Primera edición, enero 2021

Este documento fue elaborado con financiamiento del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCCB), administrado por el Banco Mundial (BM), en el marco del Proyecto: Preparación de la Propuesta Readiness de El Salvador para el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques.

Este documento puede ser reproducido todo o en parte, reconociendo los derechos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Kilómetro 5 ½ carretera a Santa Tecla, calle y colonia Las Mercedes, Edificios MARN, instalaciones ISTA, San Salvador, El Salvador, Centroamérica.
Teléfono: (+503) 2132-6276
Sitio web: www.marn.gob.sv
Correo electrónico: medioambiente@marn.gob.sv
Facebook: www.facebook.com/MedioAmbienteSLV/
Twitter: @MedioAmbienteSV
Youtube: youtube.com/marnsv
Instagram: @medioambientesv

Contenido

Listado de Tablas	6
Listado de Figuras	7
Siglas y acrónimos	7
Abreviaturas	8
Simbología y fórmulas	9
Introducción	13
Agregación estadística de las variables a nivel de estrato y país	21
Cálculo de variables del INB	26
Cálculo de variables forestales	26
Cálculo de los componentes del carbono	56
Cálculo de variables ambientales	68
Metodologías cartográficas	78
Referencias bibliográficas	85
Glosario	88

Listado de Tablas

Tabla 1	Variables consideradas en la UMBA1.
Tabla 2	Variables consideradas en la ATTBA1 del bosque general.
Tabla 3	Variables consideradas en la UMBA2 del bosque general.
Tabla 4	Variables consideradas en la UMBA2 para los cafetales bajo sombra.
Tabla 5	Variables consideradas en la UMBA1 para el estrato de bosque salado.
Tabla 6	Variables de los árboles tipo a medir en bosque salado.
Tabla 7	Factor de expansión a la hectárea para UMBA1 en los diferentes tipos de parcelas.
Tabla 8	Factores de expansión a la hectárea para UMBA2 en los diferentes tipos de parcelas.
Tabla 9	Ecuaciones testeadas para el ajuste altura – diámetro.
Tabla 10	Ecuaciones empleadas para el cálculo de la relación altura – diámetro.
Tabla 11	Ajuste altura – diámetro del bosque secundario.
Tabla 12	Ajuste altura – diámetro para las especies de coníferas del estrato bosque de coníferas.
Tabla 13	Ajuste altura – diámetro para las especies latifoliadas del estrato bosque de coníferas.
Tabla 14	Ajuste altura – diámetro para el cafetal bajo sombra.
Tabla 15	Ajuste altura – diámetro del bosque salado para especies con raíces fúlcreas.
Tabla 16	Ajuste altura – diámetro del bosque salado para las especies con raíces no fúlcreas.
Tabla 17	Factores de forma para el cálculo del volumen en el estrato de coníferas.
Tabla 18	Factores de forma para el cálculo del volumen en el estrato de bosque salado.
Tabla 19	Valores de gravedad específica para el cálculo de biomasa en bosque latifoliado.
Tabla 20	Porcentaje de copa respecto de la biomasa total aérea.
Tabla 21	Ecuaciones de cálculo de la biomasa total aérea para el manglar.

Tabla 22	Densidad media de la madera de diferentes especies de manglar.
Tabla 23	Definiciones de los depósitos de carbono utilizados en AFOLU para cada categoría del uso de la tierra.
Tabla 24	Volúmenes de los cilindros empleados.
Tabla 25	Factores de expansión a la hectárea para la regeneración.
Tabla 26	Factores de expansión a la hectárea para las herbáceas.
Tabla 27	Factores de expansión a la hectárea para la parcela de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes.
Tabla 28	Instituciones que disponen de inmuebles propiedades del Estado.

Listado de Figuras

Figura 1	Esquema del sistema integral de gestión de datos.
Figura 2	Combinaciones de estratos de vegetación cartográfica y real.
Figura 3	Ejemplo de combinación de estratos de vegetación para un mapa de usos 100 % preciso.
Figura 4	Especies seleccionadas para el cálculo de su volumen comercial.
Figura 5	Componentes del carbono.
Figura 6	Métodos de recolección necesarios para poder calcular el carbono del suelo.

Siglas y acrónimos

AFOLU	<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i>
ANOVA	<i>Analysis of variance</i>
ANP	Áreas Naturales Protegidas
ATTBA1	Unidad de Árboles Tipo y Tocones de Biomasa Aérea
BC	Bosque de coníferas
BM	Banco Mundial
BL	Bosque latifoliado

BMM	Biomasa de madera muerta
BSA	Bosque salado
CBS	Café bajo sombra
DOM	<i>Dead Organic Matter</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FCC	Fracción de cabida cubierta
FCCB	Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques
INB	Inventario Nacional de Bosque
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISTA	Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria
ISTU	Instituto Salvadoreño de Turismo

Abreviaturas

Etc.	Etcétera
Ej.	Ejemplo
Eds.	Editores
<i>et al.</i>	«y otros»
Núm.	Número
s.f.	Sin fecha

Simbología y fórmulas

'	Minutos
"	Pulgadas
"	Segundos
%	Porcentaje
cm	Centímetros
CA	Cálculo de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
D	Daño
DAB	Diámetro a la base
DAP	Diámetro a la altura del pecho
°	Grados
E	Este
g	Gramos
GE	Gravedad específica
g/cm ³	Gramos por centímetros cúbicos
ha	Héctarea
LD	Ligeramente Daño
m	Metro
m ²	Metros cuadrados
M	Media
mm	Milímetro
ml	Mililitro
Nº	Número
N	Norte
O	Oeste
Phs	Peso húmedo de la submuestra tomada en campo
PI	Riesgo importante
PIN	Riesgo Intolerable
Pss	Peso seco de submuestra
PT	Riesgo Trivial

R ²	Porcentaje de variación de la variable de respuesta
RTO	Riesgo Tolerable
X	Eje «X»
Y	Eje «Y»

$$(1) \bar{Y}_d = \frac{\sum_i^n y_{id}}{n}$$

Media de la variable estudiada

$$(2) \widehat{Y}_d = A \cdot \bar{y}_d$$

Media total de la variable estudiada

$$(3) v(\bar{Y}_d) = \frac{s^2}{n} = \frac{\sum_i^n y_{id}^2 - n\bar{y}_d^2}{n(n-1)}$$

Varianza de la media

$$(4) v(\widehat{Y}_d) = A^2 \cdot v(\bar{Y}_d)$$

Varianza total de la población

$$(5) \bar{Y}_d \pm \mathcal{E} = \bar{Y}_d \pm t \cdot \sqrt{v(\widehat{Y}_d)}$$

Intervalo de confianza para la media

$$(6) D_{promedio} = \frac{\sum d_i}{n}$$

Diámetro medio aritmético de los árboles

$$(7) D_{cuadrático} = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}}$$

Diámetro medio cuadrático

$$(8) \text{ Altura promedio masa forestal} = \frac{\sum_{j=1}^k N_j \cdot h_j}{N}$$

Cálculo de la altura media total promedio de la masa forestal para los árboles

$$(9) SC_i = N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2$$

Cálculo de la superficie de copa o fracción de cabida cubierta

$$(10) SC = \sum N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2$$

Superficie de copa por hectárea o superficie de copa como valor total por hectárea

$$(11) FCC = \frac{\sum N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2}{10,000} \cdot d_{ci}^2$$

Superficie de copa o cabida cubierta

$$(12) g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4}$$

Cálculo del área basal de un árbol

$$(13) e_i = Y_i - y_i$$

Valor de la altura real medido con el valor calculado (obtención de residuos)

$$(14) \text{ altura (m)} = 1.3 + \frac{DAP}{(1.21914 + 0.0446 \cdot DAP)}$$

Cálculo ajuste de las alturas de los árboles en estrato de bosque latifoliado

$$(15) \text{ altura (m)} = -0.0015 \cdot dap^2 + 0.3499 \cdot DAP + 4.8565$$

Cálculo ajuste altura – diámetro para las especies de coníferas

$$(16) \text{ altura (m)} = 1.3 + \frac{DAP}{1.46490 + 0.041796 \cdot DAP}$$

Cálculo ajuste altura – diámetro para las especies latifoliadas del estrato bosque de coníferas

$$(17) \text{ altura (m)} = 1.3 + \frac{\text{DAP}}{1.43025 + 0.04405 \cdot \text{DAP}}$$

Cálculo ajuste altura – diámetro para el cafetal bajo sombra

$$(18) \text{ altura (m)} = -0.0056 \cdot \text{DAP}^2 + 0.7284 \cdot \text{DAP} + 1.9545$$

Cálculo ajuste altura – diámetro del bosque salado para especies con raíces fúlcreas

$$(19) \text{ altura (m)} = 3.886 \cdot \ln(\text{DAP}) - 0.5259$$

Cálculo ajuste altura – diámetro del bosque salado para las especies con raíces no fúlcreas

$$(20) V = AB \cdot \text{altura} \cdot f$$

Cálculo del volumen en el bosque latifoliado

$$(21) \text{ Biomasa} = 0.0509 \cdot \rho \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{altura}$$

Cálculo de la biomasa área por árbol bosque latifoliado. Ecuación alométrica de Chave *et al*

$$(22) \ln \text{ Biomasa} = -2.18352102 + 0.85091168 \cdot \ln (\text{DAP}^2 \cdot H)$$

Cálculo de la biomasa en coníferas. Ecuación alométrica empleada ha sido la de Alberto y Elvir (2005)

$$(23) \text{ Biomasa} = 0.5266 \cdot \text{dap}^{1.7712}$$

Cálculo de biomasa en Cupressus lusitánica en kg. Ecuación de la FAO (2013)

$$(24) \text{ Biomasa} = 0.0509 \cdot \rho \cdot \text{DAP} \cdot \text{altura}$$

Cálculo de la biomasa por árbol en kg del cafetal bajo sombra. Ecuación alométrica de Chave *et al*

$$(25) \text{ Biomasa (tocones)} = 0.1124 \cdot (\text{DAB}^2 \cdot h)^{0.5435}$$

Cálculo de la biomasa aérea kg para tocones

$$(26) \text{ Biomasa (retoños)} = 0.1955 \cdot \text{DAB}^{1.648}$$

Biomasa aérea de los retoños

$$(27) C_A = B \cdot 0.47$$

Cálculo del carbono aéreo

$$(28) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

Cálculo para dióxido de carbono fijado

$$(29) V_{\text{tocón vivo}} = \pi \cdot (\text{diametro}/2)^2 \cdot \text{altura}$$

Volúmen del tocón

$$(30) BS = e^{-1.0587 + 0.8836 \cdot \ln(BA)}$$

Biomasa subterránea en toneladas por hectárea

$$(31) BS = 0.199 \cdot GE^{0.899} \cdot dap^{2.22}$$

Biomasa subterránea en kg por árbol en bosque salado

$$(32) C_A = B \cdot 0.47$$

Cálculo del carbono para bosque general o bosque salado

$$(33) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

Cálculo para dióxido de carbono fijado

$$(34) B \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\frac{Phbt}{1 + \left(\frac{CH}{100} \right)} \right) \cdot \left(\frac{1}{100} \right)$$

Cálculo de la biomasa en hojarasca tonelada por hectárea

$$(35) ch = \frac{Phs - Pss}{Pss} \cdot 100$$

Cálculo para el contenido de humedad

$$(36) C \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\frac{\%C}{100} \right) \cdot B \left(\frac{t}{ha} \right)$$

Cálculo para obtención del carbono toneladas por hectáreas

$$(37) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

Cálculo para dióxido de carbono fijado

$$(38) V = \frac{\pi^2}{8.L} \cdot \sum d^2$$

Cálculo de volúmen (m³/ha) de la madera muerta

$$(39) GEMM = 1.17 \cdot (GEArb) - 0.21$$

Fórmula para las gravedades específicas. Maderas sólidas

$$(40) GEMM = 1.17 \cdot (GEArb) - 0.31$$

Fórmula para las gravedades específicas. Maderas intermedias

$$(41) C_{\text{suelo}} = 10.000 \cdot D_a \cdot P \cdot (\%CO/100)$$

Cálculo del carbono del suelo

$$(42) C_{\text{suelo}} (\text{mg/ha}) = \text{densidad aparente (g/cm}^3) \cdot \text{intervalo muestreo (cm)} \cdot \%C$$

Cálculo de las reservas de carbono en el suelo en bosque salado

$$(43) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

Cálculo para dióxido de carbono fijado

$$(44) D_{BP} = 1 - (N_{\text{máx}}/N)$$

Cálculo de Índice de diversidad de Berger - Parker

$$(45) D_{MG} = \frac{(S-1)}{(\ln N)}$$

Cálculo de Índice de diversidad de Margalef

$$(46) D_{ME} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Cálculo de Índice de diversidad de Menhinick

$$(47) D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^s ni \cdot (ni-1)}{N \cdot (N-1)}$$

Cálculo de Índice de diversidad de Simpson

$$(48) H' = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$$

Cálculo de Índice de diversidad de Shannon - Wiener

$$(49) E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Cálculo de Índice de equidad de Shannon - Wiener

Introducción

A la hora de plantear el procesamiento de un volumen de datos tan grande, como el generado por el INB, se decidió desarrollar un sistema integral de gestión de datos que permitiese un tratamiento de datos ágil y flexible. Este sistema está formado por los siguientes componentes:

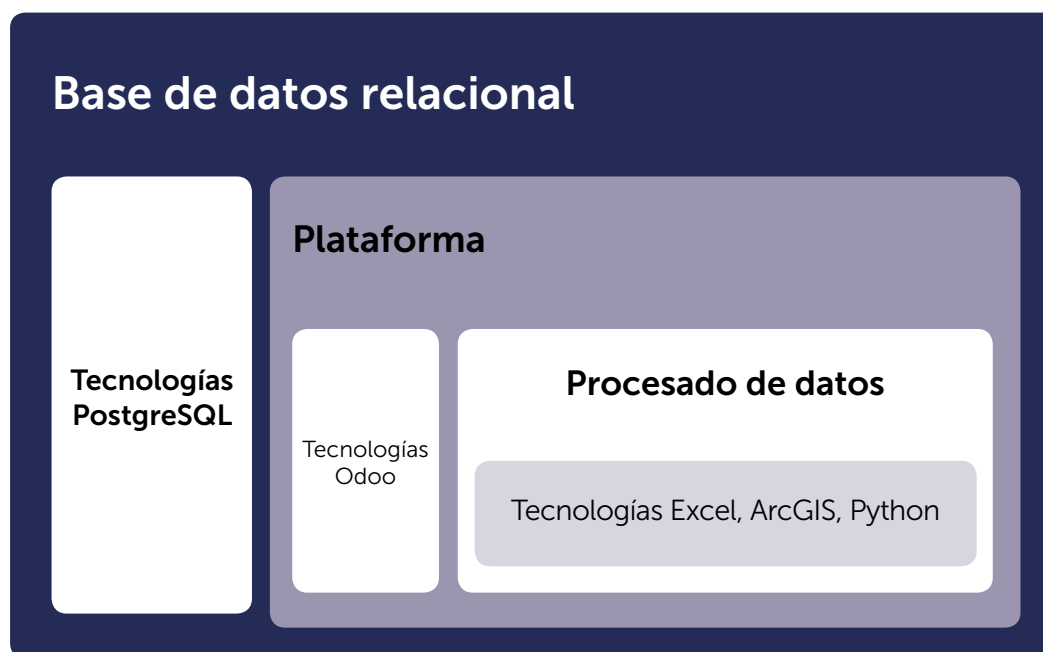


Figura 1. Esquema del sistema integral de gestión de datos.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

El componente sobre el que descansa todo el sistema es la base de datos, donde están introducidos los levantamientos de la totalidad de las parcelas.

La tecnología empleada en esta base de datos es PostgreSQL, base relacional orientada a objetos y libre. Esta tecnología, ampliamente consolidada y empleada a nivel mundial, permite el acceso concurrente a los datos (elemento clave para permitir el trabajo coordinado de los diferentes miembros participantes en el proceso de planificación, digitación, revisión, validación, evaluación, finalización y entrega

de los datos), así como, una gran versatilidad y rapidez en la realización de consultas complejas, lo que facilita el procesado y análisis. Los datos se almacenan en Tablas según una estructura de datos.

Dichos datos se pueden exportar a Excel o Access y articularlos en las correspondientes plantillas. La base de datos relacional se gestiona desde el software dBeaver.

Con este sistema, una parte importante del procesamiento se ha realizado directamente por consultas SQL a la base de datos. En caso de realización de procesos más complejos, se han complementado las consultas con las siguientes tecnologías:

- ✓ Excel con el complemento XLSTAT para el análisis estadístico de errores y la obtención de las relaciones: altura – diámetro, cálculos ANOVA, siglas en inglés de *Analysis of variance*, entre otros.
- ✓ Python para el desarrollo de los algoritmos de ubicación de las parcelas y otros cálculos.
- ✓ El paquete ArcGIS para el análisis espacial, en sentido amplio. Las técnicas geoestadísticas para la interpolación de variables se han realizado con la extensión *Geostatistical Analyst*. También se ha implementado un modelo con *Model Builder* para facilitar la ubicación de parcelas de la fase II, así como, para toda la gestión del componente geoespacial en cuanto a cartografía de campo, reubicaciones de parcela, edición de los mapas, etc.

En este punto se resume el procesamiento de datos aplicado para el cálculo de cada variable. Se ha redactado una memoria de cálculo que se puede consultar para obtener más información sobre cómo se han realizado los cálculos.

El cálculo de las variables forestales y componentes de carbono de los árboles con DAP (Diámetro a la altura del pecho), superior a 10 cm requiere considerar

dos unidades de muestreo: por un lado, la Unidad de Muestreo de Biomasa Aérea (UMBA1), y por otro la Unidad de Árboles Tipo y Tocones de Biomasa Aérea (ATTBA1). En la UMBA1 se obtienen los DAP. La ATTBA1 selecciona 10 árboles representativos de la UMBA1 para medir las alturas totales y comerciales, así como, los radios de copa y los tocones. Con esos datos se puede realizar el proceso de cálculo para la obtención de las distintas variables, tal y como se explicará aquí.

El tamaño de la UMBA1 depende del tipo de estrato, encontrando estos casos:

- ✓ En el caso de los estratos de bosque perennifolio maduro, bosque secundario, bosque caducifolio/semicaducifolio maduro (agrupados los tres en el estrato de bosque latifoliado), y bosque de coníferas, el tamaño es de (20 m x 50 m) con una superficie total de 1000 m² y, por tanto, con un coeficiente de expansión a la hectárea de 10.
- ✓ En el caso del estrato de cafetal bajo sombra arbórea se tiene un tamaño de 20 m x 125 m, con una superficie total de 2500 m² y, por tanto, con un coeficiente de expansión a la hectárea de 4.
- ✓ En el caso del estrato de bosque salado, el tamaño está formado por cinco unidades principales, de forma circular, de 200 m² cada una, lo que suma en total 1000 m², siendo, por tanto, el coeficiente de expansión a la hectárea de 10.

En la UMBA1 se toman las siguientes variables:

Tabla 1. *Variables consideradas en la UMBA1.*

Variable a evaluar	Descripción
Numeración	Cada árbol tiene una numeración correlativa única que queda marcada en campo.
Identificación de la especie	Se identifica el nombre común y el código de la especie según la lista maestra.
DAP	En esta parcela se miden sólo los árboles con DAP mayor o iguales a 10 cm.

Variable a evaluar	Descripción
Coordenadas locales	Coordenadas «X» e «Y» de cada árbol según eje cuyo origen de coordenadas es el punto de levantamiento y con orientación N para el eje «Y».
Estado fitosanitario	Se indica tanto el origen del daño como la parte del árbol afectada.
Epifitismo	Se indica la presencia / ausencia de epifitismo, es decir, si hay plantas que están vegetando sobre el árbol en cuestión.
Bejucos	Se evalúa la presencia de bejucos según la parte del árbol.
Calidad del fuste	Se evalúa su rectitud, su forma y qué tipo de fuste es.
Copa	Sólo aplica en la parcela del estrato de café bajo sombra, indicando el porcentaje (%) de copa disponible.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso de los árboles tipo, las variables que se toman son las siguientes:

Tabla 2. *Variables consideradas en la ATTBA1 del bosque general.*

Variable a	Descripción
Numeración de la UMBA1	Es el número que permite establecer el vínculo entre la UMBA1 y la ATTBA1, puesto que se indica aquí el árbol tipo que ya fue registrado en la UMBA1.
Altura comercial	Se mide la altura del fuste comercial de 10 árboles representativos, siendo esta altura en la que se da un diámetro de fuste mínimo de 15 cm. Si el DAP es inferior a 15 cm no hay altura comercial. Si el DAP es igual a 15 cm, la altura comercial es 1.3 m.
Altura total	Se mide la altura total de 10 árboles representativos (árboles tipo). Estos serán: el árbol de menor DAP, el árbol de mayor DAP y los ocho restantes entre DAP mínimo y máximo.
Radios de copa	Radios de cobertura de la copa, aunque ese salga del límite de la parcela, en las direcciones N, S, E y O.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso de la UMBA2 se cuenta con tres parcelas rectangulares de 5 m x 10 m (50 m²), ubicadas sistemáticamente en los vértices suroeste, centro y noroeste de la parcela principal (de la UMBA1). Con este planteamiento, el coeficiente de expansión a la hectárea es de 66.66. Los árboles de la UMBA2 también han sido incluidos en los cálculos. Las variables medidas en cada una de las tres subparcelas han sido las siguientes:

Tabla 3. Variables consideradas en la UMBA2 del Bosque general.

Variable a evaluar	Descripción
DAP	Árboles vivos o muertos en pie y tocones con un DAP igual o superior a 2 cm e inferior a 10 cm.
Identificación de la especie	Se identifica el nombre común y el código de la especie según la lista maestra.
Altura	Se mide la altura de 3 árboles en cada una de la subparcelas, incluyendo las especies más representativas y las de mayor y menor diámetro.
Estado fitosanitario	Se indica tanto el origen del daño como la parte del árbol afectada.
Epifitismo	Se indica la presencia / ausencia de epifitismo, es decir, si hay plantas que están vegetando sobre el árbol en cuestión.
Bejucos	Se evalúa la presencia de bejucos según la parte del árbol.
Calidad del fuste	Se evalúa su rectitud, su forma y qué tipo de fuste es.
Estado	Vivo o muerto.
Subparcela	Subparcela a la cual pertenece cada árbol (1, 2 o 3).

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso concreto de la UMBA2 del cafetal bajo sombra, estas son las variables a medir:

Tabla 4. Variables consideradas en la UMBA2 para los cafetales bajo sombra.

Variable a evaluar	Descripción
Variedad	En caso de poder determinar la variedad de café, se coloca el nombre correspondiente, caso contrario se coloca el nombre general «café».
Diámetro (DAB)	Se mide el diámetro a la base (DAB) en cm. Si la planta de café ya fue recepada y dispone de tocón, se toma el DAB a 15 cm de altura.
Altura	Se mide la altura total cuando se trata de recepa o plantilla.
Forma	Se realiza de la siguiente manera: ✓ Recepa con hijos menores de 1.9 cm de DAB. ✓ Recepa con hijos iguales o mayores a 2 cm de DAB. ✓ Recepa igual o mayor a 2 cm de DAB.
Número de hijos	Cantidad de hijuelos o hijos de la recepa.
DAB y altura del menor y mayor hijo	La altura y DAB se hará cuando la planta de café disponga de más de dos hijos y donde se medirá el mayor y el menor DAB.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso del mangle, las cinco subparcelas de la UMBA1 tienen un radio de 7.98 m cada una, y en ellas se mide la biomasa aérea de los árboles vivos o muertos en pie, tocones (mayores de 50 cm de altura), siempre que el diámetro sea igual o mayor a 10 cm de DAP y se encuentre contenido en la unidad muestral. Para los cálculos de las variables dasométricas, y componentes del carbono, es necesario considerar los datos de la UMBA1, la UMBA2 y los árboles tipo.

Tabla 5. Variables consideradas en la UMBA1 para el estrato de bosque salado.

Variable a evaluar	Descripción
Subparcela	Número de subparcela a la cual pertenece el árbol a medir (1, 2, 3, 4 y 5)
Numeración	Cada árbol tiene una numeración correlativa única que queda marcada en campo, a partir del norte franco (<i>azimut</i> 0), colocando el número en una placa de aluminio puesta a la altura del DAP.
Identificación de la especie	Se identifican el nombre común y el código de la especie, según la lista maestra.
DAP	En esta parcela se miden únicamente los árboles con DAP mayor o iguales a 10 cm.
Ubicación	Se medirá la distancia con dos decimales, desde el punto central de la parcela hasta el centroide del árbol, así como, su <i>azimut</i> .
Estado fitosanitario	Se indica tanto el origen del daño como la parte del árbol afectada.
Epifitismo	Se indica la presencia / ausencia de epifitismo, es decir, si hay plantas que están vegetando sobre el árbol en cuestión.
Calidad del fuste	Se evalúa su rectitud, su forma y qué tipo de fuste es.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso de los árboles tipo, las variables que se toman son las siguientes:

Tabla 6. Variables de los árboles tipo a medir en bosque salado.

Variable a evaluar	Descripción
Numeración de la UMBA1	Es el número que permite establecer el vínculo entre la UMBA1 y la ATTBA1, puesto que se indica aquí el árbol tipo que ya fue registrado en la UMBA1.
Altura a la base	Es la altura del suelo a los 30 cm de la última raíz fúlcrea. Se aplica sólo al caso del género <i>Rizophora</i> y <i>Laguncularia</i> y se mide con un decimal.
Altura comercial	Se mide la altura del fuste comercial, siendo esta altura en la que se da un diámetro de fuste mínimo de 15 cm.
Altura total	Se mide la altura total de 2 árboles representativos (árboles tipo). Estos serán: el árbol de menor DAP, el árbol de mayor DAP, en cada subparcela.
Radios de copa	Radios de cobertura de la copa, aunque ese salga del límite de la parcela, en las direcciones N, S, E y O.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Los coeficientes de expansión para la UMBA2 son los siguientes:

- ✓ Para el caso de los estratos: bosque latifoliado, bosque de coníferas y cafetal bajo sombra, el coeficiente de expansión a la hectárea de la UMBA2 es de 66.66.
- ✓ Para el caso del mangle, el coeficiente de expansión es de 70.7.

La base de datos empleada ha servido para desarrollar el procesamiento, análisis e interpretación, tanto de los datos de campo como de los resultados. Por una parte, se dispone de la plataforma de introducción de datos (tecnología Odoo), en la que se encuentran organizados todos los datos de campo. Por otra parte, durante este trimestre se está desarrollando una segunda plataforma de resultados, esta vez mediante la tecnología Pentaho.

La plataforma de Pentaho es en realidad un *dashboard* con capacidades de *Business Intelligence*, en el que se estructuran los distintos productos a generar para el INB. Esta plataforma permite la consulta, el análisis comparativo y la interpretación de los resultados, de forma cómoda.

Cabe mencionar que los resultados se generan a partir de consulta directa (mediante PostgreSQL) a la base de datos, en tiempo real. Esto quiere decir que si los datos se ajustan, se añaden o se complementan en el futuro, los resultados a nivel de parcela y de estrato-parcela se mostrarán automáticamente actualizados, según los nuevos datos introducidos.

Agregación estadística de las variables a nivel de estrato y país

La metodología estadística empleada para el cálculo de las variables, a nivel de estrato y país, viene determinada por la presencia simultánea de diferentes estratos de vegetación dentro del estrato cartográfico tomado como base.

Esta dificultad técnica se resuelve empleando la metodología descrita por Charles T. Scott: «*Estimation Using Ratio-to-Size Estimator Across Strata and Subpopulations* (2018)». Se basa en un análisis de vegetación para cada parcela y estrato, donde se relaciona el estrato teórico del mapa de usos del suelo de El Salvador y el estrato real, basado en la vegetación encontrada al inventariar la parcela.

Se calcula para cada estrato cartográfico la representación de la variable estudiada para el estrato asignado, y para el resto de los estratos encontrados de acuerdo con la vegetación real existente.

Esquemáticamente, todas las combinaciones posibles se pueden representar de la siguiente manera para cualquiera de las variables estudiadas:

Estrato cartográfico	Vegetación real			
	Bosque latifoliado (BL)	Bosque de coníferas (BC)	Café bajo sombra (CBS)	Bosque salado (BSA)
Bosque latifoliado (BL)	BL-BL*	BL-BC	BL-CBS*	BL-BSA
Bosque de coníferas (BC)	BC-BL*	BC-BC*	BC-CBS	BC-BSA
Café bajo sombra (CBS)	CBS-BL*	CBS-BC	CBS-CBS*	CBS-BSA
Bosque salado (BSA)	BSA-BL*	BSA-BC	BSA-CBS	BSA-BSA*

Figura 2. Combinaciones de estratos de vegetación cartográfica y real.

Nota: *se indica con el asterisco que dicha combinación existe en el país.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018

Donde:

- ✓ BL-BL: en el estrato mapa de bosque latifoliado, valor real encontrado de bosque latifoliado.
- ✓ BL-BC: en el estrato mapa de bosque latifoliado, valor real encontrado de bosque de coníferas.

- ✓ BL-CBS: en el estrato mapa de bosque latifoliado, valor real encontrado de café bajo sombra.
- ✓ BL-BSA: en el estrato mapa de bosque latifoliado, valor real encontrado de bosque salado.
- ✓ BC-BL: en el estrato mapa de coníferas, valor real encontrado de bosque latifoliado.
- ✓ BC-BC: en el estrato mapa de coníferas, valor real encontrado de bosque de coníferas.
- ✓ BC-CBS: en el estrato mapa de coníferas, valor real encontrado de café bajo sombra.
- ✓ BC-BSA: en el estrato mapa de coníferas, valor real encontrado de bosque salado.
- ✓ CBS-BL: en el estrato mapa de café bajo sombra, valor real encontrado de bosque latifoliado.
- ✓ CBS-BC: en el estrato mapa de café bajo sombra, valor real encontrado de bosque de coníferas.
- ✓ CBS-CBS: en el estrato mapa de café bajo sombra, valor real encontrado de café bajo sombra.
- ✓ CBS-BSA: en el estrato mapa de café bajo sombra, valor real encontrado de bosque salado.
- ✓ BSA-BL: en el estrato mapa de bosque salado, valor real encontrado de bosque latifoliado.

- ✓ BSA-BC: en el estrato mapa de bosque salado, valor real encontrado de bosque de coníferas.
- ✓ BSA-CBS: en el estrato mapa de bosque salado, valor real encontrado de café bajo sombra.
- ✓ BSA-BSA: en el estrato mapa de bosque salado, valor real encontrado de bosque salado.

Sumando por columnas obtenemos valores totales por tipos de vegetación real, de tal forma que consultando por columnas obtendríamos respuesta a la pregunta: La vegetación real «X», ¿en qué estratos cartográficos se distribuye?

Sumando valores por filas obtenemos valores totales por estrato cartográfico, de tal forma que consultando por filas obtendríamos respuesta a la pregunta: En el estrato cartográfico «X», ¿qué vegetación real hay?

En caso que el mapa de usos del suelo hubiera sido 100 % consistente, respecto a la vegetación real encontrada, la Figura anterior se representaría de la siguiente manera:

Estrato mapa	Tipo de vegetación real encontrada			
	Bosque latifoliado (BL)	Bosque de coníferas (BC)	Café bajo sombra (CBS)	Bosque salado (BSA)
Bosque latifoliado (BL)	BL-BL	0	0	0
Bosque de coníferas (BC)	0	BC-BC	0	0
Café bajo sombra (CBS)	0	0	CBS-CBS	0
Bosque salado (BSA)	0	0	0	BSA-BSA

Figura 3. Ejemplo de combinación de estratos de vegetación para un mapa de usos 100 % preciso.
Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Puesto que como se ha visto, cada estrato cartográfico se compone de la combinación de varios estratos de vegetación real encontrada. El cálculo de la proporción de la variable estudiada, desglosada por estrato, se realiza de la siguiente manera:

Media de la variable estudiada: $(1) \bar{Y}_d = \frac{\sum_i^n y_{id}}{n}$

Dónde:

$\bar{Y}_d$ = valor de la variable estudiada de la vegetación real respecto de los cuatro estratos teóricos, expresado en las unidades que correspondan.

n = número de parcelas del estrato que corresponda.

Media total de la variable estudiada: $(2) \hat{Y}_d = A \cdot \bar{y}_d$

Donde:

A = superficie del estrato g (ha).

Varianza de la media: $(3) v(\bar{Y}_d) = \frac{s^2}{n} = \frac{\sum_i^n y_{id}^2 - n\bar{y}_d^2}{n(n-1)}$

Donde: $(4) v(\hat{Y}_d) = A^2 \cdot v(\bar{Y}_d)$

s^2 = varianza de la variable estimada en el estrato cartográfico.

Varianza total de la población: $(4) v(\hat{Y}_d) = A^2 \cdot v(\bar{Y}_d)$

Una vez calculadas varianzas y errores se han determinado los intervalos de confianza para la media de cada una de las variables variable estudiadas:

$$(5) \overline{Y}_d \pm \mathcal{E} = \overline{Y}_d \pm t \cdot \sqrt{v(\widehat{Y}_d)}$$

Donde t corresponde al valor de la distribución de *Student* para una probabilidad del 95 % (Ej. en el 95 % de las estimaciones, los límites inferior y superior del intervalo de confianza contienen el verdadero valor del parámetro estimado), y $n-1$ grados de libertad.

Cálculo de variables del INB

Los productos (variables) generados por el INB son de tres tipos:

- ✓ Variables forestales.
- ✓ Variables de carbono – CO₂.
- ✓ Variables ambientales, a su vez:
 - Variables de regeneración.
 - Variables relacionadas con el estado fitosanitario.
 - Variables de diversidad.

Cálculo de variables forestales

Este punto desarrolla el cálculo de las variables forestales siguientes: diámetro medio aritmético, diámetro medio cuadrático, altura total, altura comercial, superficie de

copa, fracción de cabida cubierta, área basal, volumen total, volumen comercial y biomasa total aérea viva.

Cálculo del diámetro medio aritmético

El diámetro medio aritmético es el promedio de los diámetros medidos de los árboles con 10 cm o más de DAP (es decir, los árboles de la UMBA1), según esta fórmula:

$$(6) D_{promedio} = \frac{\sum d_i}{n}$$

Donde d_i es el DAP (diámetro a la altura del pecho, del árbol i); N es el número total de árboles medidos en la parcela.

En el caso del cálculo del diámetro medio aritmético de los árboles de la UMBA2, se procede del mismo modo, pero en este caso tomando los diámetros medidos en la submuestra (las tres parcelas de 5 m x 10 m, en el caso del bosque general y cafetal bajo sombra, y las cinco subparcelas circulares de 3 m de radio en el caso del bosque salado).

Considerando conjuntamente los árboles de la UMBA1 y la UMBA2, también se puede calcular el diámetro medio aritmético agrupando el número de árboles por clase diamétrica, empleando el diámetro medio de la clase diamétrica y expandiendo el número de árboles a la misma superficie, en el caso de los árboles medidos en la UMBA2.

Cálculo del diámetro medio cuadrático

El diámetro medio cuadrático responde a la siguiente fórmula:

$$(7) D_{\text{cuadrático}} = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}}$$

Donde d_i es el valor central de la clase diamétrica y n_i es el número de árboles existentes en dicha clase diamétrica.

Existen varias formas de calcular este diámetro. Una de ellas es el agrupamiento de los diámetros en clases diamétricas (en este caso de 2 cm de amplitud). Otra opción es aplicar el principio por el cual el diámetro medio cuadrático se corresponde con el diámetro normal del árbol de área basal media. Este diámetro es algo mayor que el diámetro medio aritmético, y se considera que tiene mayor utilidad como valor medio representativo de la masa.

El diámetro medio cuadrático ha sido calculado tanto para los árboles de la UMBA1, como para los de la UMBA2.

Considerando conjuntamente los árboles de la UMBA1 y la UMBA2, también se puede calcular el diámetro medio cuadrático agrupando el número de árboles por clase diamétrica, empleando el diámetro medio de la clase diamétrica y expandiendo el número de árboles a la misma superficie, en el caso de los árboles medidos en la UMBA2.

Cálculo de la altura total promedio de la masa forestal

El cálculo de la altura media total promedio de la masa forestal para los árboles de la UMBA1 se ha realizado según la siguiente fórmula:

$$(8) \text{ Altura promedio masa forestal} = \frac{\sum_{j=1}^k N_j \cdot h_j}{N}$$

Donde h_j es la altura correspondiente a la clase diamétrica j , obtenida como promedio de las alturas de los árboles muestra pertenecientes a dicha clase diamétrica, esto es $h_j = \frac{\sum_{i=1}^k N_{ij} \cdot h_i}{N_j}$ siendo h_i la altura del árbol i y n el número de árboles muestra;

N_j es la frecuencia absoluta de la clase diamétrica j .

N es la densidad de la masa.

Las clases diamétricas se han definido de 2 cm en 2 cm.

En el caso de las alturas de los árboles de la UMBA2 se ha procedido de modo idéntico, pero empleando los árboles medidos en esta subparcela.

Considerando conjuntamente los árboles de la UMBA1 y la UMBA2, también se puede calcular la altura total promedio de la masa forestal.

Para ello se hacen agrupaciones en clases diamétricas (de 2 cm en 2 cm), se calcula el número de árboles y la altura promedio en cada una de ellas, se expande el número de árboles según el tamaño de la parcela UMBA2 respecto de la UMBA1 (lo cual depende del tipo de bosque), y finalmente se aplica la fórmula de la altura de la masa forestal.

Cálculo de la altura comercial promedio de la masa forestal

La altura comercial promedio de la masa forestal se calcula del mismo modo que la altura total promedio de la masa forestal, con la diferencia que, en la fórmula, en vez de emplear la altura total se emplea la comercial.

Lógicamente, el cálculo de esta variable forestal sólo solo afecta a los árboles de la UMBA1.

En tal sentido, cabe recordar que la altura comercial es aquella que tiene el árbol hasta un diámetro de 15 cm. Por ello, si el árbol tiene menos de 15 cm de DAP, este no tiene altura comercial. Del mismo modo, si el DAP son 15 cm, la altura comercial son es 1.30 m (la altura normal).

A partir de la altura comercial se obtiene también el volumen comercial, para una selección de especies de interés facilitadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Cálculo de la densidad de árboles de la UMBA1 y la UMBA2

La densidad de árboles de la UMBA1 se obtiene directamente del conteo de los árboles medidos en dicha parcela, multiplicados por el correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea:

Tabla 7. *Factor de expansión a la hectárea para UMBA1 en los diferentes tipos de parcelas.*

Tipo de parcelas	Nº de subparcelas	Superficie UMBA1	Factor de expansión a la hectárea
General	1	1000 m ²	10
Café bajo sombra	1	2500 m ²	4
Bosque salado	5	1000 m ²	10

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para el caso de la UMBA2, el procedimiento es análogo, pero con los siguientes coeficientes de expansión:

Tabla 8. Factores de expansión a la hectárea para UMBA2 en los diferentes tipos de parcelas.

Tipo de parcelas	Nº de subparcelas	Superficie UMBA2	Factor de expansión a la hectárea
General	3	150 m²	66.66
Café bajo sombra	3	150 m²	66.66
Bosque salado/ mangle	5	141.37 m²	70.73

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo de la superficie de copa o fracción de cabida cubierta

La superficie de copa refleja el grado de cobertura (también llamado fracción de cabida cubierta) e indica la proporción de la superficie cubierta por la proyección ortogonal de las copas. Las unidades son en m²/ha en el caso de la superficie de copa, y porcentaje en el caso de la FCC.

Para su cálculo se emplean los datos recogidos en campo en cuanto a los radios de copa hacia el N, S, E y O. Se obtiene un diámetro promedio de la copa a partir de las mediciones individuales y, a partir de él, se aplica esta fórmula:

$$(9) SC_i = N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2$$

Donde SC_i es la superficie de copa promedio para la clase diamétrica i , N_i es el número de árboles por hectárea de la clase diamétrica i , y d_{ci} es el diámetro de copa promedio para esa clase diamétrica. Estos resultados por clase diamétrica se agregan para obtener el valor total por hectárea:

$$(10) SC = \sum N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2$$

Para calcular la fracción de cabida cubierta, FCC, en porcentaje:

$$(11) FCC = \frac{\sum N_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{ci}^2}{10,000} \cdot d_{ci}^2$$

Cálculo del área basal

El área basal de un árbol es la superficie de la sección transversal de este árbol a la altura normal, también conocida como altura de pecho (1.3 m).

El área basal se mide en m²/ha y es un indicador de la espesura y densidad de la masa forestal. Aunque debido a las irregularidades de las secciones, las superficies de dichas secciones de los fustes no pueden determinarse con precisión si no es por planimetría o integración, en la práctica se pueden determinar a partir del DAP a través de esta fórmula:

$$(12) g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4}$$

Es decir, se hace la simplificación de que la sección es un círculo perfecto, cuando no lo es, con lo cual existe una sobreestimación de la realidad. En este sentido, cabe recordar que la medición de la circunferencia proporciona resultados más precisos que la de los diámetros respecto al área basal. La cinta diamétrica ha sido el instrumento de medición principal empleado para tomar los diámetros en el INB.

En el cálculo del área basal para una determinada parcela se ha separado el área basal de la UMBA1 (DAP mayores o iguales a 10 cm), y el de la UMBA2 (DAP inferiores a 10 cm). En ambos casos se han excluido de los cálculos los tocones, aunque estos llegaran a la altura normal.

Cálculo de las relaciones altura – diámetro para cada estrato

En la subparcela ATTBA1 se midieron diez árboles tipo, que recogen el elenco de los diferentes diámetros que se encuentran en cada parcela. En el caso de la UMBA2 también se midieron tres alturas por subparcela (por tanto, nueve medidas de altura para la UMBA2 en cada parcela, siempre que hubiese árboles suficientes). Para poder conocer la altura de los árboles a los cuales no se les midió, se calcula la relación altura – diámetro.

Para conseguir el mejor ajuste posible en la relación altura – diámetro, se analizó un conjunto de ecuaciones reportadas en la literatura, según el trabajo de Arias (2004). Se partió de ajustes lineales, para ir aumentando la complejidad, probando hasta 26 ecuaciones no lineales (ver Tabla 9).

También se probó el ajuste logarítmico empleado en el INB de Costa Rica y ecuaciones parabólicas polinominales empleadas por algunos autores (Castaneda F. Jelvez A., 1985).

Puesto que una hectárea de bosque tropical puede albergar a más de 300 especies diferentes de árboles (Oliveira y Mori, 1999), no se pueden emplear modelos de regresión específicos, como se hace en las zonas templadas del planeta (Ter-Mikaleian y Korzukhin, 1997; Shepashenko *et al.*, 1998; Brown y Schroeder, 1999). Por el contrario, modelos de regresión de varias especies se deben de emplear, como es el caso.

Las ecuaciones no lineales testeadas han sido las siguientes.

Tabla 9. Ecuaciones testeadas para el ajuste altura – diámetro.

Ecuación	Fórmula	Referencia
1	$h=1,3+a \cdot DAP^b$	Schreuder et al (1979)
2	$h=1,3+e^{a+(b/DAP+1)}$	Wykoff et al (1982)
3	$h=1,3+a \cdot (1-e^{-b \cdot DAP})$	Meyer (1940)
4	$h=1,3 + DAP^2/(a+b \cdot DAP)^2$	Loetsch et al (1973)
5	$h=1,3+a \cdot e^{b/DAP}$	Burkhardt y Strub (1974)
6	$h=1,3+10^{a \cdot DAP^b}$	Larson (1986)
7	$h=1,3+a \cdot DAP/(DAP+1)+b \cdot DAP$	Watts (1986)
8	$h=1,3+a \cdot (DAP/(1+DAP)^b)$	Curtis (1967)
9	$h=1,3+a \cdot (DAP/(1+DAP)^c); c=1$	Prodan (1944)
10	$h=1,3+a \cdot \text{Log}(DAP)+b$	Prodan (1967)
11	$h=1,3+a \cdot DAP+b \cdot DAP^2$	Curtis (1967)
12	$h=1,3+e^{a+b \cdot DAP^{**c}}$	Larsen y Hann (1987)
13	$h=1,3+a/(1+b \cdot e^{-c \cdot DAP})$	Rearl y Reed (1920)
14	$h=1,3+a \cdot (1-e^{-b \cdot DAP})^{**c}$	Richards (1959)
15	$h=1,3+a \cdot e^{**(-b \cdot e^{-c \cdot DAP})}$	Winsor (1932)
16	$h=1,3+DAP^2/(a+b \cdot DAP+c \cdot DAP^2)$	Curtis (1967)
17	$h=1,3+a \cdot e^{b/(DAP+c)}$	Ratkowsky (1990)
18	$h=1,3+a/(1+b^{-1} \cdot DAP^{-c})$	Ratkowsky y Reedy (1986)
19	$h=1,3+a \cdot (1-e^{-b \cdot DAP^{**c}})$	Yang et al (1978)
20	$h=1,3+(DAP/(a+b \cdot DAP))^3$	Petterson (1955)
21	$h=a \cdot (1-e^{-c \cdot DAP})$	Prodan (1965)
22	$h=a+b \cdot \text{Log}_{10}(DAP)$	Prodan (1944)
23	$h=10^{a+b/DAP}$	Prodan (1944)
24	$h=10^{a+b \cdot \text{Log}_{10}(DAP)+c \cdot \text{Log}_{10}(DAP) \cdot \text{Log}_{10}(DAP)}$	Prodan (1944)
25	$h=e^{a+b \cdot \text{Log}_{10}(DAP)+c \cdot \text{Log}_{10}(DAP) \cdot \text{Log}_{10}(DAP)}$	Prodan (1944)
26	$h=a^{\text{Log}_{10}(DAP)+b \cdot \text{Log}_{10}(DAP) \cdot \text{Log}_{10}(DAP)}$	Prodan (1944)

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para conseguir un ajuste lo más satisfactorio posible se identificó los valores anómalos u *outliers*. Del número total de observaciones, los *outliers* suelen representar una pequeña parte, pero su eliminación mejora considerablemente los ajustes.

El cálculo de *outliers* se realiza sobre los pares de datos altura – diámetro. Existen múltiples formas de abordar este problema. En este caso, el procedimiento empleado ha sido el siguiente:

- ✓ Se ordenan los pares de altura – diámetro obtenidos en campo.

$$x-y$$

- ✓ Se calcula la altura en función de la regresión obtenida en cada caso (altura calculada).

$$Y$$

- ✓ Se hace la diferencia entre el valor de la altura real medido con el valor calculado (obtención de residuos).

$$(13) e_i = Y_i - y_i$$

- ✓ Se calcula el cuadrado del residuo.

$$e_i^2$$

- ✓ Se divide el cuadrado del residuo por el error estándar de la estimación (obtenido del análisis de la regresión).

$$S_{yx}$$

- ✓ Se divide el residuo entre el error estándar de la estimación (normalizando así los residuos).

$$\frac{e_i}{S_{yx}}$$

Una vez completado el proceso, para decidir si un par de valores es un *outlier* se aplica esta regla:

- ✓ El valor absoluto del residuo normalizado debe ser inferior a dos (dos desviaciones estándar son aproximadamente el 95 % de confianza, siendo este un estándar estadístico).

De forma complementaria, al representar gráficamente el residuo normalizado respecto a la «X», el residuo no debe ser consistente respecto de sus vecinos, alejándose de la recta que define el ajuste.

Una vez eliminados los *outliers*, se procedió a buscar los mejores ajustes, resultando los finalmente incluidos en la siguiente Tabla:

Tabla 10. Ecuaciones empleadas para el cálculo de la relación altura – diámetro.

Estrato	Ecuación prevista
Bosque latifoliado	$\text{altura} = 1.3 + \frac{\text{DAP}}{(1.21914 + 0.0446 \cdot \text{DAP})}$
Bosque de coníferas (sólo coníferas)	$\text{altura (m)} = -0.0015 \cdot \text{DAP}^2 + 0.3499 \cdot \text{DAP} + 4.8565$
Bosque coníferas (sólo latifoliadas)	$\text{altura (m)} = 1.3 + \frac{\text{DAP}}{1.46490 + 0.0417 \cdot \text{DAP}}$
Bosque salado con raíces fúlcreas	$\text{altura (m)} = -0.0056 \cdot \text{DAP}^2 + 0.7284 \cdot \text{DAP} + 1.9545$
Bosque salado sin raíces fúlcreas	$\text{altura (m)} = 3.886 \cdot \ln(\text{DAP}) - 0.5259$
Cafetal bajo sombra, árboles latifoliados de sombra	$\text{altura (m)} = 1.3 + \frac{\text{DAP}}{1.43025 + 0.0440 \cdot \text{DAP}}$

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

En los siguientes puntos se tratan, específicamente, las relaciones altura – diámetro de cada estrato.

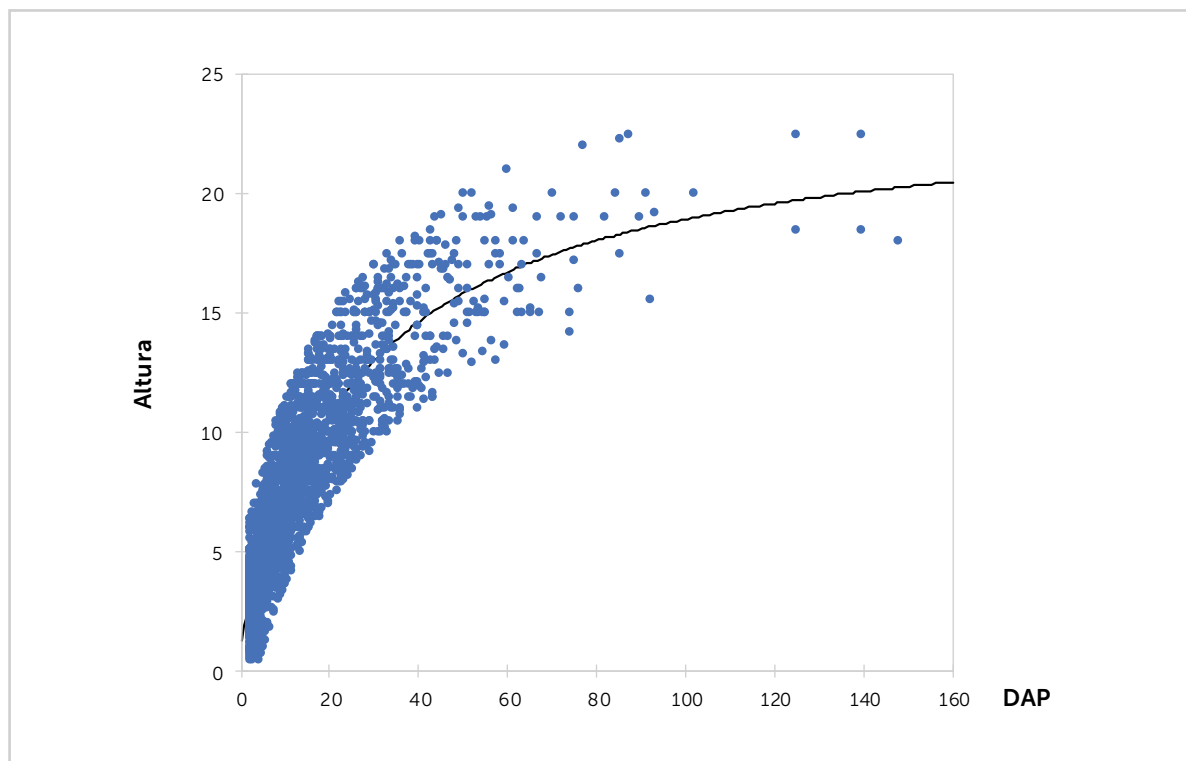
Estrato de bosque latifoliado

De todas estas fórmulas, y tras eliminar los valores anómalos u *outliers*, se ha conseguido para los árboles de la UMBA1 y UMBA2 del bosque secundario un ajuste con una R^2 de 0.825 y un MSE, siglas en inglés de *Mean Squared Error*, de 3.035. La ecuación resultante es la siguiente (la altura se obtiene en metros y el DAP en centímetros):

$$(14) \text{altura (m)} = 1.3 + \frac{\text{DAP}}{(1.21914 + 0.0446 \cdot \text{DAP})}$$

Esta fórmula ha sido la empleada para calcular las alturas de los árboles de los que no se tenía la altura. La nube de puntos de alturas - diámetros y el ajuste se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 11. Ajuste altura – diámetro del bosque secundario.



Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

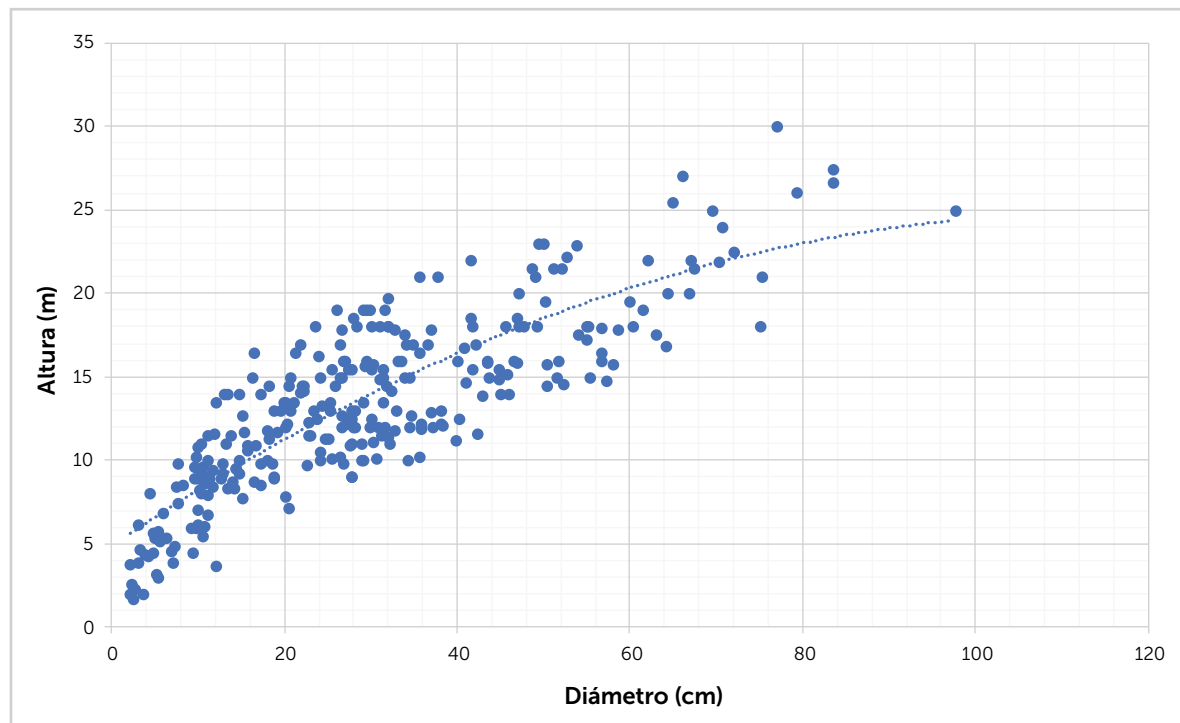
Estrato de bosque de coníferas

En el caso del bosque de coníferas, para las especies de coníferas, tras el análisis de los valores anómalos u outliers, y siguiendo publicaciones en las que habitualmente se emplean fórmulas polinómicas de ajuste para las relaciones altura – diámetro en coníferas, se determinó que el mejor ajuste correspondía con una ecuación de este tipo, según la siguiente fórmula (altura en metros y DAP en centímetros):

$$(15) \text{ altura (m)} = -0.0015 \cdot \text{DAP}^2 + 0.3499 \cdot \text{DAP} + 4.8565$$

Esta ecuación ofrece una $R^2 = 0.7194$, por lo que el ajuste es satisfactorio.

Tabla 12. *Ajuste altura – diámetro para las especies de coníferas del estrato bosque de coníferas.*



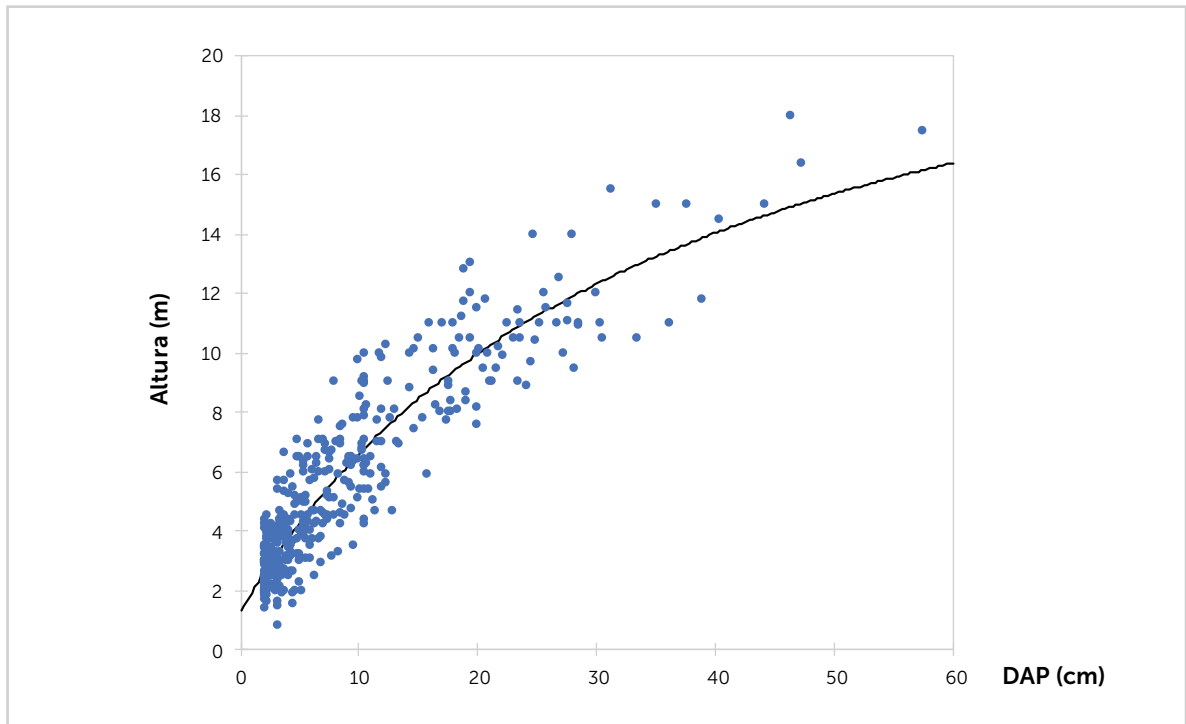
Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

En el caso de las especies de latifoliadas, dentro del estrato de coníferas, se ha obtenido una relación altura – diámetro particularizada. Para estas especies, el mejor ajuste corresponde con la siguiente ecuación (altura en metros y DAP en centímetros):

$$(16)\text{altura (m)}=1.3+\frac{\text{DAP}}{1.46490+0.041796\cdot\text{DAP}}$$

Esta ecuación ofrece una $R^2=0.849$ y un MSE de 1.572, por lo que el ajuste es satisfactorio.

Tabla 13. *Ajuste altura – diámetro para las especies latifoliadas del estrato bosque de coníferas.*



Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

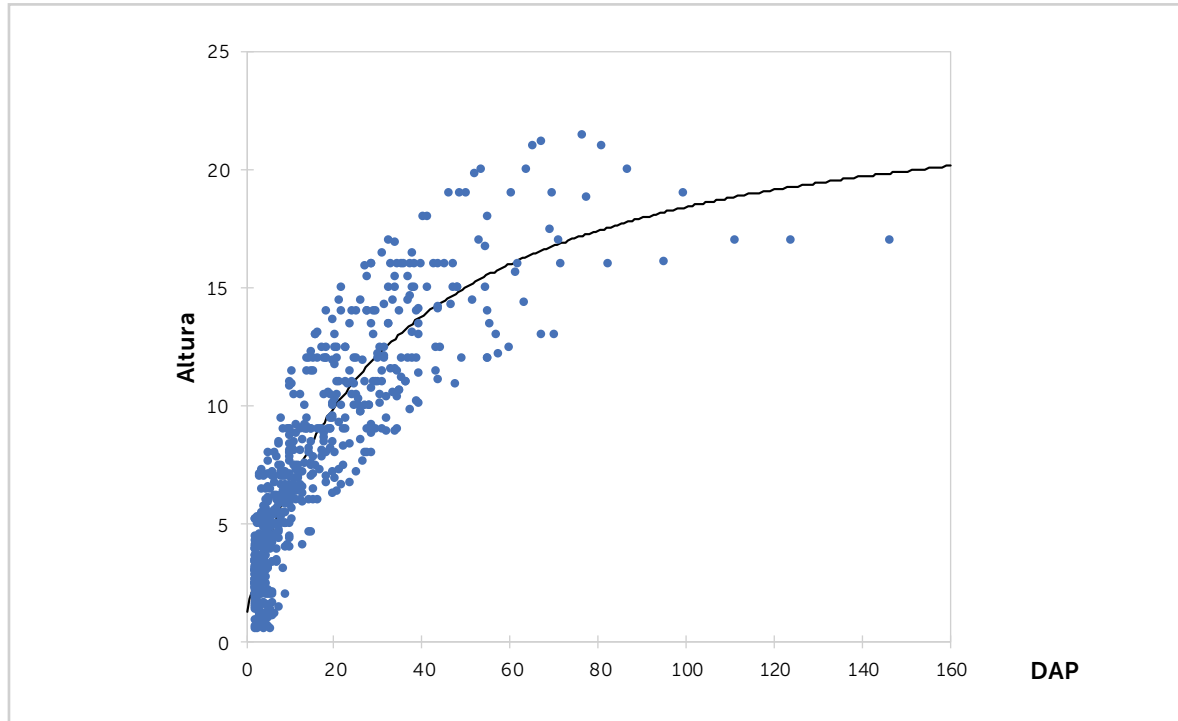
Estrato de cafetal bajo sombra

En el caso del cafetal bajo sombra, de los ajustes probados, y tras el análisis de los valores anómalos u *outliers*, se determinó que el mejor ajuste correspondía a la siguiente ecuación (altura en metros y DAP en centímetros). La R^2 resultante fue de 0.83 y el RMSE de 1.96.

$$(17)\text{altura (m)}=1.3+\frac{\text{DAP}}{1.43025+0.04405\cdot\text{DAP}}$$

La nube de puntos de alturas - diámetros y el ajuste se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 14. Ajuste altura – diámetro para el cafetal bajo sombra.



Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

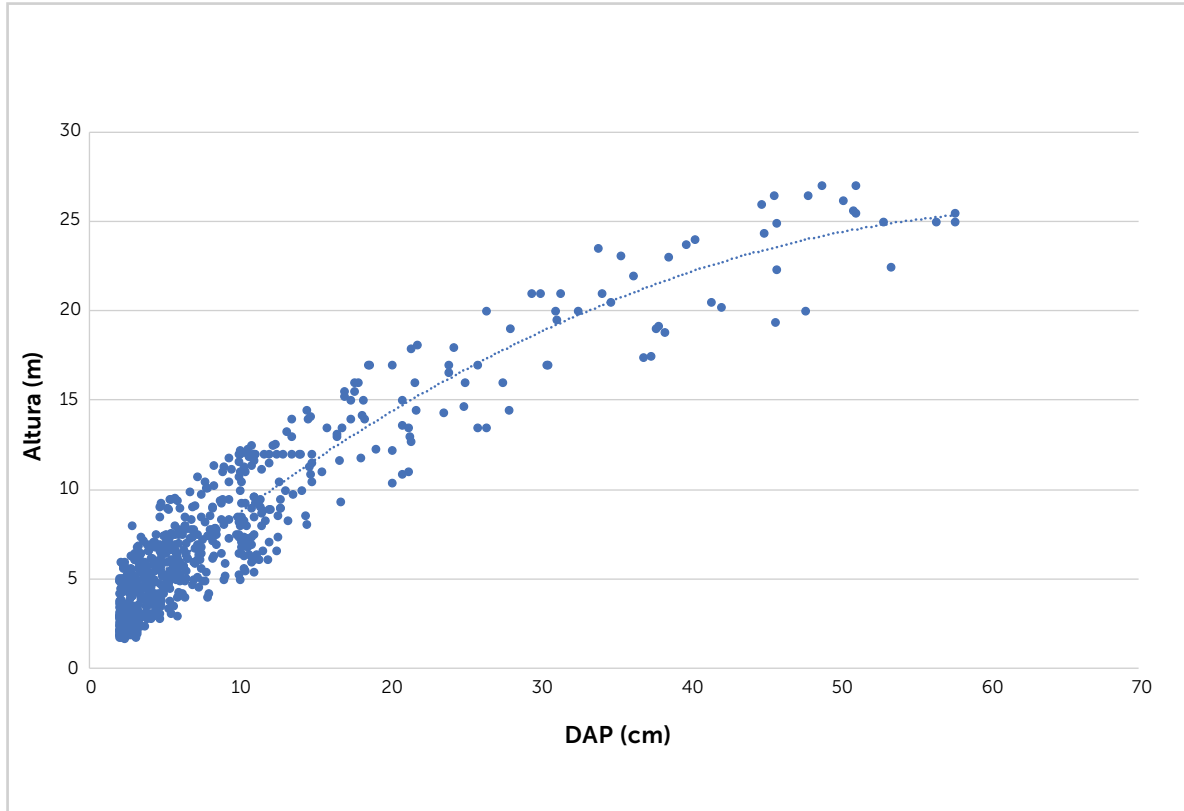
Estrato de bosque salado

Para el caso del bosque salado, el ajuste de la curva altura – diámetro se realizó siguiendo dos ecuaciones, dependiendo de si las especies presentan raíces fúlcreas o no. En el primero de los casos (raíces *fúlcreas*, es decir, las especies *laguncularia racemosa*, *rhizophora mangle* y *rhizophora racemosa*), se cuenta con una R^2 de 0.89 (la altura se obtiene en metros y el DAP en centímetros):

$$(18) \text{ altura (m)} = -0.0056 \cdot \text{DAP}^2 + 0.7284 \cdot \text{DAP} + 1.9545$$

La nube de puntos de alturas - diámetros y el ajuste se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 15. *Ajuste altura – diámetro del bosque salado para especies con raíces fúlcreas.*



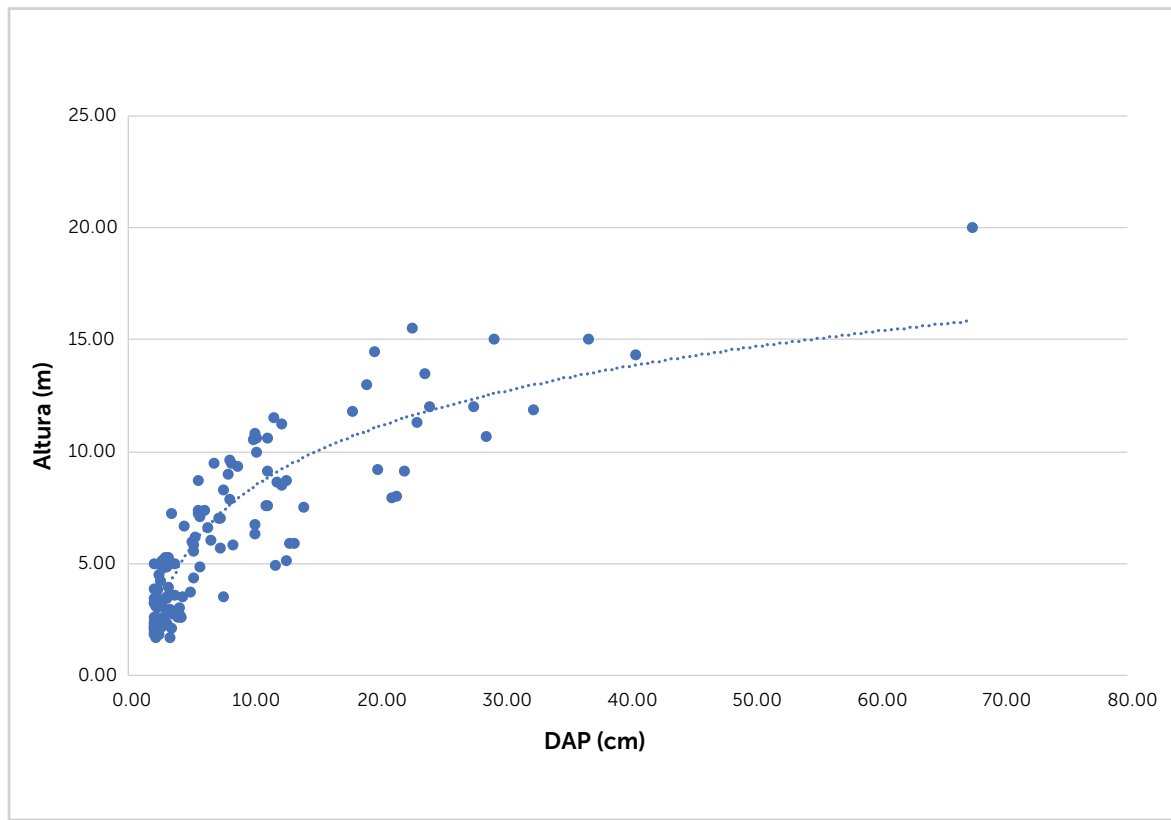
Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

En el caso de las especies de raíces no *fúlcreas*, es decir, las especies *Avicennia bicolor*, *Avicennia germinans*, así como, el resto de latifoliadas encontradas, se ha obtenido la siguiente ecuación, obteniendo una R^2 de 0.79 (la altura se obtiene en metros y el DAP en centímetros):

$$(19) \text{ altura (m)} = 3.886 \cdot \ln(\text{DAP}) - 0.5259$$

La nube de puntos de alturas - diámetros y el ajuste se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 16. *Ajuste altura – diámetro del bosque salado para las especies con raíces no fúlcreas.*



Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo del volumen

El cálculo del volumen varía con los diferentes estratos, o de forma más precisa, incluso con las diferentes especies encontradas en las parcelas.

Las metodologías del cálculo del volumen que se presentan se dividen en:

- ✓ Metodologías del cálculo de volumen para bosque latifoliado.
- ✓ Metodologías del cálculo de volumen para bosque de coníferas.
- ✓ Metodologías de cálculo de volumen para el cafetal bajo sombra.
- ✓ Metodologías de cálculo de volumen para el bosque salado.

Cálculo del volumen en el bosque latifoliado

Con el fin de evitar emplear diferentes fórmulas de cubicación que aumenten los errores en la estimación (y consecuentemente en la intensidad del muestreo), se ha optado a efectos del cálculo de volumen por emplear la fórmula de cubicación en la que se emplea el área basal AB (en m²), la altura total (m), y un factor de forma promedio de 0.7. El resultado es en m³. La fórmula empleada es la siguiente:

$$(20) V=AB \cdot altura \cdot f$$

El valor del factor de forma promedio de 0.7 se ha obtenido por consulta bibliográfica de los valores de este factor, para las familias de especies más frecuentemente encontradas.

Cálculo del volumen en coníferas

La fórmula de cálculo es la misma que la empleada para el caso del bosque latifoliado, pero varía el factor de forma. En las alturas también se emplean las dos ecuaciones: las obtenidas por regresión para latifoliadas y para coníferas. Los coeficientes de forma empleados han sido los siguientes:

Tabla 17. Factores de forma para el cálculo del volumen en el estrato de coníferas.

Especie	Factor de forma	Fuente
<i>Cupressus lusitanica</i>	0.47	Johnson H. (2000)
<i>Pinus oocarpa</i>	0.56	Castaneda F., Jelvez A. (1985)
Resto de coníferas	0.50	-
Resto de latifoliadas	0.70	-

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Para las latifoliadas que están presentes en el estrato de coníferas se ha empleado de nuevo un factor de forma de 0.7.

Cálculo del volumen en el cafetal bajo sombra

Se ha procedido con la misma fórmula que para el resto de los estratos, de nuevo empleando un factor de forma de 0.7. La justificación de este valor se apoya en las consultas bibliográficas sobre los factores de forma de las familias de las especies más frecuentes. Por ejemplo, la familia *Fabaceae*, a la que pertenecen algunas de las especies más frecuentes de los cafetales bajo sombra, y que tienen un factor de forma cercano a 0.7 (Ojeda, 1983). El valor de 0.7 es empleado también en los inventarios forestales de Honduras y Nicaragua para las latifoliadas.

Cálculo del volumen en bosque salado

El cálculo del volumen en bosque salado se calcula de forma equivalente al resto de estratos de latifoliadas, pero teniendo en cuenta los siguientes factores de forma:

Tabla 18. Factores de forma para el cálculo del volumen en el estrato de bosque salado.

Especie	Factor de forma	Fuente
<i>Rizophora sp.</i>	0.50	Sánchez-Páez <i>et al.</i> (2004)
<i>Avicennia germinans</i>	0.46	Vásquez, J. (2000)
<i>Laguncularia racemosa</i>	0.45	Vásquez, J. (2000)
Resto de latifoliadas	0.7	-

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

La particularidad de este estrato es que se han calculado dos relaciones altura – diámetro: una relación para especies con raíces fúlcreas; y otra relación para especies sin raíces fúlcreas.

Cálculo del volumen comercial

El volumen comercial se obtiene en una primera aproximación como un factor de descuento del volumen total que se tiene. Por consultas a expertos, este porcentaje se ha determinado en un 71 %.

Las especies de interés facilitadas por el MAG para la obtención de su volumen comercial han sido las siguientes. De cada una de ellas se calculan en el numeral.

Núm.	Familia	Género	Epíteto	Variedad	Subespecie
1	Anacardiaceae	Astronium	graveolens		
2	Bignoniaceae	Tabebuia	chrysantha		chrysantha
3	Bignoniaceae	Tabebuia	donnell-smithii		
4	Bignoniaceae	Tabebuia	impetiginosa		
5	Bignoniaceae	Tabebuia	rosea		
6	Boraginaceae	Cordia	alliodora		
7	Boraginaceae	Cordia	gerascanthus		
8	Clusiaceae	Calophyllum	brasiliense	reko	
9	Combretaceae	Terminalia	oblonga		
10	Cupressaceae	Cupressus	lusitanica		
11	Fabaceae	Albizia	niopoides		
12	Fabaceae	Dalbergia	calderonii		
13	Fabaceae	Dalbergia	calycina		
14	Fabaceae	Dalbergia	chontalensis		
15	Fabaceae	Dalbergia	congestiflora		
16	Fabaceae	Dalbergia	melanocardium		
17	Fabaceae	Dalbergia	retusa	cuscatlanica	
18	Fabaceae	Dalbergia	salvanaturae		
19	Fabaceae	Dalbergia	tucurensis		
20	Fabaceae	Diphysa	americana		
21	Fabaceae	Enterolobium	cyclocarpum		
22	Fabaceae	Gliricidia	sepium		
23	Fabaceae	Hymenaea	courbaril		
24	Fabaceae	Lonchocarpus	rugosus		apricus
25	Fabaceae	Lysiloma	divaricatum		
26	abaceae	Myrospermum	frutescens		
27	Fabaceae	Myroxylon	pereirae		
28	Fabaceae	Ormosia	macrocalyx		
29	Fabaceae	Samanea	saman		
30	Juglandaceae	Juglans	olanchana		
31	Meliaceae	Cedrela	odorata		
32	Meliaceae	Cedrela	salvadorensis		
33	Meliaceae	Cedrela	tonduzii		
34	Meliaceae	Swietenia	humilis		

Núm.	Familia	Género	Epíteto	Variedad	Subespecie
35	Meliaceae	Swietenia	macrophylla		
36	Myrtaceae	Eucalyptus	camaldulensis		
37	Myrtaceae	Eucalyptus	deglupta		
38	Pinaceae	Abies	guatemalensis		
39	Pinaceae	Pinus	ayacahuite		
40	Pinaceae	Pinus	caribaea	hondurensis	
41	Pinaceae	Pinus	hartwegii		
42	Pinaceae	Pinus	maximinoii		
43	Pinaceae	Pinus	oocarpa		
44	Pinaceae	Pinus	tecunumanii		
45	Rhamnaceae	Karwinskia	calderonii		
46	Ulmaceae	Ulmus	mexicana		
47	Verbenaceae	Tectona	grandis		
48	Moraceae	Maclura	tinctoria		tinctoria
49	Fabaceae	Platymiscium	parviflorum		

Figura 4. Especies seleccionadas para el cálculo de su volumen comercial.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo de la biomasa total aérea viva

El cálculo de la biomasa total aérea varía con los diferentes estratos, o de forma más precisa, con las diferentes especies encontradas en las parcelas. Las metodologías del cálculo que se presentan se dividen en:

- ✓ Metodologías del cálculo de la biomasa para bosque latifoliado.
- ✓ Metodologías del cálculo de biomasa para bosque de coníferas.
- ✓ Metodologías de cálculo de biomasa para el cafetal bajo sombra.
- ✓ Metodologías de cálculo de biomasa para el bosque salado.

Cálculo de la biomasa en el bosque latifoliado

La biomasa aérea - sobre el suelo (en kg) seca de los árboles se calcula con el empleo de la ecuación alométrica de Chave *et al.* (2005):

$$(21) \text{ Biomasa} = 0.0509 \cdot \rho \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{altura}$$

Donde ρ es la gravedad específica en g/cm^3 , el DAP es el diámetro a la altura de pecho en centímetros, y la altura es la altura total en metros. Esta ecuación está generada con datos de DAP hasta 156 cm, por lo que a partir de esos diámetros, los resultados son aproximados. Por otra parte, esta ecuación es de aplicación para bosques húmedos, bosques donde la evapotranspiración excede la precipitación entre más de un mes al año y menos de cinco meses, con una precipitación entre 1500 – 3500 mm/año, condiciones que se dan en la mayoría del territorio salvadoreño.

Para las gravedades específicas se han consultado referencias bibliográficas, añadiendo los datos reales de las especies de las que se dispone de información, y valores promedio para el resto. La fuente de datos principal han sido los datos del IPCC (2006), que a su vez provienen de diferentes fuentes.

En caso de que una misma especie tuviese diferentes gravedades específicas, según diferentes fuentes bibliográficas, se ha empleado un promedio, a excepción del caso de la existencia del dato para el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC, por su sigla en inglés, que ha sido el empleado (sin promediar) siempre que se ha dispuesto del mismo.

Del total de las especies forestales arbóreas del listado maestro (1135 especies arbóreas), se han introducido un total de 141 datos de gravedades específicas.

Para el resto se ha empleado el promedio de las gravedades específicas del resto de especies, asignando en este caso un valor de 0.613 g/cm^3 .

Tabla 19. Valores de gravedad específica para el cálculo de biomasa en bosque latifoliado.

Núm.	Código	Familia	Género	Epíteto	Gravedad específica (g/cm³)
1	A1000sapota	Sapotaceae	Pouteria	sapota	0.6
2	A1002subsp.tempisque	Sapotaceae	Sideroxylon	capiri	1.01
3	A1010amorphoides	Simaroubaceae	Alvaradoa	amorphoides	0.58
4	A1014glauc	Simaroubaceae	Simarouba	glauc	0.39
5	A1050ulmifolia	Sterculiaceae	Guazuma	ulmifolia	0.51
6	A1052apetala	Sterculiaceae	Sterculia	apetala	0.33
7	A1084candida	Tiliaceae	Luehea	candida	0.5
8	A1085speciosa	Tiliaceae	Luehea	speciosa	0.5
9	A1099mexicana	Ulmaceae	Ulmus	mexicana	0.55
10	A1113bicolor	Verbenaceae	Avicennia	bicolor	0.85
11	A1114germinans	Verbenaceae	Avicennia	germinans	0.9
12	A1131guatemalense	Zygophyllaceae	Guaiacum	guatemalense	1.21
13	A113var.grande	Asteraceae	Perymenium	grande	0.95
14	A134subsp.arguta	Betulaceae	Alnus	acuminata	0.45
15	A141cujete	Bignoniaceae	Crescentia	cujete	0.63
16	A142aesculifolia	Bignoniaceae	Godmania	aesculifolia	0.52
17	A143mimosifolia	Bignoniaceae	Jacaranda	mimosifolia	0.55
18	A148subsp.chrysantha	Bignoniaceae	Tabebuia	chrysantha	1.1
19	A149donnell-smithii	Bignoniaceae	Tabebuia	donnell-smithii	0.44
20	A152rosea	Bignoniaceae	Tabebuia	rosea	0.54
21	A153stans	Bignoniaceae	Tecoma	stans	0.47
22	A154orellana	Bixaceae	Bixa	orellana	0.38
23	A156pentandra	Bombacaceae	Ceiba	pentandra	0.28
24	A157pyramidale	Bombacaceae	Ochroma	pyramidale	0.16
25	A158aquatica	Bombacaceae	Pachira	aquatica	0.43
26	A159quinata	Bombacaceae	Pachira	quinata	0.39
27	A164alliodora	Boraginaceae	Cordia	alliodora	0.48
28	A165collococca	Boraginaceae	Cordia	collococca	0.48
29	A166dentata	Boraginaceae	Cordia	dentata	0.69
30	A170gerascanthus	Boraginaceae	Cordia	gerascanthus	0.74
31	A186simaruba	Burseraceae	Bursera	simaruba	0.31
32	A216obtusifolia	Cecropiaceae	Cecropia	obtusifolia	0.36
33	A217peltata	Cecropiaceae	Cecropia	peltata	0.36
34	A21occidentale	Anacardiaceae	Anacardium	occidentale	0.48
35	A22graveolens	Anacardiaceae	Astronium	graveolens	0.75
37	A23indica	Anacardiaceae	Mangifera	indica	0.55
38	A241var.rekoi	Clusiaceae	Calophyllum	brasiliense	0.56

Memoria de cálculo
Inventario Nacional de Bosque de El Salvador 2017-2018

Núm.	Código	Familia	Género	Epíteto	Gravedad específica (g/cm³)
39	A249americana	Clusiaceae	Mammea	americana	0.62
40	A253racemosa	Combretaceae	Laguncularia	racemosa	0.84
41	A256oblonga	Combretaceae	Terminalia	oblonga	0.73
42	A264americana	Dilleniaceae	Curatella	americana	0.41
43	A28mombim	Anacardiaceae	Spondias	mombim	0.33
44	A290latifolia	Euphorbiaceae	Alchornea	latifolia	0.34
45	A29purpurea	Anacardiaceae	Spondias	purpurea	0.4
46	A338farnesiana	Fabaceae	Acacia	farnesiana	0.8
47	A340mangium	Fabaceae	Acacia	mangium	0.65
48	A341subsp.pennatula	Fabaceae	Acacia	pennatula	0.96
49	A349panamense	Fabaceae	Acosmium	panamense	0.95
50	A352adinocephala	Fabaceae	Albizia	adinocephala	0.52
51	A353carbonaria	Fabaceae	Albizia	carbonaria	0.52
52	A354guachapele	Fabaceae	Albizia	guachapele	0.52
53	A356niopoides	Fabaceae	Albizia	niopoides	0.52
54	A359subsp.inermis	Fabaceae	Andira	inermis	0.64
55	A35muricata	Annonaceae	Annona	muricata	0.4
56	A373coriaria	Fabaceae	Caesalpinia	coriaria	1.05
57	A374eristachys	Fabaceae	Caesalpinia	eristachys	1.05
58	A377velutina	Fabaceae	Caesalpinia	velutina	0.73
59	A379calothyrsus	Fabaceae	Calliandra	calothyrsus	0.64
60	A386fistula	Fabaceae	Cassia	fistula	0.8
61	A387grandis	Fabaceae	Cassia	grandis	0.76
62	A38reticulata	Annonaceae	Annona	reticulata	0.55
63	A400calycina	Fabaceae	Dalbergia	calycina	0.72
64	A404var.cuscatlanica	Fabaceae	Dalbergia	retusa	0.89
65	A406tucurensis	Fabaceae	Dalbergia	tucurensis	0.62
66	A407regia	Fabaceae	Delonix	regia	0.58
67	A408americana	Fabaceae	Diphysa	americana	0.81
68	A412cyclocarpum	Fabaceae	Enterolobium	cyclocarpum	0.35
69	A415fusca	Fabaceae	Erythrina	fusca	0.3
70	A417poepigiana	Fabaceae	Erythrina	poepigiana	0.3
71	A421sepium	Fabaceae	Gliricidia	sepium	0.65
72	A422brasiletto	Fabaceae	Haematoxylum	brasiletto	0.83
73	A423courbaril	Fabaceae	Hymenaea	courbaril	0.77
74	A431subsp.vera	Fabaceae	Inga	vera	0.66
75	A433subsp.glabrata	Fabaceae	Leucaena	leucocephala	0.7
76	A435salvadorensis	Fabaceae	Leucaena	salvadorensis	0.81

Memoria de cálculo
Inventario Nacional de Bosque de El Salvador 2017-2018

Núm.	Código	Familia	Género	Epíteto	Gravedad específica (g/cm ³)
77	A437trichandra	Fabaceae	Leucaena	trichandra	0.7
78	A438acuminatus	Fabaceae	Lonchocarpus	acuminatus	0.69
79	A440guatemalensis	Fabaceae	Lonchocarpus	guatemalensis	0.69
80	A441lanceolatus	Fabaceae	Lonchocarpus	lanceolatus	0.69
81	A444minimiflorus	Fabaceae	Lonchocarpus	minimiflorus	0.69
82	A448purpureus	Fabaceae	Lonchocarpus	purpureus	0.69
83	A450subsp.apricus	Fabaceae	Lonchocarpus	rugosus	0.69
84	A451salvadorensis	Fabaceae	Lonchocarpus	salvadorensis	0.69
85	A457divaricatum	Fabaceae	Lysiloma	divaricatum	0.77
86	A458biovulatum	Fabaceae	Machaerium	biovulatum	0.7
87	A467frutescens	Fabaceae	Myrospermum	frutescens	0.89
88	A468pereirae	Fabaceae	Myroxylon	pereirae	0.78
89	A476dulce	Fabaceae	Pithecellobium	dulce	0.65
90	A482juliflora	Fabaceae	Prosopis	juliflora	0.78
91	A486saman	Fabaceae	Samanea	saman	0.51
92	A488parahyba	Fabaceae	Schizolobium	parahyba	0.48
93	A503var.spectabilis	Fabaceae	Senna	spectabilis	0.48
94	A532aculeata	Flacourtiaceae	Casearia	aculeata	0.62
95	A535corymbosa	Flacourtiaceae	Casearia	corymbosa	0.62
96	A551styraciflua	Hamamelidaceae	Liquidambar	styraciflua	0.56
97	A553americanus	Hernandiaceae	Gyrocarpus	americanus	0.32
98	A560olanchana	Juglandaceae	Juglans	olanchana	0.46
99	A587americana	Lauraceae	Persea	americana	0.46
100	A588caerulea	Lauraceae	Persea	caerulea	0.46
101	A639argentea	Melastomataceae	Miconia	argentea	0.72
102	A654indica	Meliaceae	Azadirachta	indica	0.64
103	A655monroensis	Meliaceae	Cedrela	monroensis	0.43
104	A656odorata	Meliaceae	Cedrela	odorata	0.42
105	A657salvadorensis	Meliaceae	Cedrela	salvadorensis	0.43
106	A658tonduzii	Meliaceae	Cedrela	tonduzii	0.36
107	A660glabra	Meliaceae	Guarea	glabra	0.6
108	A664humilis	Meliaceae	Swietenia	humilis	0.56
109	A665macrophylla	Meliaceae	Swietenia	macrophylla	0.56
110	A669hirta	Meliaceae	Trichilia	hirta	0.6
111	A676altilis	Moraceae	Artocarpus	altilis	0.43
112	A678subsp.alicastrum	Moraceae	Brosimum	alicastrum	0.69
113	A683benjamina	Moraceae	Ficus	benjamina	0.46
114	A691subsp.insipida	Moraceae	Ficus	insipida	0.5

Núm.	Código	Familia	Género	Epíteto	Gravedad específica (g/cm³)
115	A700subsp.tinctoria	Moraceae	Maclura	tinctoria	0.71
116	A703mexicana	Moraceae	Trophis	mexicana	0.44
117	A73arboreus	Araliaceae	Dendropanax	arboreus	0.4
118	A761dioica	Myrtaceae	Pimenta	dioica	0.86
119	A843robusta	Proteaceae	Grevillea	robusta	0.52
120	A846var.montana	Proteaceae	Roupala	montana	0.77
121	A849arborescens	Rhamnaceae	Colubrina	arborescens	0.74
122	A852calderonii	Rhamnaceae	Karwinskia	calderonii	1.09
123	A859mangle	Rhizophoraceae	Rhizophora	mangle	0.89
124	A863japonica	Rosaceae	Eriobotrya	japonica	0.88
125	A86actinophylla	Araliaceae	Schefflera	actinophylla	0.41
126	A877candidissimum	Rubiaceae	Calycophyllum	candidissimum	0.81
127	A882arabica	Rubiaceae	Coffea	arabica	0.62
128	A893americana	Rubiaceae	Genipa	americana	0.51
129	A89angustifolia	Araucariaceae	Araucaria	angustifolia	0.55
130	A937salvadorensis	Rubiaceae	Simira	salvadorensis	0.65
131	A952sinensis	Rutaceae	Citrus	sinensis	0.78
132	A960subsp.caribaeum	Rutaceae	Zanthoxylum	caribaeum	0.42
133	A963mayanum	Rutaceae	Zanthoxylum	mayanum	0.46
134	A973humboldtiana	Salicaceae	Salix	humboldtiana	0.45
135	A983bijugatus	Sapindaceae	Melicoccus	bijugatus	0.61
136	A986saponaria	Sapindaceae	Sapindus	saponaria	0.8
137	A993decandrum	Sapindaceae	Thouinidium	decandrum	0.67
138	A994cainito	Sapotaceae	Chrysophyllum	cainito	0.74
139	A996chicle	Sapotaceae	Manilkara	chicle	1.04
140	A997zapota	Sapotaceae	Manilkara	zapota	0.8
141	A998campechiana	Sapotaceae	Pouteria	campechiana	0.9

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo de la biomasa en coníferas

Para la biomasa del bosque de coníferas se han realizado dos aproximaciones, dependiendo de si las especies encontradas son efectivamente coníferas o latifoliadas. En el caso de las últimas, se ha empleado de nuevo la fórmula de Chave *et al.* (2005), con la gravedad específica promedio y con la relación altura – diámetro calculada para este estrato.

Para el caso de las coníferas, la ecuación alométrica empleada ha sido la de Alberto y Elvir (2005), obtenida en Honduras en zonas *limítrofes* con El Salvador (departamento de La Paz), para bosques naturales de *pinus oocarpa*. La ecuación empleada es la siguiente, y se aplica tanto a esta conífera como al resto de especies del género *pinus* del país:

$$(22) \text{ Ln Biomasa} = -2.18352102 + 0.85091168 * \text{Ln (DAP}^{2*H})$$

Donde el DAP se introduce en cm y la altura en m. El resultado de la biomasa es en kg. Para el cálculo de esta ecuación de biomasa se utilizaron 31 árboles, con clases diamétricas entre 10 y 54 cm, y alturas de 7 a 24 m. Los resultados para árboles fuera de este rango son aproximaciones. Para el caso de la biomasa de *cupressus lusitanica* se ha empleado la ecuación de la FAO (2013), con la biomasa en kg y el DAP en centímetros:

$$(23) \text{ Biomasa} = 0.5266 * \text{DAP}^{1.7712}$$

Cálculo de la biomasa aérea en el cafetal bajo sombra

El cálculo de la biomasa total aérea del cafetal bajo sombra (CBS) está formado por cuatro componentes:

- ✓ Biomasa de los árboles de la UMBA1 (DAP mayores o iguales a 10 cm).
- ✓ Biomasa de los árboles de la UMBA2 (DAP mayores o iguales a 2 cm y menores o iguales a 9.9 cm).
- ✓ Biomasa de los tocones de las plantas de café.
- ✓ Biomasa de las matas.

En el caso de las especies de árboles de la UMBA1 y la UMBA2 se ha empleado de nuevo la fórmula de Chave *et al.* (2005), con las diferentes especies encontradas de este estrato y con las gravedades específicas ya presentadas en el caso del bosque latifoliado. La biomasa aérea - sobre el suelo (en kg) seca de los árboles se calcula con el empleo de la ecuación alométrica:

$$(24) \text{ Biomasa} = 0.0509 \cdot \rho \cdot \text{DAP} \cdot \text{altura}$$

Donde ρ es la gravedad específica en g/cm³, el DAP es el diámetro en centímetros, y la altura es la altura total en metros.

Puesto que los árboles de la UMBA 1 de CBS se ven afectados por podas para regular la entrada de luz, se ha propuesto un porcentaje de reducción de la biomasa de la copa según la disponibilidad de copa indicada en campo. El porcentaje de copa respecto de la biomasa total aérea ha sido analizado de manera bibliográfica:

Tabla 20. Porcentaje de copa respecto de la biomasa total aérea.

Biomasa copa (%)		Fuente
<i>Clethra mexicana</i>	54.87	Acosta <i>et al.</i> , 2011
<i>Alnus arguta</i>	39.39	Acosta <i>et al.</i> , 2011
<i>Alchornea latifolia</i>	50.58	Aquino-Ramírez <i>et al.</i> , 2014
<i>Inga punctata</i>	59.26	Aquino-Ramírez <i>et al.</i> , 2014
<i>Quercus magnoliaefolia</i>	37.4	Gómez <i>et al.</i> , 2011
Promedio	48.3	

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Se procede, por tanto, a aplicar la reducción que corresponda (la observada en campo), sobre el 48.3 % de la biomasa aérea.

Para el caso de la biomasa del café con tocón y recepa se ha empleado el estudio de Castellanos *et al.* (2010). Este estudio, realizado en Guatemala, ha generado

fórmulas para el cálculo de la biomasa aérea, separando los tocones del café de sus matas. Para el caso de los tocones, la fórmula empleada es la siguiente:

$$(25) \text{ Biomasa (tocones)} = 0.1124 \cdot (\text{DAB}^2 \cdot h)^{0.5435}$$

Donde la biomasa es en kg, el DAB en cm y la h (altura total) en m.

La biomasa aérea de los retoños de una mata de café emplea la siguiente fórmula:

$$(26) \text{ Biomasa (retoños)} = 0.1955 \cdot \text{DAB}^{1.648}$$

Donde la biomasa es en kg y el DAB (diámetro a la base) del retoño en cm. Puesto que en campo se midieron los hijos con mayor DAB y menor DAB, los cálculos emplean el DAB promedio para calcular la biomasa del resto de hijos (el número total de hijos también es tomado en campo).

En el cálculo de la biomasa del café se han incluido todas las plantas de café, así como, de todos los hijos (todos los DAB). Los hijos con DAB mayor que 2 cm aportan una biomasa importante al cómputo total de la biomasa aérea del café por la propia naturaleza de la especie y, por este hecho, se ha decidido tenerlos en cuenta también.

Cálculo de la biomasa en bosque salado

Al igual que en el resto de los estratos, en el caso del bosque salado se calcula la biomasa total aérea (para poder posteriormente transformarla en carbono).

No obstante, debido a las diferencias en su composición y estructura respecto a los bosques de tierra firme, los enfoques para cuantificar su composición, el stock de carbono y su situación difieren.

La determinación de la biomasa se realiza, en este caso, con ecuaciones alométricas existentes. Estas ecuaciones ofrecen una relación entre la biomasa total del árbol (con todos sus componentes aéreos, es decir: ramaje, hojas, etc.), y los parámetros medidos en campo. En este caso, la determinación de la especie es importante para poder elegir la ecuación alométrica más adecuada.

La elección de la ecuación alométrica a usar ha de considerar el origen geográfico de la ecuación y/o las especies para las cuales ha sido elaborada. Dado que hay grandes diferencias en la estructura y en la densidad de la madera entre las diferentes especies, las ecuaciones de ellas tienden a ser más precisas que las ecuaciones generales. Por este motivo, se han tomado ecuaciones específicas siempre que ha sido posible.

Por otra parte, es una cuestión relevante el considerar el diámetro máximo para el cual la ecuación fue calculada. Aplicar la ecuación para aquellos árboles que exceden el diámetro máximo da lugar a una sobreestimación de la biomasa.

Las ecuaciones empleadas han sido las siguientes, seleccionadas de la referencia *Coastal Blue Carbon* (Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M. eds, 2014).

Tabla 21. Ecuaciones de cálculo de la biomasa total aérea para el manglar.

Tipo	DAPmax	Hmax	Ecuación
Ecuación general para América que considera sólo el DAP	42 cm	-	$B=0.168 \cdot p \cdot \text{DAP}^{2.471}$
Ecuación para las especies del género <i>Rhizophora</i> spp.	60 cm	35 m	$B=0.0375 \cdot (\text{DAP}^2 \cdot h)^{0.98626 \cdot p}$

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Tras analizar las especies presentes en las parcelas levantadas se han seleccionado los valores de sus densidades (t/m^3):

Tabla 22. *Densidad media de la madera de diferentes especies de manglar.*

Especie	Densidad media de la madera (t/m ³)
<i>Avicenia germinans</i>	0.90
<i>Laguncularia racemosa</i>	0.60
<i>Rhizophora mangle</i>	0.89
Resto de especies	0.613

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo de los componentes del carbono

Los componentes de carbono calculados para el INB de El Salvador son los recogidos en usos AFOLU (*Agriculture, Forestry and Other land Use* en IPCC, 2006), ordenados en las siguientes categorías:

- ✓ CO₂ de árboles con DAP mayor o igual a 10 cm (UMBA1).
- ✓ CO₂ de árboles con DAP mayor o igual a 2 cm pero menor a 10 cm (UMBA2).
- ✓ CO₂ raíces.
- ✓ CO₂ hojarasca.
- ✓ CO₂ madera muerta.
- ✓ CO₂ herbáceas.
- ✓ CO₂ suelo.

Tabla 23. Definiciones de los depósitos de carbono utilizados en AFOLU para cada categoría del uso de la tierra.

Depósito		Descripción
Biomasa viva	Aérea	Toda la biomasa de la vegetación viva, tanto de madera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje. Nota: en los casos en los que el sotobosque sea un componente menor del depósito de carbono de la biomasa aérea, es aceptable que se lo excluya para las metodologías y los datos asociados que se utilizan en ciertos niveles, siempre que éstos se empleen de manera coherente a lo largo de toda la serie temporal del inventario.
	Subterránea	Toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Incluye toda la biomasa leñosa no viviente que no está contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida en el suelo o semienterrada. La madera muerta incluye la madera tendida en la superficie, las raíces muertas y las cepas de 10 cm de diámetro o más (o del diámetro especificado por el país).
	Hojarasca	Incluye toda la biomasa no viva con un tamaño mayor que el límite establecido para la materia orgánica del suelo (sugerido 2 mm), y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta (Ej. 10 cm), que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye la capa de hojarasca como se la define habitualmente en las tipologías de suelos. Las raíces vivas finas por encima del suelo mineral u orgánico (por debajo del diámetro mínimo límite elegido para la biomasa subterránea) se incluyen con la hojarasca cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente.
Suelos	Materia orgánica del suelo	Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad dada, elegida por el país y aplicada coherentemente a lo largo de la serie temporal. Las raíces finas vivas y muertas y la DOM (<i>Dead Organic Matter</i>, Materia Orgánica Muerta, en español) que se encuentran dentro del suelo y que miden menos que el límite de diámetro mínimo (sugerido 2 mm) para raíces y DOM se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm. En el caso de El Salvador, la profundidad es de 20 cm para el bosque general y el café bajo sombra, y 100 cm para el mangle.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

La siguiente Figura resume los componentes de carbono que se calculan en el INB:

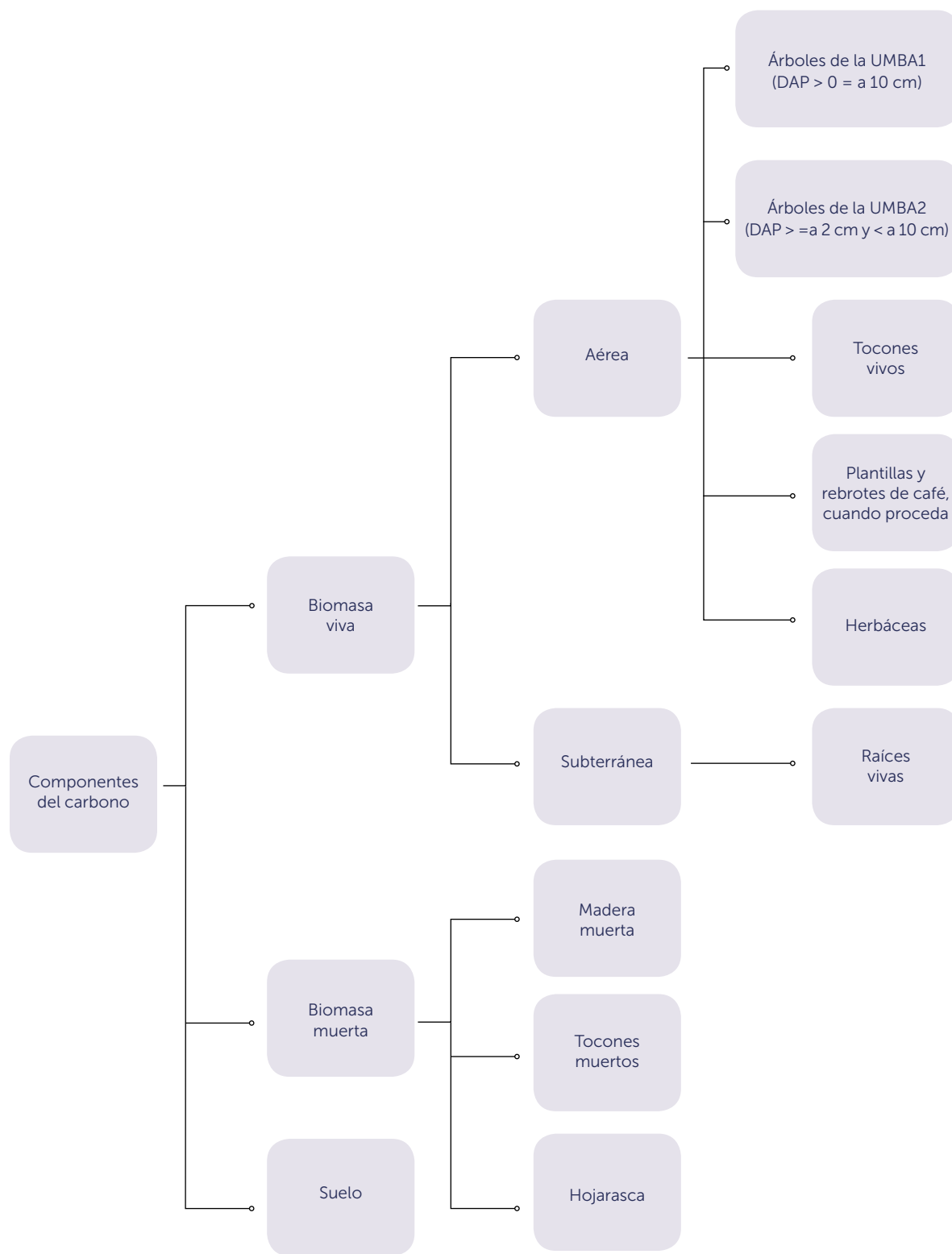


Figura 5. Componentes del carbono.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

CO₂ de los árboles (DAP igual o mayor a 10 cm y DAP inferior a 10 cm y superior a 2 cm)

Para el cálculo del CO₂ fijado por los árboles se debe calcular primero el carbono asociado al componente árbol. El carbono aéreo (en toneladas) es calculado usando la fracción de carbono de la literatura para especies o bosques tropicales.

El contenido de carbono de la biomasa se estima en un 47 % según el IPCC (2006), basado a su vez en Andreae y Merlet (2001); Chambers *et al.*, (2001); McGroddy *et al.* (2004); Lasco y Pulhin (2003). Por tanto, para el cálculo del carbono aéreo (C_A) se emplea esta fórmula:

$$(27) C_A = B \cdot 0.47$$

El dióxido de carbono (CO₂) fijado es calculado usando el carbono de la biomasa, multiplicado por la constante 44/12, ratio de pesos moleculares, según indicado en IPCC (2006), de la siguiente forma:

$$(28) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

En el caso de los tocones vivos, el procedimiento de cálculo es análogo. Primero hay que calcular el volumen que suponen, para luego calcular su biomasa, su carbono y su CO₂ fijado:

- ✓ El volumen del tocón se obtiene asimilando su forma a la de un cilindro, donde el diámetro puede ser el DAP (si el tocón lo tiene) o el diámetro a media altura:

$$(29) V_{\text{tocón vivo}} = \pi \cdot (\text{diámetro}/2)^2 \cdot \text{altura}$$

- ✓ La estimación de la biomasa del tocón se obtiene multiplicando el volumen del tocón por la densidad. En este caso se emplea la densidad media de las especies de El Salvador, establecida en 0.613 g/cm^3 .
- ✓ Una vez se dispone de la biomasa, el carbono se calcula con la fracción del 0.47 del IPCC (2013).
- ✓ El CO_2 fijado se calcula multiplicando por la constante 44/12.

CO_2 de las raíces

Puesto que en el INB no se han tomado muestras de raíces para la determinación de carbono, la misma se estima empleando distintos métodos según se trate de bosque general o de bosque salado.

En el caso del bosque general, la biomasa subterránea no se estima para los árboles individuales, sino para los distintos tipos de bosque y usos de la tierra, utilizando como variable independiente la estimación de la biomasa aérea. Se utiliza el modelo de Cairns *et al.* (1997) para bosques tropicales:

$$(30) \text{ BS} = e^{-1.0587 + 0.8836 \cdot \text{Ln}(\text{BA})}$$

Donde BS es la biomasa subterránea en toneladas por hectárea, y BA es la biomasa aérea seca.

En el caso del bosque salado, se emplea la ecuación general reportada por Komiyama *et al.* (2008), que es la siguiente:

$$(31) \text{ BS} = 0.199 \cdot \text{GE}^{0.899} \cdot \text{DAP}^{2.22}$$

Donde BS es la biomasa subterránea en kg, GE es la gravedad específica de la madera (en g/cm³), y el DAP está en centímetros.

Una vez contamos con la biomasa de las raíces, ya sea en bosque general o en bosque salado, para el cálculo del carbono se emplea esta fórmula:

$$(32) C_A = B \cdot 0.47$$

El dióxido de carbono (CO₂) fijado es calculado usando el carbono de la biomasa multiplicado por la constante 44/12, ratio de pesos moleculares, según indicado en IPCC (2006), de la siguiente forma:

$$(33) CO_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

CO₂ de la hojarasca

El CO₂ de la hojarasca se obtiene de su carbono, que a su vez se obtiene de la biomasa de la hojarasca determinada en laboratorio. En laboratorio se determina el porcentaje de carbono de la hojarasca, así como, su contenido de humedad. Además, se cuenta con el peso húmedo de la muestra, en gramos. Con esos datos, se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la biomasa:

$$(34) B \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\frac{Phbt}{1 + \left(\frac{CH}{100} \right)} \right) \cdot \left(\frac{1}{100} \right)$$

Donde:

- ✓ B es la biomasa en hojarasca.
- ✓ Phbt es el peso húmedo (gramos) de la muestra total.
- ✓ ch es el contenido de humedad. Se calcula a partir del peso seco obtenido en laboratorio:

$$(35)ch = \frac{Phs-Pss}{Pss} \cdot 100$$

Donde Phs es el peso húmedo de la submuestra tomada en campo y Pss es el peso seco de dicha submuestra.

El carbono orgánico se determina en laboratorio y se multiplica por la biomasa para obtener el carbono.

$$(36)C \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\frac{\%C}{100} \right) \cdot B \left(\frac{t}{ha} \right)$$

El dióxido de carbono (CO₂) fijado es calculado usando el carbono multiplicado por la constante 44/12, ratio de pesos moleculares, de la siguiente forma:

$$(37) CO_{2fijado} = C \cdot (44/12)$$

CO₂ de la madera muerta

Para determinar el contenido de carbono de la madera muerta se necesita su volumen. Dicho volumen (en m³/ha) es calculado siguiendo la metodología de Van Wagner (1968). En esta metodología, el volumen es calculado empleando el diámetro en centímetros de la troza de madera muerta (d), y la longitud del trayecto en metros (L):

$$(38)V = \frac{\pi^2}{8 \cdot L} \cdot \sum d^2$$

La longitud de los transectos es:

- ✓ Tres transectos de 10 m en el caso de bosque latifoliado, bosque de coníferas y cafetal bajo sombra.
- ✓ Cinco transectos de 10 m en el caso del bosque salado/mangle.

La biomasa se calcula multiplicando el volumen anterior por la gravedad específica de las maderas muertas, que a su vez depende del grado de descomposición tomado en campo, agrupado en tres categorías (sólido, intermedio y podrido).

Puesto que existe una elevada correlación entre la gravedad específica de la madera de los árboles vivos y la gravedad específica de la madera de los árboles muertos (Chao *et al.*, 2008), y visto que la gravedad específica media para las especies de El Salvador es de 0.613 t/m³, las fórmulas a emplear para las gravedades específicas son las siguientes:

- ✓ Maderas sólidas:

$$(39) \text{ GEMM} = 1.17 \cdot (\text{GEArb}) - 0.21$$

- ✓ Maderas intermedias:

$$(40) \text{ GEMM} = 1.17 \cdot (\text{GEArb}) - 0.31$$

- ✓ Maderas podridas: se utiliza un valor medio de la densidad por *detritus* de estudios publicados de bosques neotropicales de las tierras bajas (referencia), correspondiente a un valor fijo de 0.29 t/m³.

En el caso de los tocones y árboles muertos, una vez conocido su volumen, se le multiplica por la gravedad específica de la madera muerta para obtener la biomasa. Puesto que no se recogió en campo el grado de descomposición de la madera, para el caso de los tocones se asigna un valor intermedio (0.5 g/cm³).

CO₂ de herbáceas

El carbono contenido en las especies herbáceas es determinado en el laboratorio, a partir de las muestras recogidas en campo, y los pesos seco y fresco, de forma análoga a la hojarasca. Por tanto, las fórmulas indicadas allí son empleadas también para las herbáceas.

CO₂ del suelo

Introducción

El cálculo del carbono del suelo requiere de dos tipos de datos:

- ✓ Porcentaje de carbono orgánico obtenido a partir de las muestras de suelo para carbono.
- ✓ Densidad aparente.

Métodos de recolección de muestras de suelo para carbono

En el caso de los estratos de bosque latifoliado, bosque de coníferas y café bajo sombra, se ha realizado mediante dos métodos, tomando en ambos casos cuatro muestras, una en cada esquina correspondiente a la subparcela de hojarasca, que se mezclan en una muestra compuesta de aproximadamente 500 g de peso, a partir de la cual se define el porcentaje de carbono orgánico.

- ✓ **Método del cilindro/barreno.** En suelos blandos o suaves. Se extraen muestras de suelo en las cuatro esquinas de la parcela principal. El cilindro se introduce a una profundidad de 20 cm.
- ✓ **Método del palín.** En suelos duros o pedregosos. En este caso se usa el palín para cavar un hoyo, también de 20 cm de profundidad.

En el caso de bosque salado/mangle son cinco las muestras tomadas. En cada punto se toman dos muestras, la primera de 0-50 cm y la segunda de 50-100 cm. El barreno tiene 100 cm de longitud total y el número total de muestras por parcela es de 10.

Métodos de recolección de muestras para densidad aparente

La densidad aparente se define como la relación entre la masa del suelo secada en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre ellas.

Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica), y de su tipo de empaquetamiento.

En el caso de los estratos: bosque latifoliado, bosque de coníferas y café bajo sombra, los métodos para la obtención de la densidad aparente han sido dos:

- ✓ **Método del cilindro de volumen conocido.** Se usa en suelos no pedregosos ni arenosos. Los cilindros empleados en campo tienen dimensiones y volúmenes conocidos. Puesto que cada cuadrilla disponía de su cilindro, cada uno tenía un volumen similar, pero ligeramente distinto:

Tabla 24. Volúmenes de los cilindros empleados.

Cuadrilla	Volumen del cilindro (cm ³)
Cuadrilla 1	85.0122
Cuadrilla 2	91.1374
Cuadrilla 3	88.3086
Cuadrilla 4	89.6659
Cuadrilla REDD+ (cilindro Proyecto)	90.3700
Cuadrilla REDD+ (cilindro UES)	102.0700
Gubia Sinfinés o barreno de muestreo para sedimento en bosque salado	96.3600*

Nota: *es el volumen de cada una de las dos secciones donde se extrae las muestras del barreno, siendo de 20 a 25 cm y 70 a 75 cm de profundidad.

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

- ✓ **Método de la lámina de plástico.** Se emplea en sitios pedregosos y arenosos. En este caso se toma tanto el peso del suelo extraído, como el agua que rellena el hueco del suelo medida con una probeta.

También se toma una muestra de 100 g aproximadamente que se lleva al laboratorio.

En una parcela se toman tres muestras de densidad aparente, pudiendo haber combinaciones distintas de los métodos, según las condiciones encontradas de suelo.

Resumen de métodos de recolección necesarios para calcular el carbono del suelo

El siguiente esquema resume los métodos de recolección requeridos, para poder contar con las muestras necesarias para el análisis del carbono del suelo:

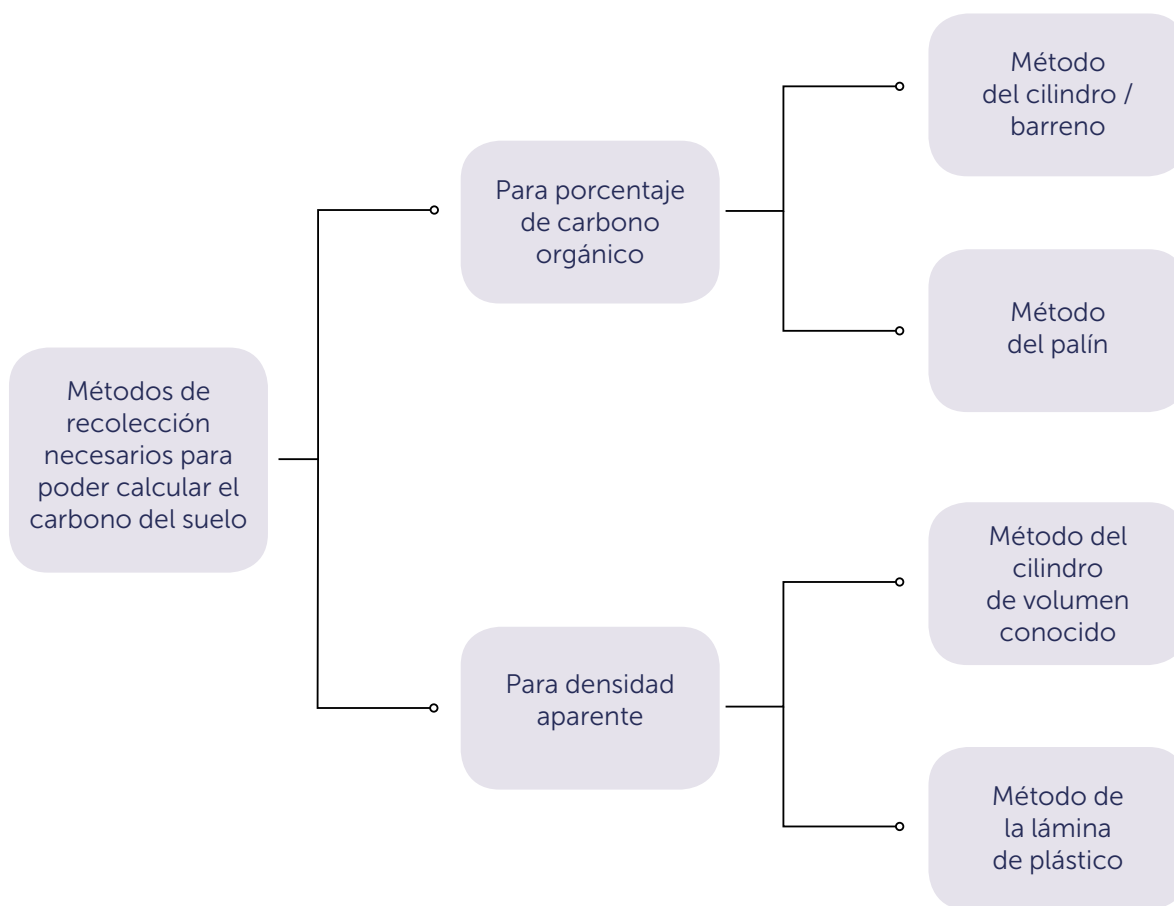


Figura 6. Métodos de recolección necesarios para poder calcular el carbono del suelo.
Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Cálculo del carbono del suelo

Tras la toma de muestras, según lo explicado en el numeral anterior, las muestras fueron enviadas, y los análisis del laboratorio de la Universidad de El Salvador devolvieron el porcentaje de carbono orgánico y de densidad aparente.

A partir de ellos, se puede determinar el carbono del suelo de la siguiente forma:

$$(41) C_{\text{suelo}} = 10.000 \cdot D_a \cdot P \cdot (\%CO/100)$$

Donde D_a es la densidad aparente en g/cm^3 , P es la profundidad definida para la toma de la muestra (m), y % CO es el porcentaje de carbono orgánico.

En el caso del bosque salado, dado que las muestras se toman a dos profundidades diferentes (dos), la metodología de cálculo varía ligeramente.

Tal y como establece el «Protocolo para la medición, monitoreo y el reporte de la estructura, biomasa y stocks de carbono en manglares» (Kauffman y Donato, 2012), las reservas de carbono en el suelo se obtienen a partir de la suma de la masa de carbono de cada intervalo de profundidad muestreado.

En cada intervalo de profundidad se calcula la densidad y la cantidad de carbono de la siguiente forma, donde el porcentaje de carbono (% C) equivale a concentración de carbono, expresada como número número entero:

$$(42) C_{\text{suelo}} (\text{mg/ha}) = \text{densidad aparente (g/cm}^3\text{)} \cdot \text{intervalo muestreo (cm)} \cdot \%C$$

La cantidad de carbono se determina sumando las masas de carbono calculadas para cada intervalo de profundidad. Idealmente, se consideraría toda la capa de carbono orgánico del suelo (de la superficie hasta la roca madre o arena).

Sin embargo, como en manglares es difícil muestrear todo el suelo orgánico, la reserva de carbono del suelo estará subestimada.

El dióxido de carbono (CO₂) fijado es calculado usando el carbono de la biomasa multiplicado por la constante 44/12 (ratio de pesos moleculares), de la siguiente forma:

$$(43) \text{CO}_{2\text{fijado}} = C \cdot (44/12)$$

Cálculo de variables ambientales

Variables de la regeneración

Densidad de la regeneración

La regeneración de las especies arbóreas se mide en tres o cinco parcelas circulares de 1 m de radio (y, por tanto, con una superficie cada una de 3.1416 m²), según se trate respectivamente de bosque general/bafetal bajo sombra o mangle/bosque salado. La superficie total en la que se estudia la regeneración depende, por tanto, del tipo de parcela:

Tabla 25. Factores de expansión a la hectárea para la regeneración.

Tipo de parcelas	Nº de subparcela de regeneración	Superficie de regeneración	Factor de expansión a la hectárea
General y café bajo sombra	3	9.424 m ²	1,061.03
Bosque salado	5	15.708 m ²	636.61

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Altura promedio de la regeneración

La altura promedio de la regeneración es simplemente la media aritmética de las alturas medidas en la subparcela de la regeneración. Ofrece un indicador del estado

de desarrollo de la regeneración arbórea. Solamente se contabilizan las especies arbóreas con potencial de alcanzar una altura superior a 5 m en estado adulto, menores o iguales a 1.9 cm de DAP y con una altura mínima de 30 cm.

Número de especies distintas en regeneración

Se calcula el número total de especies identificadas que se encuentran en la subparcela de regeneración, para cada parcela del INB.

Listado de especies distintas en regeneración

Se obtiene un listado de las especies que se encuentran en regeneración en la subparcela de regeneración, para cada parcela del INB. De cada una se presentan su familia, especie (género y epíteto), y el número de individuos encontrados.

Variables de diversidad

Densidad y porcentaje de herbáceas

Las herbáceas se miden en una subparcela de 1 m² de superficie (1 m x 1 m), dispuesta en la parte central oeste de la parcela principal (caso del bosque general/cafetal bajo sombra).

En el caso del mangle, aunque habitualmente no se encuentran especies herbáceas por la naturaleza del terreno, también se dispone de una subparcela de herbáceas (que a su vez es la misma subparcela donde se mide la regeneración en mangle/bosque salado).

En este último caso, la subparcela es circular, con un metro de radio y consecuentemente una superficie de 3.1416 m². Además, en vez de una única subparcela de herbáceas

(caso del bosque general/cafetal bajo sombra), en el caso del mangle/bosque salado existen cinco.

Tabla 26. Factores de expansión a la hectárea para las herbáceas.

Tipo de parcelas	Nº de subparcela de herbáceas	Superficie de regeneración	Factor de expansión
General y café bajo sombra	1	1 m ²	10,000.00
Bosque salado	5	15.708 m ²	636.61

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

En dicha parcela se indica la especie y el número de ejemplares. Por tanto, se cuentan los individuos, y cuando no es posible se indica el porcentaje del área total de la parcela que cubre dicha especie.

Puesto que es posible que en la misma subparcela de herbáceas se mida o bien individuos, o bien porcentajes, se presentan dos resultados: por una parte, los individuos por hectárea y, por otra, la suma de porcentajes de cobertura. En caso que esa suma supere el 100 %, el valor se trunca al 100 % (el valor de cobertura no puede ser superior al 100 %).

Número total de especies de herbáceas distintas

Se calcula el número total de especies identificadas que se encuentran en la subparcela de diversidad de herbáceas, para cada parcela del INB.

Listado de especies distintas de herbáceas

Se obtiene un listado de las especies distintas identificadas que se encuentran en la subparcela de diversidad de herbáceas, para cada parcela del INB. De cada una se incluye su género.

Densidad y porcentaje de arbustos, bejucos, cañas helechos y bambúes

En el caso del bosque general/cafetal bajo sombra, la subparcela corresponde a una faja de 25 m² (2.5 m x 10 m), dispuesta en el centro de la parcela principal y orientada perpendicular al eje longitudinal de la misma. Se corresponde con la mitad norte de la subparcela UMBA2 central de la parcela principal. En el caso del mangle/bosque salado, esta subparcela tiene 3 m de radio (superficie de 28.27 m²), y se levanta en cada una de las cinco subparcelas.

Tabla 27. Factores de expansión a la hectárea para la parcela de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes.

Tipo de parcelas	Nº de subparcela de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes	Superficie de regeneración	Factor de expansión a la hectárea
General y café bajo sombra	1	25 m ²	400
Bosque salado	5	141.35 m ²	70.73

Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Como en el caso de las herbáceas, los datos tomados son o el número de individuos o el porcentaje del área total de la subparcela que la especie cubre (cuando resulte difícil distinguir individualmente las plantas).

Puesto que es posible que en la misma subparcela de herbáceas se mida o bien individuos o bien porcentajes, se presentan dos resultados: por una parte, los individuos por hectárea y, por otra, la suma de porcentajes de cobertura. En caso que esa suma supere el 100 %, el valor se trunca al 100 % (el valor de cobertura no puede ser superior al 100 %).

Número total de especies distintas de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes

Se calcula el número total de especies distintas identificadas que se encuentran en la subparcela de diversidad de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes para cada parcela del INB.

Listado de especies distintas de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambúes

Se obtiene un listado de las especies distintas identificadas que se encuentran en la subparcela de diversidad de arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambús para cada parcela del INB. De cada una se incluye su género.

Número de especies arbóreas distintas en las UMBA1 y UMBA2

Se calcula el número total de especies distintas identificadas que se encuentran en las subparcelas UMBA1 Y UMBA2, para cada parcela del INB.

Listado de especies arbóreas distintas en las UMBA1 y UMBA2

Se obtiene un listado de las especies distintas identificadas que se encuentran en las subparcelas UMBA1 y UMBA2, para cada parcela del INB. De cada una se incluye su género y su epíteto.

Cálculo de Índices de diversidad

El cálculo de los Índices de diversidad se realiza por estrato. Se miden los Índices de diversidad para: los árboles medidos (UMBA1 y UMBA2), herbáceas; y arbustos, bejucos, cañas, helechos y bambús.

Índice de Berger-Parker

El Índice de Berger-Parker mide la dominancia de la especie o taxón más abundante, y responde a la siguiente fórmula:

$$(44) D_{BP} = 1 - (N_{\text{máx}}/N)$$

Donde $N_{\text{máx}}$ es el número de individuos del taxón más abundante, y N es el número total de individuos de la muestra.

El Índice adquiere taxones entre 0 y 1. Cuanto más cercano a 1 dé el resultado, mayor diversidad de especies, es decir, menor dominancia del taxón más abundante.

Índice de Margalef

El Índice de Margalef responde a la siguiente fórmula:

$$(45) D_{\text{MG}} = \frac{(S-1)}{(\text{Ln } N)}$$

Donde S es el número de especies distintas presentes y N es el número total de individuos encontrados, pertenecientes a todas las especies.

Los valores inferiores a 2.0 son considerados como zonas de baja biodiversidad, y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Índice de Menhinick

El Índice de Menhinick responde a la siguiente fórmula:

$$(46) D_{\text{ME}} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde S es el número de especies distintas dentro de la parcela, y N es el número total de individuos incluidos en ella.

Valores altos del Índice (3.0 – 4.0) significan alta biodiversidad, mientras que, valores cercanos a 0 significan indican baja biodiversidad.

Índice de Simpson

El Índice de Simpson responde a la siguiente fórmula:

$$(47) D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

Donde n es el número de ejemplares por especie, N es el total de ejemplares presentes (considerando todas las especies).

Este Índice da más importancia a las especies más abundantes de la parcela, mientras que es menos sensible a la riqueza de especies.

Su valor oscila entre 0 (diversidad infinita), y 1 (no hay diversidad.)

Índice de Shannon-Wiener

El Índice de Shannon-Wiener responde a la siguiente fórmula:

$$(48) H' = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$$

Donde S es el número de especies, p_i es la proporción de la especie i respecto al total de individuos (es decir, la abundancia relativa de la especie).

Este Índice se expresa con un número positivo, donde valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos. Aunque en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5.

Adquiere un valor de 0 cuando solo hay una especie, y valores altos cuando todas las especies están igualmente presentes.

Índice de Equidad de Shannon – Wiener

Este Índice describe como cómo se distribuye el número de especies entre los individuos que conforman la comunidad vegetal. Responde a la siguiente fórmula:

$$(49) E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde H' es el Índice de Shannon-Wiener descrito en el numeral anterior, y S es el número total de especies muestreadas.

Este Índice varía entre 0 y 1, con 1 representando perfecta equidad.

Variables relacionadas con el estado fitosanitario

Densidad de árboles con daño mecánico

Se calcula el número de árboles con daño mecánico en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por su correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea. El resultado se muestra, por tanto, en árboles por hectárea.

Porcentaje de árboles con daño mecánico

Se calcula el porcentaje de árboles con daño mecánico en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Densidad de árboles con daño por insecto

Se calcula el número de árboles con daño por insecto en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por su correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea. El resultado se muestra, por tanto, en árboles por hectárea.

Porcentaje de árboles con daño por insecto

Se calcula el porcentaje de árboles con daño por insecto en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Densidad de árboles con daño por patógeno

Se calcula el número de árboles con daño por patógeno en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por su correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea. El resultado se muestra, por tanto, en árboles por hectárea.

Porcentaje de árboles con daño por patógeno

Se calcula el porcentaje de árboles con daño por patógeno en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Densidad de árboles con daño por incendio forestal

Se calcula el número de árboles con daño por incendio forestal en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por su correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea. El resultado se muestra, por tanto, en árboles por hectárea.

Porcentaje de árboles con daño por incendio forestal

Se calcula el porcentaje de árboles con daño por incendio forestal en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Densidad de árboles muertos

Se calcula el número de árboles muertos en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por su correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea. El resultado se muestra, por tanto, en árboles muertos por hectárea.

Porcentaje de árboles muertos

Se calcula el porcentaje de árboles muertos en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Número de árboles con algún daño fitosanitario de las UMBA1 y UMBA2

Se calcula el número de árboles con problemas fitosanitarios, de cualquier tipo, en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, cada una de ellas multiplicada por el correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea.

No se distinguen entre los diferentes tipos de daños, que pueden ser: enfermo por patógeno, viento, rayo, insecto, mecánico, incendio forestal, muerto, plantas parásitas o por bejucos/lianas.

Porcentaje de árboles con algún daño fitosanitario

Se calcula el porcentaje de árboles con algún daño fitosanitario en las subparcelas de las UMBA1 y UMBA2, respecto del total de árboles presentes.

Número de árboles con epifitismo de la UMBA1

Se calcula el número de árboles con epifitismo en la subparcela de la UMBA1, multiplicada por el correspondiente coeficiente de expansión a la hectárea.

El dato de epifitismo como tal solamente es tomado para los árboles de la UMBA1.

Porcentaje de árboles con epifitismo respecto del total de la UMBA1

Se calcula el porcentaje de árboles con epifitismo en la subparcela de la UMBA1 respecto del total de árboles presentes.

Metodologías cartográficas

Interpolación de las variables para la obtención de mapas continuos

Una vez obtenido el valor de cada variable, para cada parcela, se han calculado mapas continuos de cada una de ellas a través de técnicas geoestadísticas.

El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Se estudia cada una de las variables variable a nivel estadístico.
 - ✓ En primer lugar, se calcula el histograma y se observa si el mismo presenta normalidad. Se cuantifica el valor central, la dispersión y la simetría del mismo. También se pueden observar los *outliers* en el diagrama. Si la mediana tiene aproximadamente un valor parecido a la media, es probable que los datos estén distribuidos normalmente. En caso de que no lo estén, se aplican transformaciones para adecuarlos a una distribución normal.
 - ✓ También se calcula el «Normal QQPlot», que se usa para comparar la distribución de los datos respecto a una distribución estándar normal. Cuanto más cerca estén los puntos a la línea de 45°, más se sigue una distribución normal.
 - ✓ Se calcula el diagrama Voronoi, eligiendo como variable a mostrar la entropía o la desviación estándar. Los polígonos de Thiessen generados se tienen que

distribuir aleatoriamente. Esto permite detectar si los datos son o no son estacionarios.

Los datos son estacionarios cuando la relación entre dos puntos depende sólo solo de la distancia que hay entre ellos.

La varianza de los datos es constante. Si no lo es, los datos no son estacionarios.

- ✓ Se analiza la existencia de tendencias. El componente no aleatorio que supone dicha tendencia puede ser representado por una fórmula matemática, que debe ser obtenida durante el proceso de interpolación. Esa tendencia es eliminada de los datos para poder hacer un ajuste satisfactorio.
- ✓ Se analiza la autocorrelación espacial. Se asume que los puntos que están cercanos entre sí presentan valores similares. A través del semivariograma/ nube de covarianza se puede observar esta relación. En ese caso, en los modelos se introduce la anisotropía para eliminar este efecto.

2. Se eligen los parámetros y el modelo de interpolación. En el caso del INB de El Salvador, de mayor a menor complejidad, se han empleado los modelos de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*), *Kriging simple* y *Kriging* ordinario. En cada caso se analiza si se introduce una transformación para normalizar los datos, si se eliminan tendencias y de qué orden son las mismas y se introduce o no la anisotropía. También se observan y eliminan valores anómalos. Por ejemplo, para las variables forestales, el semivariograma presenta valores anómalos para la parcela BSF2_37, por lo que la misma no es considerada en los análisis.

3. Finalmente, una vez elegido el modelo, se calcula tanto la estimación como su error estándar asociado. Para ello se generan los *rásters* datos continuos y necesarios, y se procede con el montaje de los mapas respectivos.

Estos datos, con su correspondiente error, pueden ser empleados para la obtención de resultados de las variables para aquellos lugares en los que no existe información (zonas de café, áreas naturales protegidas, etc.).

Metodología de preparación cartográfica de las áreas naturales protegidas (ANP)

Preparado por el equipo técnico de REDD+Mba.

1. Objetivo: preparar la cartografía de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de El Salvador para ser usada en el INB, con el fin de conocer la superficie, existencia y características del bosque al interior de estas ANP.

2. Metodología: para conocer la superficie de bosque al interior de la totalidad de las ANP de El Salvador, es necesario disponer de cada segmento y/o polígono cartográfico de estas, para lo cual, se procedió a solicitar dicha documentación a la unidad del Sistemas de Información Geoambientales del MARN, no obstante, dicha cartografía estaba faltante de algunos polígonos, como:

- ✓ Hatehuecian.
- ✓ El Chino.
- ✓ El Retiro.
- ✓ La Chapino o Cerro cerro la Oveja.
- ✓ La Labor.
- ✓ Nancuchiname (áreas de reservas y lote 2-b mata de piña).
- ✓ Pablo Cañales.
- ✓ San José Miramar.
- ✓ Buenos Aires.

Cabe mencionar que la cartografía proporcionada por la unidad del Sistemas de Información Geoambientales del MARN incluía propiedades o inmuebles en proceso para de declararse ANP, y que fueron eliminadas de la cartografía que se prepara de las ANP y ser usadas en el INB.

Otra aclaración en relación con la preparación de la cartografía en mención, es que no se tomó la totalidad del la Área Nacional Protegida Complejo Los Cóbano, específicamente la porción marítima, situada en la costa del departamento de Sonsonate.

En resumen, la superficie de ANP a considerar en el INB para obtener los resultados de los bosques al interior de estas son es de 27,090.33 ha, equivalentes al 1.28 % del territorio nacional, como se puede ver en la información digital adjunta.

Otra consideración en este análisis, es que no se ha tomado en cuenta el bosque salado como ANP.

Metodología de preparación cartográfica de propiedades del estado

Preparado por el equipo técnico de REDD+Mba.

- 1. Objetivo:** preparar preparar la cartografía de las propiedades del Estado para ser usada en el INB, con el fin de conocer la superficie, existencias y características del bosque al interior de éstas (propiedades del Estado) estas propiedades.
- 2. Metodología:** para conocer la superficie de las propiedades del Estado del país, se tuvo que hacer una recolección de polígonos catastrales disponibles en las diferentes instituciones del Estado, que tienen a su cargo la administración de inmuebles estatales. En la Tabla 30, se detallan las instituciones que disponían de información de propiedades del estado al respecto:

Tabla 28. *Instituciones que disponen de inmuebles propiedades del Estado.*

Institución	Categoría	Cantidad de inmuebles	Observaciones	Superficie (ha)	%
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)	ANP declaradas del Estado.	Varias	Todas dispone con decreto de declaratoria.	26,981.99	28.18
	Áreas en proceso de declaratoria a ANP del Estado*.	Varias	Son inmuebles que el Instituto Salvadoreño de Transferencia.	66,799.47	69.77
Instituto Salvadoreño de Turismo (ISTU)	Parques nacionales.	2	Dos propiedades bajo la administración del Instituto Salvadoreño de Turismo (ISTU): Cerro Verde y Parque Walter Thilo Deininger.	941.94	0.98
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)	Fincas forestales.	4	Fincas administradas por el Área de Recursos forestales: El Tremedal, Las Pilas, Santo Tomás y el Alto Roble.	550.44	0.57
Alcaldías municipales	ANP declaradas municipales.	2	Los Pericos o Bicentenario (San Salvador y Antiguo Cuscatlán), y; San Eugenio La Concordia (Armenia).	234.65	0.25
	Áreas en proceso de declaratoria a ANP municipal.	2	Laguna Verde (Ahuachapán, Apaneca y Juayua); laguna de Las Ninfas (Ahuachapán y Apaneca).	240.03	0.25
Total				95,748.52	100.00

Nota: *incluye las áreas de bosque salado (mangle) que están bajo la administración del MARN.
Fuente: Proyecto TF 099529: Preparación de Propuesta Readiness de El Salvador, MARN, 2017-2018.

Como se establece en la Tabla, cuatro son las instituciones que administran propiedades del Estado, excepto aquellos inmuebles bajo la administración de alcaldías. No obstante, por ser la superficie muy pequeña: 474.68 ha se han incluido en las propiedades del Estado.

Luego de esta búsqueda de información de propiedades del Estado resultó una superficie total de: 95,748.52 ha, equivalentes al 4.54 % del territorio nacional.

Cabe mencionar que la información fue proporcionada por el personal técnico siguiente:

- ✓ Patricia Isabel Paredes, técnico de la Unidad Ambiental del Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria (ISTA).
- ✓ Wilfredo Fuentes, técnico de la unidad de Observatorio Ambiental del MARN.
- ✓ Jaime Alexander Aguilar Segura, coordinador del área de Administración Ambiental del MAG.
- ✓ Víctor Enmanuel Cuchilla Henríquez, técnico del área de Humedales del MARN.

En caso de las áreas en proceso de transferencia del ISTA al Estado, y que estarán bajo la administración del MARN, son tomadas como áreas en proceso de declaratoria como ANP. Cada propiedad fue revisada con el apoyo técnico de Patricia Isabel Paredes, del ISTA, y Víctor Enmanuel Cuchilla Henríquez, del MARN.

Para la preparación de esta cartografía Estatal se hacen las aclaraciones siguientes:

- ✓ Algunas pequeñas propiedades del Estado posiblemente no fueron incluidas por las razones siguientes:
 - No existe levantamiento del polígono catastral.
 - No se tiene la certeza que el inmueble sea propiedad del Estado o, en su defecto, municipal.
 - No se tuvo información de otras instituciones del Estado que posiblemente dispongan de inmuebles estatales.
- ✓ En el caso de los bosques salados o manglares propiedad del Estado y administrados por el MARN, la superficie considerada es la extensión de este tipo de vegetación, lo cual es una aproximación, ya que no existe una

delimitación exhaustiva catastral de dicho bosque del Estado, es decir, se asume que donde hay bosque salado es propiedad del Estado.

- ✓ No se consideró las superficies propiedad del Estado cubiertas de agua (lagos y lagunas), excepto las zonas de manglares que no se excluyó el agua.

Referencias Bibliográficas

- Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., & Gómez Villegas, R. G. 2011. *Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2(4), pp 529-543.*
- Alberto D., Elvir J.A. 2005. *Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de Pinus oocarpa en bosques naturales de Cabañas, La Paz, Tatascán, 17(2), pp 1-12.*
- Andreae, M.O. and Merlet, P. 2001. *Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochemical Cycles, 15. pp 955-966.*
- Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Castellanos-Bolaños, J. F., los Santos-Posadas, D., & Etchevers-Barra, J. D. 2015. *Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. Agrociencia, 49(3), pp 299-314.*
- Arias, D. 2004. *Estudio de las relaciones altura – diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica.*
- Brown S., Schroeder PE 1999. *Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern US forests. Ecol Appl, 9. pp 968-980.*
- Cairns M., Brown S., Helmer E., Baumgardner G. 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forest. Oecologia, 111. pp 1-11.*
- Castaneda F. Jelvez A. 1985. *Altura total, diámetro altura de pecho y factor de forma para Pinus oocarpa Shi en Siguatepeque, Honduras. Turrialba, 35(2), pp 151-154.*
- Castellanos E., Quilo A., Pons D. 2010. *Estudio de la línea base de carbono en cafetales. Universidad del Valle de Guatemala. Centro de Estudios Ambientales.*

- Chambers, J.Q., dos Santos, J., Ribeiro, R.J., and Higuchi, N. 2001. *Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in a tropical forest. Forest Ecology and Management*, 152. pp 73-84.
- 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. pp 1615-1626.
- Charles T. Scott. 2018. *Estimation Using Ratio-to-Size Estimator Across Strata and Subpopulations*.
- Chave J. et. al. 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia*, 145. pp 87-99.
- De Oliveira AA, Mori SA. 1999. *A central amazonian terra firme forest I. High tree species richness on poor soils. Biodv Cosnerv*, 8. pp 1219-1244.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. *GlobAllomeTree-Assessing volume, biomass and carbon stocks of trees and forests. Recuperado de <http://www.globalloometree.org/data/allometric-equations/>*
- Gómez-Díaz, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J., & Tinoco-Rueda, J. A. 2011. *Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Quercus magnoliaefolia. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), pp 261-272.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M. (eds.). 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA*.

- PCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2006. *Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*.
- Johnson H. 2000. *Funciones volumétricas para árboles en pie de ciprés (Cupressus lusitanica Mill.), en sistema de plantación pura*. Valle Central, Costa Rica.
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests*. Bogor, Indonesia: CIFOR. p 50.
- Komiyama, A., Ong J.E., Pongparn, S. 2008. *Allometry, biomass and productivity of mangrove forests: A review*. Aquatic Botany, 89. pp 128-137.
- Lasco, R.D. and Pulhin, F.B. 2003. *Philippine forest ecosystems and climate change: Carbon stocks, rate of sequestration and the Kyoto Protocol*. Annals of Tropical Research, 25. pp 37-51.
- McGroddy, M.E., Daufresne, T. and Hedin, L.O. (2004). *Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial Redfield-type ratios*. Ecology, 85. pp 2390-2401.
- Ojeda, W. 1983. *Factor de forma preliminar para seis familias de especies forestales tropicales*. Revista Forestal del Perú 11 (1-2). pp 1-6.
- Sánchez Páez, H., Ulloa Delgado, G. A., & Tavera Escobar, H. A. 2004. *Manejo integral de los manglares por comunidades locales: Caribe Colombiano*. N° Doc. 20678 CO-BAC, Bogotá.
- Shepashenko D., Shvidenko A., Nilsson S. 1998. *Phytomass (live biomass) and carbon of Siberian forests*. Biomass Bioenerg, 14. pp 21-31.

Ter-Mikaelian MT., Korzukhin MD. 1997. *Biomass equation for sixty-five North American tree species*. For Ecol Mang, 97. pp 1-24.

Van Wagner CE. 1968. *The line intersect method in forest fuel sampling*. Forest Science. 14(1). pp 20-26.

Vásquez, J.L. 2000. *Estructura de los bosques de mangle del Valle de los Cangrejos y el Riíto, delta del río Ranchería, Caribe Colombiano*. Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín, Colombia. pp 109.

Glosario

Access: sistema de gestión de bases de datos de Microsoft incluido en el paquete ofimático denominado Microsoft 365, sucesor de Embedded Basic.

Acimut o azimut: se refiere a un ángulo de la orientación sobre la superficie de una esfera real o virtual. Ángulo que se mide desde el norte a favor de las manecillas del reloj.

Business Intelligence (BI): Inteligencia del negocio o empresa

Bosque: área de tierra con un tamaño mínimo de 0.5 hectáreas, con una cobertura de dosel (copa) igual o mayor a 30 %, con árboles con un potencial para alcanzar una altura mínima de 4 metros a su madurez *in situ*. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

Cartografía: ciencia que se encarga del trazado y el estudio de mapas geográficos. Sus orígenes son muy antiguos, aunque no pueden precisarse con exactitud ya que la definición de mapa ha cambiado con el correr de los años.

Cetroide: concepto que suele utilizarse en el terreno de la geometría como sinónimo de baricentro. Se llama centroide o baricentro al punto donde se produce la intersección de las medianas que forman parte de un triángulo.

Copa: conjunto de ramas y hojas que forman la parte superior de un árbol.

Dashboard: herramienta que sirve para visualizar y dar seguimiento a determinados indicadores de desempeño o estado. Condensa en un solo lugar la información crítica de una máquina, una empresa, una estrategia, etc.

Dbeaver: aplicación de software cliente de SQL y una herramienta de administración de bases de datos. Para las bases de datos relacionales, utiliza la interfaz de programación de aplicaciones JDBC para interactuar con las bases de datos a través de un controlador JDBC.

Distribución t de Student: distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Fuste: tronco o tallo de un árbol desde la base hasta su punta sin tomar en cuenta las ramas.

Geostatistical Analyst: es una herramienta para crear fácilmente una superficie o un mapa continuos a partir de las mediciones almacenadas en una capa de entidad de puntos o una capa de ráster, o bien utilizando centroides de polígonos. Los puntos de muestra pueden ser mediciones, tales como elevación, profundidad a la capa freática o niveles de contaminación.

Geostatistical Analyst proporciona un amplio conjunto de herramientas para crear superficies que puedan utilizarse para visualizar, analizar y entender fenómenos espaciales.

Model Builder: se utiliza para modelar y automatizar sus procesos de análisis espacial y de administración de datos.

Parcela: unidad mínima de muestreo en un inventario forestal, donde se harán las diversas mediciones y/o caracterización de la vegetación.

Estratos: distribución de bosques según su tipo, superficie y porcentaje del territorio.

Pentaho BI Suite: es un conjunto de programas libres para generar inteligencia empresarial (*Business Intelligence*). Incluye herramientas integradas para generar informes, minería de datos, ETL, etc.

Python: lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.

PostgreSQL: también llamado Postgres, es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos y de código abierto, publicado bajo la licencia PostgreSQL,1 similar a la BSD o la MIT.

Unidad de muestreo: número de elementos o conjunto de población a estudiar. En este caso, parcelas de bosques.

XLSTAT: es un complemento de análisis de datos para Excel potente a la vez que flexible que permite a los usuarios analizar, personalizar y compartir resultados en Microsoft Excel.



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF | GRUPO BANCO MUNDIAL



giz
Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



SilvaCarbon

VIELCA
INTEGRACIÓN Y MONITOREO



www.marn.gob.sv | medioambiente@marn.gob.sv

