



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

Manual de Fórmulas Forestales

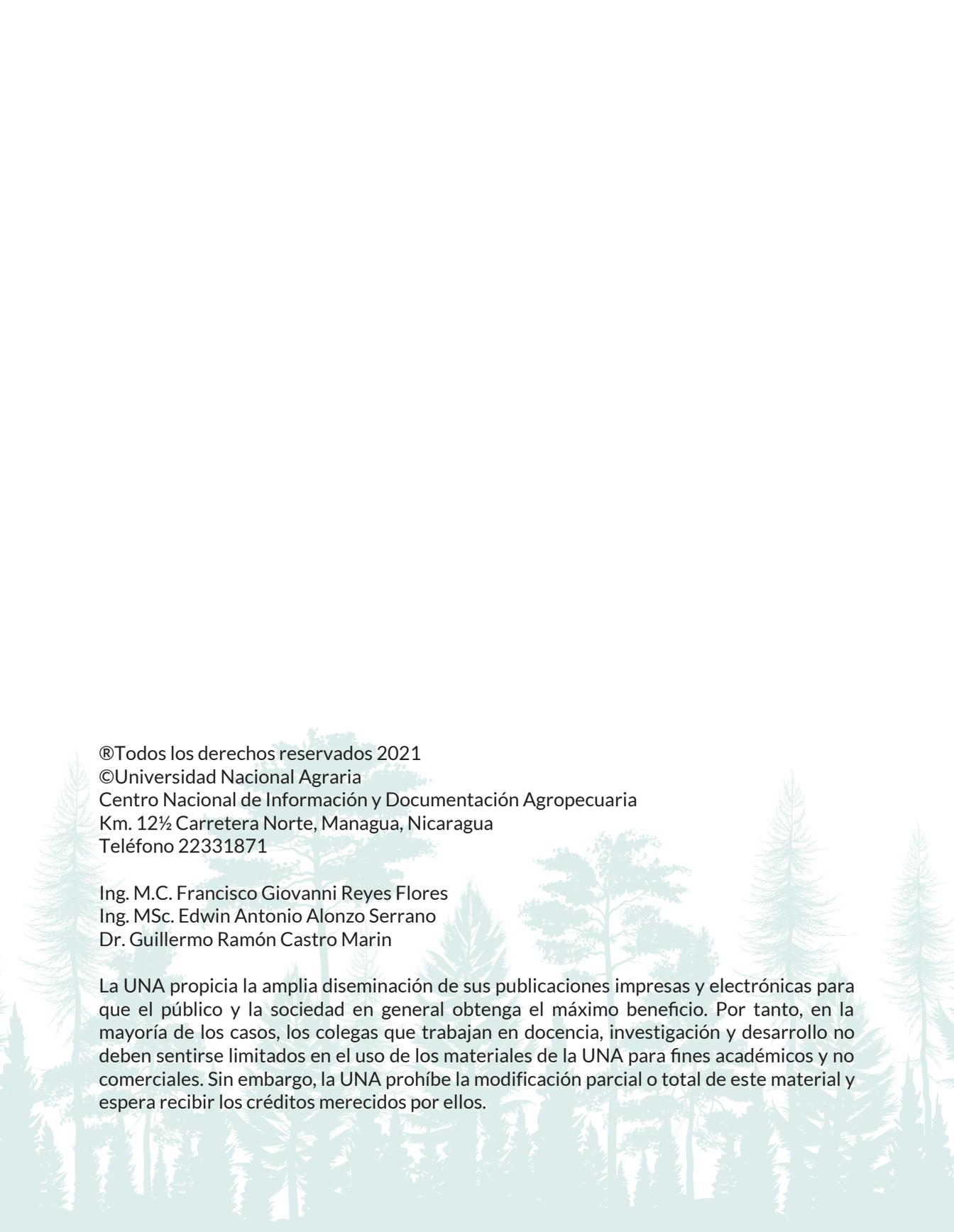
Elaborado por
Ing. M.C. Francisco Giovanni Reyes Flores
Ing. MSc. Edwin Antonio Alonzo Serrano
Dr. Guillermo Ramón Castro Marin



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

Manual de Fórmulas Forestales

Elaborado por
Ing. M.C. Francisco Giovanni Reyes Flores
Ing. MSc. Edwin Antonio Alonzo Serrano
Dr. Guillermo Ramón Castro Marin



®Todos los derechos reservados 2021
©Universidad Nacional Agraria
Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria
Km. 12½ Carretera Norte, Managua, Nicaragua
Teléfono 22331871

Ing. M.C. Francisco Giovanni Reyes Flores
Ing. MSc. Edwin Antonio Alonzo Serrano
Dr. Guillermo Ramón Castro Marin

La UNA propicia la amplia diseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público y la sociedad en general obtenga el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en docencia, investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales de la UNA para fines académicos y no comerciales. Sin embargo, la UNA prohíbe la modificación parcial o total de este material y espera recibir los créditos merecidos por ellos.

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
Tema 1. Vivero Forestal	4
1.1 Supervivencia.....	4
1.2 Porcentaje de Germinación	4
1.3 Tiempo medio de germinación	4
1.4 Cálculo del volumen del sustrato utilizado.....	5
Tema 2. Plantaciones Forestales.....	7
2.1 Número de árboles por hectáreas.....	7
2.2 Tipos de Incrementos en plantaciones forestales.....	7
Tema 3. Cubicación de Trozas y Estimación de Madera Aserrada	9
3.1 Cubicación de trozas	9
a- Fórmula de Huber	9
b.- Fórmula de Smalian.....	9
c.- Fórmula de Newton.....	10
d.- Utilización de las formulas.....	10
3.2 Estimación de Madera aserrada.....	11
a.- Regla de Scribner	12
b.- Regla Doyle	12
c.- Regla Internacional.....	12
d.- Utilización de las formulas.....	13
3.3 Coeficiente de aserrío.....	14
Tema 4. Dasometría.....	15
4.1 Definición de Dasometría.....	15
4.2 Unidades recomendadas para cuantificar productos forestales.....	16
4.3 Área Basal.....	16
4.4 Medición de la altura del fuste.....	17
4.5 Cálculo del volumen.....	19
4.6 Determinación de biomasa encima del suelo, forestal, carbono almacenado y carbono fijado.....	19
4.7 Crecimiento en volumen.....	21
4.8 Crecimiento relativo.....	22
Tema 5. Planes de Manejo Forestal.....	24
5.1 Cantidad de árboles por hectárea	24
5.2 Calculo del volumen por una hectárea	25
5.3. Intensidad de Corta.....	27
5.4. Posibilidad silvícola.....	27
BIBLIOGRAFÍA	28

INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge como iniciativa de miembros del personal del Departamento de Manejo de Bosques y Ecosistemas de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria, ya que se observa la dificultad de los estudiantes para localizar en las diferentes literaturas las fórmulas de acuerdo con la disciplina que están abordando y se pretende que apoye los diferentes Programas Modulares Silábicos de las carreras de la Facultad, del nuevo Modelo Educativo.

El campo de las Ciencias Forestales es amplio y se han generado diferentes fórmulas en una gama de disciplinas que abarca, estas se encuentran dispersas en las diferentes literaturas disponibles, acá se hace un compendio de las principales ecuaciones que son usadas con mayor frecuencia en el sector forestal.

Este documento ha sido preparado como un material de consulta para quienes trabajan en el campo forestal a fin de que puedan acceder de forma rápida a diferentes fórmulas utilizadas para realizar cálculos en las diferentes disciplinas como viveros forestales, plantaciones forestales, dasometría, inventario e industria forestales, las que son de utilidad en el proceso de planificación y toma de decisiones.

Se trata de una guía que ayuda a agilizar la búsqueda de algo, o bien que educa a sus lectores acerca de un tema de forma ordenada y concisa.

Esperamos que este manual tenga un efecto positivo en su uso por parte de los estudiantes de las carreras que se imparte en la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria y por otros profesionales del sector forestal y agrario del país.

Tema 1. Vivero Forestal

Un vivero forestal es el área destinada a la producción de plantas ya sea de forma sexual o asexual, de tal forma que en este sitio se puede realizar algunas mediciones muy comunes que ocurren a nivel de vivero se tienen las siguientes:

1.1 Supervivencia

Se refiere al número de plantas vivas al final de proceso en la etapa de vivero, ya sea de plantas, estacas, etc. se contabilizarán directamente en el banco o era. La tasa de supervivencia se determinó con la siguiente fórmula (Mendoza, 2007):

$$\text{Porcentaje de supervivencia} = \frac{\text{Número de individuos vivos}}{\text{Número de individuos plantados}} * 100$$

1.2 Porcentaje de Germinación

Se define como una proporción de semillas que germinan en un periodo determinado, para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula (FAO, 1991; citado por Suárez, *et al*, 2014), guía para la manipulación de semillas forestales.

$$\text{Porcentaje de germinación} = \sum [(SG/n) * 100]$$

Donde:

SG: Semillas germinadas

n: Número total de semillas en prueba (100 semillas para realizar prueba de germinación)

1.3 Tiempo medio de germinación

Es la relación entre el número de semillas germinadas cada día entre el número de semillas germinadas durante el periodo de germinación (Bewley y Black, 1994):

$$TPG = \frac{\sum(t * n)}{\sum n}$$

Donde:

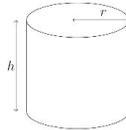
t: Tiempo en días (iniciando desde el día de la siembra)

n: Número de semillas que completaron la germinación

1.4 Cálculo del volumen del sustrato utilizado

Para la medición del volumen expresado en m³ de una bolsa de polietileno que se usa en los viveros forestales, se puede emplear la fórmula del cilindro, la cual es la siguiente:

Volumen del cilindro



$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde:

V: Volumen

r²: Radio elevado al Cuadrado

H. Altura de la bolsa

Por ejemplo: En un vivero se emplea una bolsa plástica de 20 cm de altura y un diámetro de 12 cm. Cuál es el volumen de la bolsa expresado en metros cuadrados. En primer lugar, la medición de las longitudes se debe expresar en metros, así;

20 cm altura = 0.2 m

12 cm de diámetro = 0.12 m, sin embargo, se emplea el radio de la bolsa = (0.06 m)² Una vez convertido los valores se introduce en la fórmula:

$$V = 3.1416 * 0.0036 \text{ m}^2 * 0.2 \text{ m} = 0.0022$$

Este valor puede ser multiplicado por la cantidad de bolsas empleado para obtener un volumen total que se ocupa en un vivero forestal.

En el caso de utilizar diferentes sustratos se debe hacer la determinación de varios materiales y la proporción de cada uno en la mezcla de biomasa inicial. Esas informaciones permiten conocer la cantidad de m³ necesario por cada material. (MAGFOR,2005).

Ejemplo Un vivero que produce 50,000 plantas necesita 40 m^3 de biomasa fresca. Se, decide hacer la mezcla siguiente:

50% de biomasa verde de Madero negro

20% de aserrín de latifoliada

20% de cascarilla de maní

5% de estiércol de vaca

Para calcular las necesidades en m^3 se emplea una regla de tres simples: Todo este material una vez medido se debe mezclar uniformemente. A continuación, un ejemplo

$$50\% \text{ de } 40 \text{ m}^3 = 20 \text{ m}^3 \text{ de biomasa verde de Madero negro}$$

$$20\% \text{ de } 40 \text{ m}^3 = 8 \text{ m}^3 \text{ de aserrín de latifoliada}$$

$$20\% \text{ de } 40 \text{ m}^3 = 8 \text{ m}^3 \text{ de cascarilla de maní}$$

$$5\% \text{ de } 40 \text{ m}^3 = 2 \text{ m}^3 \text{ de estiércol de vaca}$$

Tema 2. Plantaciones Forestales

Es el cultivo de árboles forestales técnicamente planeado para la obtención de productos y beneficios forestales de calidad, al mínimo costo y en el menor tiempo posible, también en esta temática se realizan algunos cálculos entre los que podemos mencionar:

2.1 Número de árboles por hectáreas

Para realizar este cálculo se debe conocer lo siguiente: Que una hectárea (ha) es igual a 10,000 m² y el otro dato es conocer el distanciamiento que existe entre plantas. Posteriormente se aplicará la siguiente formula:

$$\text{N}^\circ \text{ de plantas por ha en una plantación} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{\text{Distanciamiento (m)} * \text{Distanciamiento (m)}}$$

Por ejemplo: En una plantación de Madroño con un distanciamiento de 4 m * 4 m. ¿Cuál sería el número de plantas a utilizar en un área?

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de Planta /ha} &= 10,000 \text{ m}^2 / 4 \text{ m} * 4 \text{ m} = 10,000 \text{ m}^2 / 16 \text{ m}^2 \\ &= 625 \text{ plantas /ha} \end{aligned}$$

Este valor obtenido se puede multiplicar por el número de hectárea para conocer el total de plantas a utilizar en una plantación

2.2 Tipos de Incrementos en plantaciones forestales

1.- Incremento corriente anual (ICA): Expresa lo que el árbol creció en un año, por ejemplo, se puede mencionar el incremento volumétrico anual, que sería la diferencia entre el volumen final y el volumen inicial en este periodo de tiempo. (CATIE, 2002)

$$\text{(ICA): volumen en 1992} - \text{volumen en 1991}$$

2.- Incremento Medio Anual (IMA): Es un valor que expresa el promedio de crecimiento anual del árbol. Se calcula sobre la base del crecimiento total y la edad del árbol. (CATIE, 2002). Es necesario conocer la fecha en que se realizó la plantación.

$$(IMA) = \frac{\text{Volumen del árbol}}{\text{Edad del árbol}}$$

3.- Incremento Periódico Anual (IPA): Es el crecimiento promedio del árbol en un periodo de varios años, por ejemplo, lo que el árbol creció en un tiempo de 5, 10, 15 años. Se calcula utilizando los valores al principio y al final entre el número de años. (CATIE, 2002)

$$(IPA) = \frac{\text{Volumen en 1990} - \text{Volumen en 1985}}{5 \text{ años}}$$

Tema 3. Cubicación de Trozas y Estimación de Madera Aserrada

3.1 Cubicación de trozas

Las siguientes formulas o procedimientos son utilizados principalmente para conocer el volumen de trozas en que se encuentran en aserraderos o patios de acopio en los frentes de corta.

a. Fórmula de Huber

La fórmula de Huber es el más sencillo de los métodos de cubicación de madera en trozas, ya que solamente basta con determinar el diámetro medio de la troza y calcular el área de su sección media y multiplicar por su longitud para determinar su volumen (Romahn de la vega, *et al*, Sf) (Prodan, *et al*. 1997).

$$V = S_m L$$

Donde:

V: volumen en m³

S_m: área de la sección media de la troza

$$S_m = (\pi / 4) d_m^2$$

Donde:

d_m: diámetro medio de la troza

L: longitud de la troza en metros

Este procedimiento brinda excelentes resultados cuando las trozas no son excesivas en longitud y adoptan formas cilíndricas.

b. Fórmula de Smalian

Para utilizar esta fórmula es necesario determinar los diámetros extremos de las trozas y calcular las áreas de las secciones extremas de las trozas y luego se multiplica por su longitud (Romahn de la vega, *et al*, Sf) (Prodan, *et al*. 1997).

$$V = \frac{L}{2} (S_1 + S_2)$$

Donde:

V: Volumen en m^3

S_1 : Área de la sección mayor de la troza en metros cuadrados

S_2 : Área de la sección menor de la troza en metros cuadrados

L: longitud de la troza en metros

$$S_1 = (\pi / 4) d_1^2$$

d_1 : diámetro mayor de la troza

$$S_2 = (\pi / 4) d_2^2$$

d_2 : diámetro menor de la troza

c. Formula de Newton

El procedimiento de Newton es más exacto en comparación con Smalian y Huber, ya que puede aplicarse a trozas que posean diferentes cuerpos geométricos. Se determinan los diámetros extremos y medios de las trozas y se calculan las áreas de las secciones extremas y medias y luego se multiplica por su longitud (Romahn de la vega, *et al*, Sf) (Prodan, *et al*. 1997).

$$V = \frac{L}{6} (S_1 + 4S_m + S_2)$$

Donde

V: volumen en m^3

L: longitud (m)

S_1 : Área de la sección mayor en m^2

S_m : Área de la sección media en m^2

S_2 : Área de la sección menor en m^2

d. Utilización de las formulas

Una troza con un diámetro mayor de 57.3 cm, un diámetro medio de 27.05 cm y un diámetro menor de 19.2 cm y una longitud de 6.5 metros. ¿Cuál será su volumen utilizando las tres formulas?

1. Determinamos el área de la sección mayor, media y menor.

$$S_1 = (\pi / 4) (57.3 / 100)^2 = 0.2579 \text{ m}^2$$

$$S_m = (\pi / 4) (27.05 / 100)^2 = 0.0575 \text{ m}^2$$

$$S_2 = (\pi / 4) (19.2 / 100)^2 = 0.0290 \text{ m}^2$$

2. Aplicamos la fórmula correspondiente Huber

$$V = S_m L$$

$$V = (0.0575 \text{ m}^2) (6.5 \text{ m}) = 0.37 \text{ m}^3$$

Smalian:

$$V = \frac{L}{2}(S_1 + S_2)$$

$$V = (6.5 \text{ m} / 2) (0.2579 \text{ m}^2 + 0.0290 \text{ m}^2) = 0.93 \text{ m}^3$$

Newton:

$$V = \frac{L}{6}(S_1 + 4S_m + S_2)$$

$$V = (6.5\text{m} / 6) (0.2579 \text{ m}^2 + 4(0.0575 \text{ m}^2) + 0.0290 \text{ m}^2) = 0.60 \text{ m}^3$$

3.2 Estimación de Madera aserrada

El volumen de madera aserrada que puede producir una troza ha sido estimado utilizando una serie de métodos que han sido desarrollado a partir de la diagramación de la sección transversal de la troza y su longitud, así como también utilizando fórmulas matemáticas.

A estos métodos se le conoce como Reglas de Estimación Madereras. En general, las reglas madereras toman en consideración la conicidad de las trozas, las perdidas por aserrín, por costaneras. Desde que el primer aserrío fue construido en los Estados unidos más de cien reglas han sido desarrolladas, pero entre las más comunes están la Doyle, Scribner e Internacional. (Romahn de la Vega, *et al*, 2010) (Prodan, *et al*. 1997) (Bond, *sf*).

La unidad de medida que se utiliza en los aserraderos es el pie - tablar, que tiene forma de un paralelepípedo de un pie de largo por un pie de ancho y una pulgada de grueso. Su volumen es igual a 144 pulgadas cúbicas. Un metro cúbico equivale a $423.78268 = 424$ pies tablares.

a. Regla de Scribner

J.M. Scribner desarrollo esta fórmula en 1846. La regla asume un grosor de sierra de 1/4 de pulgada y hace subestimaciones en los diámetros grandes. Esta regla fue diseñada para trozas con diámetros menores de 12 a 44 pulgadas y una de longitud 16 pies, aunque también se pueden tener resultados satisfactorios con longitudes entre 10 y 24 pies.

Fórmula de Scribner

$$V = (0.79D^2 - 2D - 4) * L / 16$$

Donde:

V: Volumen en pie tablares

D: Diámetro menor sin corteza en pulgadas

L: Longitud en pies

b. Regla Doyle

Esta regla fue desarrollada por Edgar Doyle en 1825. Esta regla estima el volumen basado en la longitud de la troza su diámetro menor, contracción, costaneras y cantoneras. Tiene la desventaja que subestima el volumen de trozas con diámetros pequeños y sobreestima con diámetros grandes. La regla trabaja bien para trozas con diámetros entre 26 y 36 pulgadas.

$$V = \frac{(D - 4)^2 L}{12} * (1 - 0.25)$$

Donde:

V: Volumen en pie tablares

D: Diámetro menor sin corteza en pulgadas

L: Longitud en pies

(1 - 0.25): Factor de ajuste que explica supuesta perdida por ancho de corte, contracción, costaneras y cantoneras que alcanza un 25%.

c. Regla Internacional

Esta regla maderera es una de las más exactas desarrolladas hasta hoy. Fue propuesta por J.F. Clark en 1906 para trozas de longitud de 4 pies. Las siguientes ecuaciones pueden ser utilizadas para grosores de sierras de 1/4 de pulgada.

Diferentes ecuaciones de la regla internacional dependiendo la longitud de la troza

Longitud de la troza (pies)	Ecuaciones
4	$V = (0.199D^2 - 0.642D)$
8	$V = (0.398D^2 - 1.086D - 0.27)$
12	$V = (0.579D^2 - 0.330D - 0.27)$
16	$V = (0.796D^2 - 0.375D - 1.23)$
20	$V = (0.995D^2 - 0.221D - 1.72)$

Donde:

V: Volumen en pie tablares

D: Diámetro menor sin corteza en pulgadas

d. Utilización de las fórmulas

Una troza de madera que tiene un diámetro menor sin corteza de 16 pulgadas y 8 pies de longitud. ¿Qué cantidad de madera aserrada produciría esta troza de acuerdo con las diferentes reglas de estimación maderera?

Regla de Scribner:

$$V = (0.79D^2 - 2D - 4) * L / 16$$

$$V = (0.79 (16)^2 - 2(16) - 4) * (8/16) =$$

$$V = (202.24 - 32 - 4) * 0.5 = 83.12 \text{ pies tablares (0.20 m}^3\text{)}$$

Regla Doyle:

$$V = \frac{(D - 4)^2 L}{12} * (1 - 0.25)$$

$$V = ((16-4)^2 * 8) / 12 * (1-0.25) = 72 \text{ pies tablares (0.17 m}^3\text{)}$$

Regla Internacional: Como la troza tiene 8 pies de longitud, utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = (0.398D^2 - 1.086D - 0.27)$$

$$V = (0.398 (16)^2 - 1.086(16) - 0.27) = 84.24 \text{ pies tablares (0.20 m}^3\text{)}$$

3.3 Coeficiente de aserrío

Es la relación que existe entre el volumen de madera aserrada que produce una troza y el volumen de madera en rollo de la troza. El resultado es un número adimensional, normalmente menor que 1. Representa el porcentaje de madera aprovechado de la troza.

$$CA = (V_{ma} / V_{mr}) * 100$$

Donde:

CA: Coeficiente de aserrío

V_{ma}: Volumen de madera aserrada (m³)

V_{mr}: Volumen de madera en rollo (m³)

Una troza de con un diámetro mayor de 32.5 cm, diámetro menor de 29.5 cm y una longitud de 430 cm, se estimó un volumen de madera de 0.325 m³. Y se cuantificó un volumen de madera aserrada de 0.222 m³. El coeficiente de aserrío calculado es de 68.31%. Es decir que se aprovechó el 68.31% del volumen de madera de la troza.

$$CA = (0.222 \text{ m}^3 / 0.325 \text{ m}^3) * 100 = 68.31\%$$

Tema 4. Dasometría

4.1 Definición de Dasometría

Según el diccionario enciclopédico UTEHA, la Dasometría es una parte de la estereometría que se ocupa de la medida del monte, en el sentido más amplio de la expresión, la cual proviene de las palabras griegas dasos, bosque y metrón, medida (Romahn y Ramírez, 2010).

Al respecto, Romahn y Ramírez (2010) mencionan que los símbolos dasométricos recomendados por la IUFRO, 1956 son:

- c Circunferencia.
- d Diámetro. Se mide a una altura de 1,30 m.
- r Radio
- g* Área basal (Sección del tronco a 1,30 m del suelo).
- h Altura.
- i Incremento.
- t Edad del árbol, normalmente expresado en años.
- n Número de árboles.
- v Volumen de un árbol.
- p Porcentaje de incremento.
- f Factor de forma
- Cf Cociente de forma.
- s Superficie o área.
- G Área basimétrica de una masa (m^2/ha).
- N Número total de árboles por unidad de superficie.
- V Volumen total por unidad de superficie (m^3/ha).

4.2 Unidades recomendadas para cuantificar productos forestales

El número de productos forestales que se pueden cuantificar es muy grande, y cada producto tiene su unidad específica, la cual regularmente varía entre países. En el cuadro siguiente, se resume los principales productos forestales y la unidad recomendada para expresar el producto (Imaña y Encinas, 2008).

Producto	Unidad de cuantificación
Madera en troza	m ³
Madera aserrada	Pies tablares
Contrachapado, aglomerado	Unidad, m ²
Leña	Estéreos o peso seco (kg, t)
Carbón	Peso (kg, t)
Forraje	Peso (kg, t)
Aserrín	Peso, volumen (kg, t o m ³)
Pasta para papel	Peso (kg, t)
Postes, estacas	Unidad (dimensiones)
Frutos	Peso (kg)
Semillas	Peso (kg)

4.3 Área Basal

Para calcular el área basal, según (Ugalde, CATIE, 1981), se puede determinar de la siguiente manera:

$$AB (m^2) = \pi / 4 * D^2$$

Dónde:

AB: Área basal (m²)

$\pi / 4$: constante 0.7854

DN: Diámetro normal medido a los 1.30 m sobre la superficie del suelo.

Ejemplo:

Calcular el volumen del árbol de la especie *Swietenia macropylla*, cuyo DAP es 32 cm

$$AB (m^2) = \pi / 4 * D^2$$

$$AB (m^2) = 0.7854 * (0.32 m)^2$$

$$AB (m^2) = 0.7854 * (0.1024 m^2)$$

$$AB (m^2) = 0.08042 m^2$$

4.4 Medición de la altura del fuste

Generalmente, la altura del fuste se define como la distancia desde el nivel del suelo hasta la bifurcación principal que marca el inicio de la copa, en tanto que la altura total es la distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol. Los instrumentos más usados para medir alturas son las varas graduadas, en el caso de árboles pequeños, y el hipsómetro o el clinómetro para árboles grandes; sin embargo, también se utilizan otros instrumentos, como la pistola haga, que no se consideran en este documento (CATIE, 2012). CATIE (2012), hace referencia de los casos más frecuentes para medir árboles. A continuación, se menciona:

Árbol en terreno plano: con solamente la lectura por encima de la línea horizontal (signo +) es suficiente para la altura deseada (ya sea comercial o total). Además, se debe sumar la altura al nivel de los ojos del observador para obtener dicha altura.

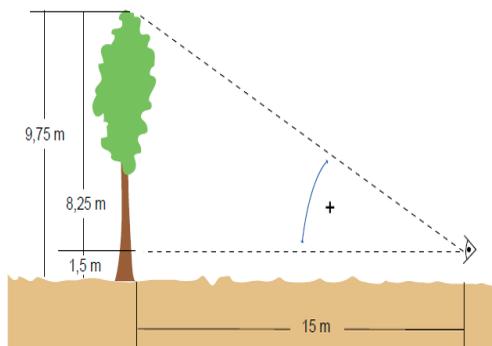


Figura 1. Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno

Ejemplo:

Determine la altura total de la especie *Swietenia macropylla*, considerando la primera lectura a la altura al nivel del ojo de 1.5 m; y la segunda lectura por encima de la horizontal de 8.25 m.

$$\text{Ht (m)} = (\text{H}_{\text{nivel del ojo}}) + (\text{H}_{\text{encima de la horizontal}})$$

$$\text{Ht (m)} = 1.5 \text{ m} + 8.25 \text{ m}$$

$$\text{Ht (m)} = 9.75 \text{ m}$$

Árbol en la parte superior de la pendiente: se hace una lectura hacia la base del árbol y luego hacia arriba hasta la altura deseada (ya sea comercial o total). La altura deseada se obtiene de la diferencia entre las dos lecturas a partir de la medición horizontal, ya que se obtendrán signos iguales + y + respectivamente.

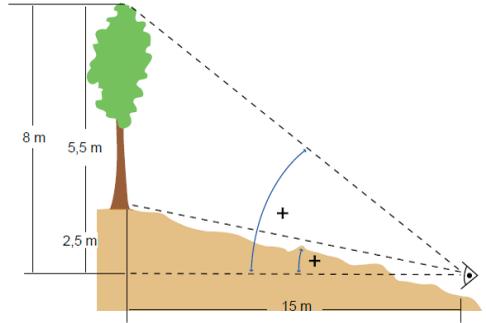


Figura 2. Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno sobre la pendiente o pendiente arriba

Ejemplo:

Determine la altura total de la especie *Swietenia macropylla*, considerando la primera lectura a la altura al nivel del ojo de 1.5 m; y la segunda lectura por encima de la horizontal de 8.25 m.

$$Ht (m) = (H_{\text{arriba del árbol}}) - (H_{\text{base del árbol}})$$

$$Ht (m) = (8.5 m) - (2.5 m)$$

$$Ht (m) = 6.0 m$$

Árbol en pendiente abajo: a partir de la medición horizontal, se hace una lectura hacia la base del árbol, y luego hacia arriba hasta la altura deseada (ya sea comercial o total); las lecturas se suman ya que se obtendrán signos opuestos - y + respectivamente.

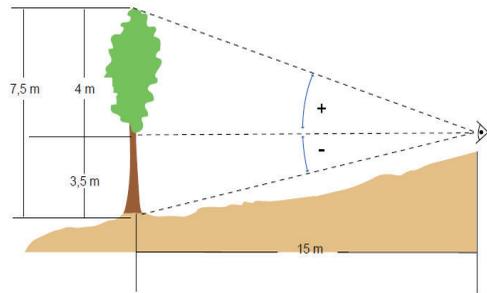


Figura 3. Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno bajo la pendiente o pendiente abajo

Ejemplo:

Determine la altura total de la especie *Swietenia macropylla*, considerando la primera lectura a la altura al nivel del ojo de 1.5 m; y la segunda lectura por encima de la horizontal de 8.25 m.

$$Ht (m) = (H_{\text{arriba del árbol}}) + (H_{\text{base del árbol}})$$

$$Ht (m) = (4 m) - (3.5 m)$$

$$Ht (m) = 7.5 m$$

4.5 Cálculo del volumen

Para calcular el de Volumen (m^3), según (Ugalde, CATIE, 1981), se puede determinar de la siguiente manera:

$$Vol (m^3) = AB * Ht * Ff$$

Dónde:

Vol. volumen (m^3)

AB: área basal calculada en m^2

Ht: Altura total en (m)

Ff: factor de forma 0.70 para especies de bosque latifoliados (INAFOR, 2009).

Ejemplo:

Calcular el volumen comercial en m^3 de la especie caoba *Swietenia macropylla* cuyo DAP es 32 cm, altura es 9.75 mts y factor de forma de 0.7. El Área Basal ($0.08042 m^2$)

$$Vol (m^3) = AB * Ht * Ff$$

$$Vol (m^3) = 0.08042 m^2 * 9.75 m * 0.7$$

$$Vol (m^3) = 0.0548 m^3$$

4.6 Determinación de biomasa encima del suelo, forestal, carbono almacenado y carbono fijado

Para determinar la biomasa forestal del componente arbóreo se utilizó la ecuación propuesta por (Brown, 1997), esta estimación se obtuvo de la multiplicación del volumen total (m^3), por la densidad de la madera (g/cm^3), y por el factor de expansión de biomasa aérea propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1998), siendo este valor de 1.20.

Para determinar el carbono almacenado se hace el cálculo a partir de la biomasa forestal y se aplica la constante de fracción de carbono de 0.5 asumiendo que el 50% del peso de los individuos es carbono (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC],

2006). Para determinar el carbono fijado (CO_2), se multiplica el carbono almacenado (C) por una constante de 3.67, este valor sale directamente del peso atómico del CO_2 . (relación carbono-oxígeno). (Una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de CO_2).

Para calcular la biomasa forestal (t), según (Brown, 1997), se puede determinar con la siguiente formula:

a. Cálculo de la biomasa forestal

$$Bf = V * GE * FEBa$$

Dónde:

Bf: Biomasa forestal (ton)

V: Volumen total calculado en m^3

GE: Densidad de la madera 0.5 g/cm^3 según (Brown, 1997).

FEBa: Factor de expansión de la biomasa aérea (ramas, hojas) (es de 1.20, según, FAO, 1998).

b. Cálculo del carbono almacenado

Para calcular el carbono almacenado (toneladas), según (Rügnitz, 2009), se puede determinar de la siguiente manera:

$$C = Bf * Fc$$

Dónde:

C: Carbono almacenado (ton)

Bf: Biomasa forestal (ton)

Fc: Factor de carbono (0.5) (IPCC, 2006)

c. Cálculo del dióxido de carbono fijado (CO_2)

Para calcular el carbono fijado (toneladas), según (Rügnitz, 2009), se puede determinar de la siguiente manera:

$$\text{CO}_2 = C * 3.67$$

Dónde:

CO_2 : Carbono fijado (ton)

C: Carbono almacenado calculado en (ton)

Constante= 3.67 (Peso atómico del CO_2)

Relación de Carbono - Dióxido de carbono, considerando el peso molecular del CO_2 :

$C = 12$ (peso atómico)

$O = 16$ (peso atómico)

$CO_2 = C + 2 \cdot O$ (ecuación química)

$CO_2 = 12 + 2(16) = 44$ (peso molecular)

$R = CO_2/C$ (Relación de peso, CO_2 respecto al carbono)

$R = 44/12$

$R = 3.67$ (para obtener una unidad de carbono se requieren 3.67 unidades de CO_2)

Ejemplo:

Realice los cálculos de volumen, biomasa encima del suelo - forestal, carbono almacenado y carbono fijado de los siguientes arboles:

NAR	Especie	DAP (cm)	At (m)	Af (m)	Vt m ³	Vf m ³	Bf kg	Ca kg	Ca t	CO ₂ t
1	Laurel	34	16	7	1.0169	0.5084	610.12	305.0619	0.1525	0.5598
2	Aguacate de monte	31.5	11	4	0.6001	0.2494	360.04	180.0213	0.0900	0.3303
3	Aguacate de monte	13.8	7	3	0.0733	0.0359	43.97	21.9870	0.0110	0.0403
4	Aguacate de monte	11.3	6	3	0.0421	0.0241	25.27	12.6363	0.0063	0.0232
5	Yema de huevo	25.2	9	4	0.3142	0.1596	188.53	94.2657	0.0471	0.1730
6	Laurel	28.1	13	7	0.5643	0.3473	338.61	169.3036	0.0847	0.3107
7	Laurel	23.7	12	5	0.3706	0.1765	222.34	111.1701	0.0556	0.2040
8	Laurel	30.2	14	6	0.7020	0.3438	421.19	210.5970	0.1053	0.3864
9	Aguacate de monte	20.8	9	6	0.2141	0.1631	128.44	64.2213	0.0321	0.1178

Fuente: Sánchez Rodas, N., & Irías Gutiérrez, N. (2018).

4.7 Crecimiento en volumen

El crecimiento en volumen se refiere al aumento del volumen en un determinado período de tiempo, se evalúa calculando la diferencia de los volúmenes que el árbol tuvo al inicio y al final del período (n) correspondiente (Imaña y Encinas, 2008).

$$C_v = \frac{V_f - V_i}{n}$$

Donde:

C_v = crecimiento en volumen

V_f = volumen final

V_i = volumen inicial

n = años

Si la medición se realiza en períodos muy cortos, se considera que las variables altura y factor de forma pueden mantenerse constantes, y el crecimiento del volumen puede ser calculado con la fórmula:

$$C_v = \frac{\pi}{4} * f * h (D_f^2 - D_i^2)$$

Donde:

C_v = crecimiento en volumen

f = forma

h = altura

D_f = diámetro final

D_i = diámetro inicial

π = 3,1416

h.- Crecimiento relativo

Para calcular el crecimiento relativo o en porcentaje, se considera al árbol como si fuese un capital que crece debido a los intereses (incrementos de las variables dendrométricas). En este sentido, el crecimiento puede ser evaluado a través de las fórmulas de interés simple y de interés compuesto (Imaña y Encinas, 2008).

Usualmente se usan las fórmulas del interés simple, o del interés compuesto, utilizando la variable volumen (Prodan *et al.*, 1997):

$$I_s(\%) = \left[\left(\frac{V_f - V_i}{n * V_f} \right) \right] * 100$$

Donde:

I_s = % del incremento anual en base del V_i (% del interés simple)

V_i = volumen al inicio del periodo (capital inicial)

V_f = volumen al final del periodo (capital final)

n = número de años del periodo (tiempo)

$$I_c(\%) = \left(\sqrt[n]{\frac{V_f}{V_i}} - 1 \right) * 100$$

Donde:

I_c = % del incremento o crecimiento anual (interés compuesto).

Ejemplo:

El volumen inicial de *Eucalyptus nitens* fue de 0,133 m³ y el final fue 0,357

$$C_V = \frac{0,357m^3 - 0,133m^3}{4}$$

$$C_V = \frac{0.224 m^3}{4}$$

$$C_V = \mathbf{0.056 m^3}$$

$$C_V = \frac{\pi}{4} * f * h (D_f^2 - D_i^2)$$

$$C_V = \frac{\pi}{4} * 0.7 * 22.5 ((20,8)_f^2 - (15,5)_i^2)$$

$$C_V = 0.7854 * 0.7 * 22.5 (0.208)_f^2 - (0.155)_i^2)$$

$$C_V = 0.7854 * 0.7 * 22.5 (0.043 - 0.0240)$$

$$C_V = \mathbf{0.235 m^3}$$

$$I_s(\%) = \left[\left(\frac{0.357 - 0.133}{4 * 0.357} \right) \right] * 100$$

$$I_s(\%) = \left[\left(\frac{0.224}{1.428} \right) \right] * 100$$

$$I_s(\%) = \mathbf{15.68}$$

$$I_s(\%) = \left(\sqrt[n]{\frac{V_f}{V_i}} - 1 \right) * 100$$

$$I_s(\%) = \left(\sqrt[4]{\frac{0.357}{0.133}} - 1 \right) * 100$$

$$I_s(\%) = 0.2710 * 100$$

$$I_s(\%) = \mathbf{27.99}$$

Tema 5. Planes de Manejo Forestal

La ciencia forestal tiene una de sus finalidades más importante poner bajo un plan de manejo forestal un área forestal cualquiera que sea su tamaño, para lograr un rendimiento sostenido y máximo, para eso es necesarios antecedentes básicos del recurso forestal para este fin se obtiene por medio de un inventario forestal. Para esto se debe incluir la siguiente información.

5.1 Cantidad de árboles por hectárea

$$C/ha = 1/ tp * cp * \sum_{j=1} z_j$$

Donde:

C/ha : Cantidad de árboles por hectárea

1_ Termino del cálculo para una hectárea

Tp: Tamaño de la parcela en hectárea

Cp: Cantidad de parcelas

J=1: Numero de la parcela (Parcela uno, parcela dos....)

Zj: Cantidad de los árboles en la parcela *j* (es decir cantidad de los árboles en la parcela uno, parcela dos....)

Σ : Signo de Sumatoria en la Estadística

Ejemplo: En un rodal donde se realiza un inventario forestal, caen 7 parcelas de muestras. Cada una de ellas tiene 500 m² (0.05 ha) en un bosque de 120 hectáreas. En el cuadro siguiente aparece la parcela y la cantidad de arboles.

Parcela	1	2	3	4	5	6	7
Cantidad de árboles	12	10	7	9	16	14	12

Aplicando la fórmula:

$$C/ha = (1/ 0.05 \text{ ha} * 7) * (12 + 10 + 7 + 9 + 16 + 14 + 12)$$

$$C/ha = (1/ 0.35) * (80)$$

$$C/ha = (2.86) * (80)$$

$$C/ha = 228.80 \text{ árboles por hectárea}$$

5.2 Cálculo del volumen por una hectárea

$$V/ha = 1/ tp * cp * \sum_{j=1} z_j + \sum_{j=1} z_j +$$

Donde:

V/ha: Volumen de los árboles por hectárea

1: Tamaño del cálculo para una hectárea

Tp: Tamaño de la parcela en hectárea

Cp: Cantidad de parcela

J: 1 número de la parcela (parcela uno, parcela dos.....)

Zj: Cantidad de volumen en la parcela j (es decir cantidad de volumen en la parcela uno, parcela dos, parcela tres.....)

l: 1 - número de los árboles en la parcela (árbol uno, árbol dos, árbol tres.....)

ViJ: Volumen de cada árbol en las distintas parcelas

Ejemplo: En el cuadro siguiente se desglosa árbol por árbol el volumen individual de estos por parcela, del número 1, al número 7 en m³

Vp1 m ³	Vp2 m ³	Vp3 m ³	Vp4 m ³	Vp5 m ³	Vp6 m ³	Vp7 m ³
0.560.	0.67	0.87	0.91	0.55	0.79	0.65
0.62	1.12	0.93	1.22	0.64	0.68	0.58
0.60	0.97	1.25	0.97	0.78	0.88	0.76
0.33	0.81	1.44	0.93	0.80	0.92	0.68
0.67	0.73	0.99	0.94	0.48	0.81	0.82
0.82	1.43	1.54	0.78	0.67	0.78	0.43
0.94	1.02	1.03	0.85	0.71	0.75	0.50
0.91	1.28		1.10	0.72	0.71	0.78
0.81	0.50		0.62	0.69	0.63	0.83
0.65	0.60			0.43	0.69	0.98
0.71				0.38	0.80	0.79
0.58				0.29	0.84	
				1.08	0.58	
				0.85	0.69	
				0.43	0.38	
				0.89	0.22	
8.20	9.13	8.05	8.32	10.48	11.15	7.80

Empleando la fórmula:

$$V/ha = (1 / 0.05 * 7) * (\text{Volumen parcela 1} + \text{Volumen parcela 2} + \dots \text{Volumen parcela 7})$$

$$V/ha = (1 / 0.05 * 7) * (8.20 \text{ m}^3 + 9.13 \text{ m}^3 + 8.05 \text{ m}^3 + 8.32 \text{ m}^3 + 10.48 \text{ m}^3 + 11.15 \text{ m}^3 + 7.80 \text{ m}^3)$$

$$V/ha = (2.86) * (63.13 \text{ m}^3)$$

$$V/ha = 180.55 \text{ m}^3$$

El volumen total de la zona según el inventario es de 180.55 m³. Para todo el bosque considerando que el total de 120 hectárea sería:

$$120 \text{ ha} * 180.55 \text{ m}^3/\text{ha} = 21.666.22 \text{ m}^3$$

Este procedimiento se hace para calcular el área basal por hectárea, lo único que cambia es la variable: Área Basal (Sorgel, 1985).

5.3 Intensidad de corta

Para el cálculo de la Intensidad de corta (IC) es necesario tomar como base la distribución diamétrica del área basal por especie y el ciclo de corta de ellos árboles (20 años como mínimo segundas las Normas Técnicas forestales. La IC es igual a la proporción del área basal disponible para la segunda cosecha sobre el área basal de los árboles disponible para la primera cosecha y multiplicada por 100. (MARENA, 2005)

Por ejemplo: Si tenemos un bosque con un área basal disponible de 0.40 m² para la segunda cosecha y un área basal de 0.55m² disponible para la primera cosecha, tenemos que nuestra IC es del 73 %.

$$IC = \frac{0.40 \text{ m}^2/\text{ha}}{0.55 \text{ m}^2/\text{ha}} * 100 = 73 \%$$

5.4. Posibilidad silvícola (PS)

Es el volumen comercial que se aprovecha del bosque y se calcula para cada Plan General de Manejo se determina en base al Incremento Medio Anual (IMA) de cada especie. La fórmula es la siguiente:

$$PS = (\text{Intensidad de corta}) * (\text{Área basal disponible})$$

Para ejemplificar la fórmula, se tomará los datos y resultados del ejemplo anterior, los datos son los siguientes:

Datos:

Intensidad de Corta (IC) = 73 %

Area basal disponible = 0.55 m²

$PS = (73\%) * (0.55) = 0.4015$, lo que significa que del área basal total disponible (0.55 m²/ha) se aprovecharán 0.40 m²/ha de acuerdo al cálculo de la PS.



BIBLIOGRAFÍA

- Bewley, J. D. & M. Black. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. 2nd edn. Plenum Press, New York.
- Bond, B. (s.f.). *Understanding Log Scales and Log Rules*. Agricultural Extension Service The University of Tennessee. http://www.woodweb.com/knowledge_base_images/zp/Pb1650.pdf
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO. <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e05.htm#TopOfPage>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2012). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. <https://www.researchgate.net/publication/324362885> *Produccion de madera en sistemas agroforestales de Centroamerica*
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2002). *Inventario Forestal para Bosques Latifoliados en América Central*. Autor.
- Diéguez Aranda, U., Castedo Dorado, F., Barrio Anta, M., Álvarez González, J., Rojo Alboreca, A., y Ruiz González, A. (2005). *Prácticas de Dasometría* [Ebook] (p. 17). Lugo. <https://drive.google.com/file/d/1au9SkWWju4bkuQR6oEFZ9QtOZH5VSZTA/view>
- Imaña E., J., y Encinas B., O. (2008). *Epidometría Forestal*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/epidometria-forestal/epidometria-forestal.pdf>
- Instituto Nacional Forestal. (2009). *Resultados del Inventario Forestal Nacional de Nicaragua 2007-2008*. (2ª ed.). Autor.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. In Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K; Wagner, F. (Eds.). IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Hayama, Japan, IPCC. p. 113-116
- Mendoza, C. (2007). *Evaluación de las condiciones requeridas para la germinación y métodos de interrupción de dormancia en semillas de Echinochloa colona (L.) Link*, para su posible manejo ecológico. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf62m539.pdf>.
- Ministerio Agropecuario y Forestal. (2005). *Nuevas tecnologías de viveros en Nicaragua*". A: *Bandejas y Sustrato, Mejorado - Compost*, B: *Bandejas y Musgo*, C: *Tubetes y Substrato mejorado*. Autor

- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. (2005). *Manejo y Aprovechamiento del Bosque Latifoliado. Programa socioambiental y Desarrollo Forestal. POSAFII/BID-1084*. Managua, Nicaragua.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., y Real, P. (1997). *Mensura forestal*. GTZ-IICA.
- Romahn de la Vega, c., y Ramírez Maldonado, H. (2010). *Dendrometría* [Ebook]. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. <http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometria.pdf>
- Rügnitz, M T., Chacón, M. L. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf
- Sorgel, N. (1985). *Introducción en Inventario Forestal*. Servicio Alemán de Cooperación Social Técnica. .
- Suárez, S., González, B. y Mendoza, O. 2014. *Energía y valor de germinación en las especies arbóreas genízaro (*Phitecellobium saman* (Jacq.) Benth.) y guanacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.)*. La Calera 14(22), 28-32.
- Ugalde A, L. A. (1981). *Conceptos básicos de dasometría*. CATIE. <http://www.sidalc.net/repdoc/A5909e/A5909e.pdf>





Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible



www.una.edu.ni



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible



www.una.edu.ni