



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO**

**FACULTAD DE AGROFORESTAL**

**Memoria escrita en opción al Título Académico de**

**Máster en Ciencias Forestales**

**Mención: Aprovechamiento Forestal**

**TÍTULO: Perfeccionamiento de tabla de volumen comercial para *Pinus cubensis* (Griseb.) para aserrío Omar Ranedo, Empresa Agroforestal Guantánamo**

**AUTOR: Ing. Noilandis Cantillo Harriette**

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**



Universidad de  
Guantánamo

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

FACULTAD AGROFORESTAL

**Memoria escrita en opción al Título Académico de**

**Máster en Ciencias Forestales**

**Mención: Aprovechamiento Forestal**

**TÍTULO: Perfeccionamiento de la tabla de volumen comercial para *Pinus cubensis* (Griseb.) para el aserrío Omar Ranedo, Empresa Agroforestal Guantánamo**

**AUTOR: Ing. Noilandis Cantillo Harriette**

**TUTOR: Dr. C. Yordan Lores Pérez, PT.**

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**

**PENSAMIENTO:**

*“El único camino abierto a la prosperidad constante y fácil es el de conocer, cultivar, aprovechar los elementos inagotables e infatigables de la naturaleza.”*

*José Martí Pérez.*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a las personas que me brindaron apoyo emocional, lo cual me ha beneficiado y ha contribuido en lograr mi desempeño en exitoso en este trabajo.

- ❖ A nuestra Revolución, al Partido y al eterno Comandante Fidel Castro Ruz.
- ❖ A mi madre por quererme tanto y apoyo incondicional y ser la guía de mi vida.
- ❖ A todos los profesores que impartieron cursos en estos dos años de cursos.
- ❖ A todos mis compañeros de aula por su amistad.
- ❖ A mi tutor Ing. Dr.C. Yordan Lores Pérez. Profesor Titular y la profesora Ing. Msc. Ibian Leyva Miguel por haberme ayudado en la realización de este trabajo.

A todos muchas gracias.

## **DEDICATORIA:**

Dedico este trabajo a:

- ❖ A mi madre por creer en mí y por todo su amor incondicional, porque sé que si ella no existiera, no hubiera logrado mis objetivos.
- ❖ A mi hijito Noilan

## RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó en el aserrío Omar Ranedo perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo entre los meses de septiembre de 2020 a abril de 2021, con el objetivo de perfeccionar tabla de volumen comercial a partir de modelos matemáticos para *Pinus cubensis* (Griseb). Se realizaron mediciones de diámetro a 82 trozas cada 0,50cm y a cada una de ellas se les midió la longitud total para caracterizar la materia prima utilizada y calcular el volumen de la madera en bolo. Se ensayaron modelos matemáticos y se seleccionó el mejor método para estimar el volumen. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software SPSS versión 21.0. Las trozas evaluadas de *Pinus cubensis* Griseb. Se caracterizaron por tener un diámetro de medio 23,27cm, una longitud de 5,38m y un grosor de corteza de 0,73cm. El diámetro sin corteza se puede estimar a partir de la siguiente ecuación  $D_{sc} = 1,706 + 0,853d_{cc}$  y el modelo seleccionado para estimar el volumen comercial fue el de doble entrada de Schumacher y Hall:  $V = 0,00007854 * d^{2,000} * L^{1,000}$  ya que tiene un buen ajuste, con un coeficiente de determinación de 0,96 y cero de error cuadrático medio y diferencia agregada. El mejor modelo de perfil del fuste con y sin corteza según el análisis de bondad de ajuste y las capacidades predictivas es un polinómico de tercer grado:

**Palabras clave:** tabla de volumen, modelo matemático, volumen comercial y perfil del fuste.

## ABSTRACT

The following work was carried out in the Omar Ranedo sawmill belonging to the Guantánamo Agroforestry Company between the months of September 2020 to April 2021, with the aim of perfecting the commercial volume table based on mathematical models for *Pinus cubensis* (Griseb). Diameter measurements were made to 82 logs every 0,50cm and the total length was measured for each of them to characterize the raw material used and calculate the volume of the bolus wood. Mathematical models were tested and the best method to estimate the volume was selected. SPSS version 21,0 software was used for data processing. The evaluated logs of *Pinus cubensis* Griseb. They were characterized by having a mean diameter of 23,27cm, a length of 5,38 and a crust thickness of 0,73cm. The diameter without bark can be estimated from the following equation  $D_{sc} = 1,706 + 0,853d_{cc}$  and the model selected to estimate the commercial volume was the double entry of Schumacher and Hall:  $V = 0,00007854 * d^{2,000} * L^{1,000}$  since it has a good fit, with a coefficient of determination of 0.96 and zero mean square error and added difference. The best stem profile model with and without bark according to the goodness of fit analysis and the predictive capabilities is a third degree polynomial.

**Key words:** volume table, mathematical model, commercial volume and stem profile.

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Patrimonio Forestal.....	5
2.1.2. Producción de los productos forestales en el mundo.....	5
2.1.3. Tendencia en el uso de los recursos en madera.....	6
2.2. Industria del aserrío.....	6
2.2.1. Instalaciones fijas.....	8
2.2.2. Medición y cubicación de la Madera.....	11
2.2.3. Diámetro de trozas.....	12
2.2.4. Diámetro sin corteza.....	8
2.2.5. Área basal.....	14
2.2.6. Longitud.....	14
2.3. Métodos de cubicación absolutas.....	15
2.4. Tablas de Volumen.....	16
2.4.1. Definición.....	18
2.4.2. Tipos de tablas de volumen.....	18
2.4.3. Construcción de tablas de volúmenes.....	20
2.4.4. Aplicabilidad de las tablas volumétricas ya existentes.....	23
2.4.5. Selección de tablas volumétricas.....	23



2.4.6. Ventajas de las tablas de volumen .....	24
2.5. Modelos de perfil del fuste y tablas de surtidos .....	24
2.6. Generalidades de la especie <i>Pinus cubensis</i> Griseb.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1. Ubicación del área de estudio.....	31
3.2. Tamaño de la muestra .....	31
3.3. Caracterización de la materia prima .....	32
3.4. Determinación del volumen de madera en bolo .....	33
3.4.1. Modelos matemáticos para el fuste y perfil del fuste con corteza y sin corteza del <i>Pinus cubensis</i> .....	33
3.4.2. Selección del modelo .....	35
3.5. Determinación del método más efectivo para determinar el volumen .....	36
3.5.1. Relación entre el volumen estimado y el volumen real .....	36
3.5.2. Selección del mejor método.....	37
3.6. Valoración económica.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
4.1. Características de la materia prima .....	38
4.2. Estimación del diámetro sin corteza .....	39
4.3. Cubicación de la madera en bolo.....	42
4.4. Selección del modelo de mejor ajuste .....	43

4.5. Modelos de regresión de volumen para perfil del fuste con corteza y sin corteza para <i>P. cubensis</i> (Griseb.).....	492
4.6. Relación entre el volumen estimado y el volumen real .....	55
4.7. Selección del mejor método para determinar el volumen de las trozas .....	56
4.8. Tablas de volumen comercial para <i>P. cubensis</i> (Griseb.).....	58
4.9. Análisis Económico.....	60
V. CONCLUSIONES .....	62
VI. RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	

## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques a nivel mundial abarcan 3 999 mil millones de hectáreas y cubren casi 30,6%, según los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018). Ellos son fuentes potencialmente inagotables de una multiplicidad de bienes y servicios imprescindibles a la sociedad. Su carácter renovable, su potencial para generar empleo, sustituir importaciones, descentralizar y diversificar los mecanismos de producción e impulsar el desarrollo rural, le otorgan al recurso forestal un potencial particularmente valioso y estratégico para contribuir de forma sostenida y permanente a la estabilidad social de muchas naciones en desarrollo (FONAM, 2007).

Cuba posee 4 093 miles de hectáreas, de ellas están cubiertos de bosques 3 241 miles de hectáreas, donde el 46% son protectores, el 24% de conservación y el 31% de producción. Con una superficie cubierta de bosque de 13,4% ante de 1959, hasta alcanzar el 31,15% en el 2017 según Labrador *et al.* (2017). Según el Servicio Estatal Forestal (SEF, 2016) plantea que Cuba se sitúa entre las naciones de mayor crecimiento de sus recursos forestales y aportó entre 2000 y 2011 el 2,8% PIB según Torres y Ramírez (2017).

En la nueva era de la globalización, la sostenibilidad de los procesos de producción en todo su contexto impone nuevos retos a las empresas e instituciones que requieren perfeccionar sus métodos de producción y poder ofertar al mercado un producto que satisfaga los intereses y demandas de la sociedad y principalmente que permita asegurar tanto a las generaciones presentes como futuras los bienes y servicios que proporcionan los bosques (Hernández, 2009).

Los bosques de pinares, juegan un papel importante en la economía forestal nacional, debido al uso universal de los mismos, la importancia de los pinos está subrayada más aun por su rápido crecimiento y por un porcentaje elevado de su utilización, debido al fuste recto. Por diversas razones las plantaciones realizadas en Cuba con objetivos industriales no han sido tratadas y cuidadas de la forma que hoy permitiesen contar con un bosque sano y vigoroso lo cual a su vez garantiza en su procesamiento ulterior madera aserrada con un máximo de calidad (Woofdin, 2008).

Según Sablón (1987), en Cuba existen cuatro especies del género *Pinus*, todas endémicas, los cuales son: *Pinus tropicalis*, *Pinus caribaea*, *Pinus maestrensis*, *Pinus cubensis*. Los que se distribuyen irregularmente en la isla, sin embargo, la última es una especie endémica de la zona norte de la provincia de Holguín y al nordeste de Guantánamo.

Los bosques de pinares, juegan un papel importante en la economía forestal nacional, debido al uso universal de los mismos, la importancia de los pinos está subrayada más aun, por su rápido crecimiento y por un porcentaje elevado de su utilización, debido al fuste recto. Por diversas razones las plantaciones realizadas en Cuba con objetivos industriales no han sido tratadas y cuidadas de la forma que hoy permitiesen contar con un bosque sano y vigoroso lo cual a su vez garantiza en su procesamiento ulterior madera aserrada con un máximo de calidad (Álvarez *et al.*, 2013).

La provincia de Guantánamo cuenta con un patrimonio forestal al cierre del 2020 de 311 526,68 hectáreas, de ellas 261 522,32 hectáreas son bosques naturales y 50 004,36 hectáreas de plantaciones, de acuerdo con la Dirección provincial del Servicio Estatal Forestal (SEF, 2021).

Para el manejo y aprovechamiento de estos bosques el inventario y la cubicación rigurosa de arboles en pie o derribados juega un papel esencial por lo que Villarroel (2004), plantea que el volumen es la variable que indica en unidades de metros cúbicos ( $m^3$ ) la cantidad de madera en un árbol, puede considerarse como la suma de los volúmenes de madera en trozas.

La tabla de volumen es una presentación en forma tabular que muestra el volumen promedio de árboles de distintas dimensiones, obtenido a partir de relaciones previamente establecidas, donde el diámetro y la longitud son la información utilizada para el cálculo (Sánchez, 2012).

Los estudios económicos y de ordenación forestal tienen por base el inventario del potencial forestal existente, a través de técnicas de muestreo y de biometría, donde la cubicación de árboles posibilita obtener el volumen sólido de los fustes, que asociados con las variables dendrométricas (d, h, forma) permiten generar modelos

para estimar estos volúmenes, que podrán ser presentados en forma de tablas (Aldana, 2010).

Según Vital (2008) hoy en día, las tablas de volumen han sido reemplazadas por las ecuaciones de volumen, es decir, por modelos matemáticos capaces de representar el volumen promedio de madera por árbol a partir de las variables independientes antes mencionadas.

Sin embargo, el término de “tabla de volumen” ha persistido como un término genérico para expresar una tabla derivada de una ecuación de volumen. Varios investigadores ajustaron y compararon diversas funciones matemáticas que expresan el volumen, para diferentes especies, sitios y régimen de manejo (Serrano, 2006).

Para los estudios de volumen se han desarrollado diversos métodos, en Cuba uno de los más usados es el que comprende un conjunto de procedimientos para estimar el volumen mediante el conocimiento de la relación entre variables de fácil medición, como el diámetro y la altura. Esta relación es conocida como tabla o tarifa de volumen y la misma es establecida gráfica o analíticamente (Carron, 1968).

En el aserrío Omar Ranedo de la Empresa Agroforestal de Guantánamo actualmente el volumen del *Pinus cubensis* (Griseb) de la madera en bolo se obtiene a partir de tabla de volumen basada en métodos empíricos confeccionada por INDF (1976), la misma subestima los volúmenes de madera en bolo, por lo que se plantea el siguiente problema:

**Problema:** La tabla de volumen actual utilizada en el aserrío Omar Ranedo está basada en métodos empíricos lo que ocasiona ineficiencia en la estimación de los volúmenes reales de la especie *Pinus cubensis* (Griseb)

**Objeto de estudio:** Modelos matemáticos para la construcción de tabla de volumen comercial de *Pinus Cubensis*. (Griseb).

**Hipótesis:** Al caracterizar el comportamiento dendrométrico y seleccionar el modelo de mejor ajuste para estimar el volumen comercial y de perfil del fuste de *Pinus*

*cupensis* (Griseb) se podría obtener una tabla de volumen más eficiente y precisa en el aserrío Omar Ranedo, Empresa Agroforestal de Guantánamo.

**Objetivo general:** Perfeccionar la tabla de volumen comercial a partir de modelos matemáticos para *Pinus cupensis* (Griseb).

**Objetivos específicos:**

1. Analizar estadísticamente el comportamiento de las variables dendrométricas del *Pinus cupensis* (Griseb)
2. Ensayar modelos matemáticos para el fuste y perfil del fuste con corteza y sin corteza del *Pinus cupensis* (Griseb).
3. Seleccionar el modelo matemático de mejor ajuste para la construcción de la tabla de volumen de *Pinus cupensis*

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Patrimonio Forestal**

El patrimonio forestal constituye un recurso estratégico para el desarrollo de cualquier nación. Cuando los bosques son protegidos y manejados adecuadamente, pueden aportar diversos y cuantiosos bienes materiales a la sociedad y a la economía, contribuyendo significativamente al mejoramiento y sostenibilidad ambientales. Sobre el tema, Martí expresó: «Comarca sin árboles, es pobre. Ciudad sin árboles es malsana. Terreno sin árboles, llama poca lluvia y da frutos violentos»; «hay que cuidar de reponer las maderas que se cortan, para que la herencia quede siempre en flor»; «...son, en una palabra, los árboles, además de un gran elemento de riqueza, los mejores amigos de la agricultura y la ganadería (Paretas, 2016).

Según FAO (2001) la protección del patrimonio forestal constituye un punto esencial y fundamental de las agenda de los gobiernos hasta que la humanidad adquiera la conciencia de la necesidad de desarrollar las actividades económicas de forma tal, que degrade lo menos posible el medio, ya que todo lo que hagamos se debe contra la naturaleza, a corto, mediano o largo plazo si no se reflejará en contra de nosotros mismos.

La voluntad política de la dirección del país según Minaya (2006) está dirigida a desarrollar, conservar y proteger los recursos naturales de la nación, en la cual los árboles y el bosque tienen una destacada participación por su incidencia favorable en el ecosistema y en el incremento de la biodiversidad, así como su contribución en el mejoramiento y purificación de las aguas, la conservación y mejoramiento de los suelos, el saneamiento del aire que respiramos y en el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

#### **2.1.2. Producción de los productos forestales en el mundo**

La producción y consumo de productos forestales en el mundo está en función de muchos factores, dentro de los cuales, el crecimiento de la población y los ingresos son lo más importantes. En los últimos 25 a 30 años, la población mundial creció en

más del 50%, mientras los ingresos mundiales, medidos en producto interno bruto, aumentaron, según estimaciones, en 109%. Salvo la leña, el consumo suele aumentar al crecer la población y los ingresos; en el caso de la leña, en cambio, un aumento en los ingresos suele reducir el consumo (Carpio, 2000).

### **2.1.3. Tendencia en el uso de los recursos en madera**

Actualmente aunque se mantiene una alta producción de madera aserrada y por tanto un alto consumo también, existe una gran tendencia a utilizar la madera como materia prima en la producción de tableros tanto de fibra de partículas como contrachapados y en la producción de pasta para papel. Estas dos industrias crecen y aumentan su producción anual de forma considerable dado la utilidad tan variada de sus productos. También hay una gran utilidad de los productos secundarios como son los taninos, resinas, aceites, entre otros., posibilitado por el desarrollo actual de la ciencia y la técnica (Díaz *et al.*, 2006).

## **2.2. Industria del aserrío**

García *et al.* (2002) expresa que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos.

En los aserraderos, aunque es recomendable que la operación de elaboración se complemente con la de secado en cámaras de los productos obtenidos, no tienen por qué incluir necesariamente esta última. Generalmente, los productos finales de aserrado, tablones, tablas, vigas y viguetas se venden con una humedad del 15 al 20%. Reciben el nombre de aserríos porque los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos exclusivamente por sierras (García *et al.*, 2002).

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales, el aserrado ha existido en formas sencillas desde hace siglos, aunque ha sido en estas últimas décadas cuando se han producido importantes avances tecnológicos con la mejora en el diseño de las



sierras y la automatización de la clasificación y otras operaciones (Álvarez *et al.*, 2014).

Los aserraderos son las instalaciones más antiguas y propagadas de todas las industrias elaboradoras de la madera. En su forma más sencilla exige muy poco en cuanto a capital y mano de obra especializada y puede funcionar en condiciones competitivas en escala muy pequeña, por lo que casi todos los países del mundo tienen aserraderos de mayor o menor importancia (Zhofre, 2015).

Rojas (2015) expresa que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos ya que los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos exclusivamente por sierras.

En las industria de transformación de la madera, se recomienda que las operaciones de aserrado se combinen con las tecnologías y procesos de secado de la madera, pero no necesariamente estas operaciones tienen que estar aparejadas, ya que las producciones finales de los aserraderos: tablas, tablones, bloques, vigas y viguetas se venden con una humedad entre el 15 y 20% (Alvares *et al.*, 2004).

Una panorámica de la elaboración primaria de la madera en Cuba se obtuvo hace unos años *ONE* (1998) citado por Lamber *et al.* (2021), en el cual se registraron un total de 398 aserraderos, con una capacidad potencial de 1908.8 m<sup>3</sup> en un turno de 8 horas de trabajo, de los que 254 (63,8%) son estatales (24,6% de Empresas Forestales Integrales y en 39.2% de otras entidades), mientras 144 (36,2%) son privadas. Los aserraderos en empresas forestales especializadas totalizan 96 y su capacidad potencial por turno de trabajo es de 774,5 m<sup>3</sup> La distribución porcentual de las tecnologías de aserraderos es:

<b>Tecnologías</b>	<b>Peso Específico (%)</b>
Sierras de Bandas	59,0
Sierras Circulares	34,0
Sierras Alternativas	7,0

Caracterizándose esta industria, además, por un alto grado de obsolescencia debido, sobre todo, a su envejecimiento, otros aspectos negativos de estos centros son: que sólo el 44,2% poseen área de afilado, una gran dispersión, lejanía de la materia prima y altos costos, todo lo cual ocasiona inferior calidad en el aserradero y una baja eficiencia en el aprovechamiento de la materia prima (ONE, 1998, citado por Lamber *et al.*, 2021),).

Se calculó también, por el censo e informaciones de la Dirección de Importaciones del MINCEX (1998), que en el año 1997 el consumo aparente de madera aserrada fue de unos 200 000 m<sup>3</sup>, aunque éste se incrementa, sistemáticamente, en razón de la reanimación y al crecimiento económico del país. El objeto primordial radica en demostrar la importancia económica de los rendimientos. De lo que se trata es precisamente, de “hacer más con menos “. Tanto en valores físicos como en los monetarios, situando así, en el lugar cimero que le corresponde, la producción de la madera aserrada en toda la industria del país.

### **2.2.1. Instalaciones fijas**

Las instalaciones fijas según Pacheco (2008) son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea. Sus ciclos de producción suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

- Tablón en bruto
- Tablón canteado y retestado
- Tablón canteado, retestado y calibrado
- Tablón canteado, retestado, calibrado y clasificado
- Tablón canteado, retestado, calibrado, secado y clasificado.

Así como los mismos productos para la tabla, viga o viguetas. Su producción puede necesitar o no del escalón de reaferrado intermedio. Una vez determinada la

localización general de un aserradero, resulta necesario decidir sobre un sitio específico para instalar la planta (Egas *et al.*, 2001).

Uno de los factores más importantes que se deben considerar en la selección de un sitio, es el tamaño de éste. El área debe ser suficientemente grande como para acomodar las instalaciones que se planearon originalmente y también, para prever lo necesario en una futura expansión. El hecho de no haber considerado espacio para el crecimiento de la capacidad de la planta, ha limitado la expansión de muchas empresas madereras (Pacheco, 2008).

Debido a que las trozas generalmente se almacenan directamente en los patios del aserradero, éste debe ubicarse donde la distancia promedio que se movilizan las trozas, sea la mínima posible. El área despejada debe ser suficiente grande como para proporcionar almacenamiento adecuado para las trozas y la madera aserrada. Si se proyecta secar la totalidad o parte de la madera aserrada en el aserradero, el área de secado debe ser bien ventilada para proporcionar un secado rápido y libre de defectos (Nájera *et al.*, 2011).

El sitio de la planta debe estar nivelado y bien drenado, de modo que los cimientos de las máquinas y equipos no sufran asentamientos. En general, en la localización de una empresa maderera, sea ésta grande o pequeña, no se debe subestimar la importancia de una planificación preliminar cuidadosa, que considere el máximo de factores que puedan incidir en el funcionamiento futuro de ésta (Zavala, 2011).

Según García y González (2003) la sierra de banda en Cuba se considera que haya entrado a fines del siglo XIX, fundamentalmente mediante la adquisición de equipos de segunda mano en el sur de los Estados Unidos.

El uso de la sierra de cinta presenta las siguientes ventajas:

Mecanizado de la troza rápida, permitiendo acomodar su posición en función de los defectos y anomalías observadas.

- La hoja se puede cambiar con relativa facilidad
- Ocasiona baja pérdida de madera debido al escaso ancho de la vía.

- Produce aserrado de buena calidad.

Y los siguientes inconvenientes:

- Obtención de gruesos irregulares en el encuentro de nudos y otras anomalías.
- Pérdida de tiempo en el retorno del carro.
- El mantenimiento de la hoja requiere personal experto.
- Potencia elevada.

En lo que se refiere a las hojas monocorte y bicorte, la primera de ellas es la más utilizada, representando del orden del 90% de la sierra que funcionan en la actualidad. A diferencia de las bicortes sólo trabajan en un sentido. Estas últimas, han sido diseñadas para aumentar la productividad, evitando así el retorno del carro sin corte. En realidad, ese presumible aumento de la productividad con este tipo de sierras no resulta considerable, ya que el tiempo efectivo de corte en la operación global del proceso en una sierra de cabeza es muy pequeño respecto al total de la operación (García y González, 2003).

Estos autores plantean que el hecho de aumentar la velocidad de retorno al vacío en torno a tres veces con respecto a la de corte hace que realmente la pérdida de tiempo por retorno apenas un 1/9 del total de la operación. Por lo tanto, la única economía de las sierras bicorte respecto a las convencionales es la reducción del tiempo de retorno, reduciéndose el tiempo de aserrado en un 10 a 12%.

Para muchas instalaciones la presencia de una sierra bicorte complica en exceso el sistema de evacuación de los productos aserrados, no pudiéndose afirmar que todas las instalaciones admitan este tipo de sierras. A este hecho se le suma el inconveniente que representa la limitación de los reafilados de cinta ya que los dientes de la cinta deben salir por ambos lados del volante en el orden de los 5 mm. Si para paliar este inconveniente se dispusieran cintas muy anchas, el aserrado no daría resultados satisfactorios. Así pues, la pérdida de anchura por los afilados sucesivos limita notablemente la vida de las cintas bicortes, no siendo recomendable su uso para especies abrasivas, como ocurre en muchas maderas tropicales (García y González, 2003).

### **2.2.2. Medición y cubicación de la Madera**

Los métodos para la determinación del volumen de madera contenida en el tronco del árbol han sido objeto de estudio desde hace más de dos siglos (González, 1981). Estos métodos se clasifican en dos grupos: de medición directa y de medición indirecta, ubicándose en los métodos directos los conocidos métodos de cubicación por secciones de Huber, Smalian y Newton.

Los métodos de medición directa, prácticamente, sólo son posibles en árboles apeados, lo cual constituye su principal restricción. Por eso son utilizados, preferentemente, en la cubicación de madera en almacenes y en investigaciones. No obstante han sido desarrollados dendrómetros, como el Spiegel Relaskop y el Tele Relaskop (Loetsch *et al.*, 1973; González, 1981), los cuales permiten la medición a distancia de alturas y diámetros a lo largo del fuste.

Los métodos de medición indirecta comprenden los procedimientos que permiten estimar el volumen mediante el conocimiento de su relación con variables de más fácil medición, como el diámetro y la altura. Esta relación se conoce como tabla o tarifa de volumen y la misma es establecida gráfica o analíticamente. Estos métodos son utilizados en la estimación del volumen de árboles en pie, ya sea aislados o en masa, dadas las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes en árboles en pie (Caballero, 1972, citado por Barrero, 2010).

Medir correctamente la madera es fundamental en todo proceso de elaboración y de comercialización, un técnico maderero calificado debe dominar estos conceptos, ya que los encontrará en todas las etapas productivas, desde la recepción de las materias primas hasta el despacho del producto terminado, pasando por todos los procesos intermedios de elaboración (Meléndez, 2009).

Según el mismo autor en las empresas, la medición y cubicación de madera se la realiza para: verificar el volumen recibido e indicado en la factura o guía de despacho, programar la producción, medir la producción (ya sea de una máquina o

de una línea de producción), elaborar un producto, controlar la calidad, despachar productos, entre otros.

La cubicación de madera en rollo o transportada no es más que la medición de la misma, dentro de los lugares de procesamiento, en vehículos de transporte, o en lugares de venta por parte de personas relacionadas con actividades forestales, se determinan varios métodos para la cubicación de madera en sus distintas presentaciones (madera en rollo, madera procesada, leña, entre otros de una forma sencilla y rápida para aquellos casos en los cuales se necesita obtener una aproximación del lote de madera que se está midiendo (Lesli, 2003).

Los procedimientos que se sugieren, se basan en criterios técnicos sencillos, sin discriminar la especie de la cual procede la madera. Además se ha incorporado información base sobre unidades de medida como de factores de conversión para realizar los cálculos necesarios para estimar el volumen de la madera. El propósito de la estandarización de unidades de medida y cálculo de volúmenes de madera está relacionado al adecuado uso y manejo de las guías de transporte de madera en rollo y específicamente en el detalle del inventario físico de la madera transportada (Santana, 2004).

### **2.2.3. Diámetro de trozas**

Según Paguanquiza, (2012) la calidad de la troza podada depende principalmente del tamaño del trozo, del cilindro de con defectos, la altura de poda, rectitud y la incidencia aleatoria de cualquier defecto.

Existen variables externas que influyen en la conversión y recuperación de madera de calidad, como es el caso del tamaño de la troza el diámetro menor es la expresión más común del tamaño de la troza. Pero tiene la limitante que es dependiente del largo de la troza (Mesa y Simón, 2007).

La opinión de los especialistas indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío; demostrándose que en la medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío;

por lo tanto el procedimiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos (Dauber, 2001).

No obstante, el planteamiento de las trozas de pequeñas dimensiones, en comparación con las mayores conduce a la reducción de los principales indicadores técnico -económicos de los aserraderos es sólo parcialmente válido, pues, realizando una óptima selección de la maquinaria y de los equipos es posible reducir la influencia negativa en los indicadores. El efecto del diámetro sobre el rendimiento nos obliga a pensar en la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones y trazar, además, una política que garantice en lo posible un mayor desarrollo de las existencias maderables con el objetivo de obtener trozas de grandes dimensiones y calidad destinadas a los aserraderos (García y González 2003).

#### **2.2.4. Diámetro sin corteza**

Los modelos de grosor de corteza son funciones matemáticas normalmente del tipo alométrico que relacionan el diámetro con corteza y diámetro sin corteza (Rodríguez y Broto, 2003).

Las mayores aplicaciones de estas relaciones se encuentran sin duda en la conversión del volumen con corteza a volumen sin corteza (García, 1995). El volumen de corteza representa un promedio entre un 10 y un 20% del volumen del árbol.

La corteza tiene una importante participación en el volumen fustal Corvalán y Hernández (2010) plantearon que para el *Pino insignis* a distintas edades la corteza aportaba, en promedio, un 10,2% del volumen total del fuste.

Gran proporción del volumen de corteza se concentra bajo el 15% de la altura total del árbol, debido al engrosamiento cerca del tocón (Gordon y Gragam 1986). Sobre el 50% de la altura la relación diámetro sin corteza con grosor de corteza decrece, debido a que el espesor de corteza se mantiene relativamente constante y los diámetros fustales van disminuyendo.

Algunas veces el factor de corteza; cociente entre el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza, permanece constante desde la base al ápice del árbol; el espesor de corteza es entonces proporcional al dcc y por consiguiente al dsc pero puede suceder que desde el pie al tope este factor disminuya al principio, después permanezca constante y al final aumente (Calliez, 1980).

El espesor de corteza varía notablemente entre especies y muestra una relación cambiante con la edad y con la altura en el fuste. La experiencia ha demostrado, sin embargo, que esta relación no es suficiente en muchas especies (Prodan *et al.*, 1997).

#### **2.2.5. Área basal**

El área basimétrica o basal es el área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho (DAP), es decir a 1.30 (m) y es expresado en m<sup>2</sup>/ha. El área basal varía según la especie, el tipo de madera y la edad del árbol (Valdez, 2011).

El mismo autor plantea que en árboles jóvenes naturalmente el área basal es menor, pero aumenta rápidamente conforme van creciendo hasta que llega a un máximo. Este máximo se alcanza a algunas edades y otras dependiendo de la especie, por eso es una medida más estable en bosques maduros que en bosques jóvenes. El área basal de un rodal es igual a la suma de las áreas basales de todos los árboles del rodal, este valor es un indicador para la densidad del rodal.

#### **2.2.6. Longitud**

Se puede afirmar que el rendimiento de las trozas en el proceso de Aserrío es afectado por la longitud. En la medida que aumenta dicho parámetro se incrementa la diferencia entre los diámetros en ambos extremos de la troza. Por lo tanto una de las formas de incrementar el rendimiento volumétrico es mediante la optimización del troceado, produciendo lógicamente madera aserrada de dimensiones requeridas. Estas observaciones de peculiar importancia para la industria cubana del aserrío (Bermúdez, 2004).



La aplicación de diagramas adecuados de troceo permite la obtención de trozas de alta calidad posible con una longitud adecuada, requisito indispensable para aumentar el rendimiento. Con el empleo de programas de optimización del troceo se obtienen trozas con características favorables para elevar la eficiencia de la conversión primaria de la madera en los aserríos (López, 2010).

### 2.3. Métodos de cubicación absolutas

En estos métodos serán utilizadas las fórmulas de Smalian, Huber y Newton según Aldana (2010).

**Fórmula de Smalian:** aplicando esta fórmula se obtiene el volumen por el producto de la media aritmética de las áreas seccionales de los extremos de la sección por su longitud.

$$v = \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) * L$$

Donde:

$v$  = volumen de la sección del árbol considerada;

$g_i$  = área seccional de un extremo de la sección;

$g_{i+1}$  = área seccional del otro extremo de la sección; y

$L$  = longitud de la sección

### Fórmula de Huber

Con esta fórmula el volumen es obtenido por el producto del área seccional tomada a la mitad de la sección y la longitud de la sección.

$$V = g_m * L$$

Donde:

V = volumen de la sección;

$g_m$  = área seccional tomada en el medio de la sección; y

L = longitud de la sección

### **Fórmula de Newton**

Con la fórmula de Newton el volumen es obtenido de la siguiente manera:

$$v = \left( \frac{g_1 + 4g_m + g_{i+1}}{6} \right) * L$$

donde:

v = volumen de la sección;

$g_i$  = área seccional del extremo de la sección;

$g_{i+1}$  = área seccional del otro extremo de la sección;

$g_m$  = área seccional de la mitad de la sección; y

L = longitud de la sección

### **2.4. Tablas de Volumen**

La mayoría de las cubicaciones, se realizan en la práctica mediante el auxilio de tablas apropiadas, que una vez construidas, partiendo de las fórmulas correspondientes, facilitan notablemente los cálculos obtenidos a partir de relaciones previamente establecidas, y para diferentes especies. Diámetro 1, altura y la forma son las características del árbol utilizadas para la predicción del volumen. Según sean las variables independientes utilizadas, las tablas de volumen se clasifican en tablas locales, tablas estándar y tablas de forma (Fucaraccio y Staffieri, 2009).

Para poder aplicar dichas tablas, es preciso clasificar los datos de estos problemas (diámetros, circunferencias o secciones y alturas), de modo que la diferencia entre cada dos de sus valores consecutivos, se halle conforme con el grado de aproximación deseada.

Son muy numerosos los modelos de tablas adaptadas para las cubicaciones, existiendo cuantiosos métodos de determinación de volúmenes, pudiendo combinarse los elementos de sus fórmulas de varios modos. Las más usuales y sencillas son aquellas que calculan los volúmenes de piezas cilíndricas o asemejadas a tales en función de sus diámetros o circunferencias y alturas. Para facilitar el cálculo del rendimiento de bosques coetáneos en distintas calidades de sitio, se han establecido tablas.

Estas indican el rendimiento en madera de los bosques, en base a edad y una serie de variables, como son, el número de variables por hectárea, la altura media y otros (Mora y Cevallos, 2008).

La tabla de volumen se construye con el fin de cubicar rápidamente los árboles, en base a las medidas que se toman en el terreno, las que pueden ser: el diámetro solamente, diámetro y altura, o diámetro, altura y un factor de forma, etc. El uso que se da a las tablas de volumen es muy variado: cubicación de bosques, de árboles de madera aprovechable, etc. Al respecto es interesante percatarse de que el objeto de toda tabla volumétrica es calcular las series de volúmenes de las trozas de un árbol, más que su producto aserrado en tablas (Murata *et al.*, 1994).

En las tablas de volumen se expresa sistemáticamente el volumen de un árbol en función de alguna de las dimensiones especificadas, diámetro a la altura del pecho, altura, forma de todas ellas. Los volúmenes pueden expresarse en metros cúbicos, pies cúbicos, pie de tabla, etc. Para la elaboración de tablas de volumen se debe contar con 50 a 100 árboles talados y medidos, dependiendo este número de la forma y variabilidad de los mismos. Estos árboles, deben ser representativos del área total para la cual ha de emplearse la tabla.

### **2.4.1. Definición**

La tabla de volumen puede ser definida según Benítez (2014) como una relación gráfica o numérica expresada por ecuaciones logarítmicas o aritméticas capaz de expresar el volumen total o parcial de un árbol en función de variables independientes como diámetro, altura, grosor de corteza, factor de forma, etc., o también como la representación tabular del volumen individual de árboles enteros o en partes de ellos a través de variables de fácil medición. En general, las tablas presentan los volúmenes en m<sup>3</sup> (metros cúbicos), pudiendo este volumen incluir o no la corteza del árbol.

Así mismo Sánchez (2012) plantea que la tabla de volumen es una tabulación del volumen promedio de árboles de diferentes tamaños, expresados por su DAP y altura y diferentes clases de formas, su idea es desarrollar para una especie una relación entre el volumen y algunas variables de fácil determinación como DAP y la altura.

### **2.4.2. Tipos de tablas de volumen**

Las tablas de volumen se pueden clasificar según el número de variables independiente, el aprovechamiento y al tipo de modelo según Aldana (2010).

#### **1. En cuanto al número de variable independiente**

##### **a) Tabla de volumen de simple entrada o tabla de volumen local**

Woofdin (2008) menciona que las tablas normales o estándar las tablas de volumen local llamadas también tablas de " una sola entrada "o " tarifas " expresan los volúmenes en función de una de las diferentes dimensiones arbóreas: el diámetro a la altura de pecho. Al utilizarse no se emplea la medida de la altura del árbol, que se ha tenido en cuenta al principio de la construcción, pero que se elimina en forma definitiva. El término "local" se utiliza porque este tipo de tabla sólo se aplica en zonas limitadas donde existe una relación adecuada entre la altura y el diámetro del

árbol. Permiten conocer el volumen leyendo el diámetro, pero su empleo en extensiones grandes resulta arriesgado.

#### **b) Tabla de Volumen de doble entrada, estándar o regional**

El volumen es en función del diámetro y de la altura, debido a la mayor heterogeneidad constatada en el desarrollo de la altura de los árboles (Aldana, 2010). Según Santana (2004), estas tablas pueden prepararse para especies o grupos de especies y para diversas regiones geográficas.

#### **c) Tablas de volumen por clases de formas**

Estas tablas suelen llamarse "tabla de triple entrada", considera tres variables independientes: el diámetro, la altura y un factor de forma, para estimar el volumen. En este tipo de tabla hay que leer primero la clase de forma, luego el diámetro y finalmente la altura para encontrar el volumen buscado; se entiende que al calcular el volumen, la forma del árbol tiene un significado además del diámetro a la altura del pecho y de la altura (Mac Lean, 2001). Según Aldana (2010) esta tabla de volumen prácticamente no es aplicada en los bosques en Cuba.

### **2. En cuanto al Aprovechamiento**

Según Aldana (2010) se pueden clasificar de acuerdo con la posición en que se tomen las mediciones del árbol considerado y pueden ser construidas:

a) Tabla de volumen total: se refiere al volumen total del árbol y puede ser presentada con y sin corteza.

b) Tabla de volumen comercial: Se refiere al volumen parcial (comercial) del tronco, pudiendo ser presentada también con y sin corteza.

#### **c) En cuanto al tipo de modelo**

Conforme el modelo matemático seleccionado según Aldana (2010) para describir el volumen de los árboles, las tablas pueden ser:

1. Tablas de volumen aritméticas, las cuales son originadas de modelos aritméticos.
3. Tablas de volumen logarítmicas, generadas por modelos logarítmicos.

Estas tablas permiten hacer una evaluación del volumen de árboles y rodales con elevada precisión y bajo costo. Investigaciones realizadas por Nakata, K. (1986) en la elaboración de estas tablas se probaron un grupo de 13 modelos de regresión y ecuaciones matemáticas aritméticas, logarítmicas y semilogarítmicas, principalmente con modelos de regresión de doble entradas.

Los modelos logarítmicos y semi-logarítmicos fueron los de mejor ajuste, donde se seleccionó el siguiente para la elaboración de la tabla de volumen en plantaciones de *Pinus tropicalis* en rodales en rodales naturales de *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari y en plantaciones de *Hibiscus elatus* debido a su mayor coeficiente de determinación y menor error típico de la estimación.

$$\text{Log } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Log } d_{1,30} + \beta_2 \text{Log } h \text{ de SCHUMACHER-HALL}$$

#### **2.4.3. Construcción de tablas de volúmenes**

Según Mora y Cevallos (2008) cuando no se dispone de tablas volumétricas cabe la posibilidad de construirlas. Se conocen numerosos métodos de construcción, pero se recomienda el empleo de técnicas de regresión con una ecuación ordenada, ya que es una técnica directa sumamente sencilla que elimina relativamente la subjetividad de muchos otros métodos y permite expresar el error de relación. La preparación de tablas volumétricas es costosa, porque requiere reunir datos básicos como son las medidas de las dimensiones de una serie de árboles muestra, el cálculo de su volumen y el establecimiento de una ecuación o relación gráfica entre las dimensiones arbóreas y el volumen.

Al considerar el empleo de las tablas volumétricas es importante tener presente las especificaciones utilizadas en su construcción. Esto implica un análisis cuidadoso de característica, tales como las unidades de volumen, el diámetro mínimo a la altura de pecho, la altura del tronco, el tipo de medición de altura utilizada (total o comercial) y

el diámetro superior mínimo al cual se mide el volumen. Es evidente que las especificaciones de las tablas ya existentes ejercerán gran influencia en las especificaciones volumétricas que se indicarán en cualquier inventario (García, 2007).

Según Herrar *et al.* (1987) cuando en un inventario se deseen especificaciones volumétricas diferentes de las que pueden obtenerse en las tablas existentes, cabe la posibilidad de convertir estas últimas mediante las correlaciones apropiadas, pero si tal operación se revela imposible o práctica, habrá que construir nuevas tablas o bien utilizar relaciones volumétricas diferentes de las proporcionadas por las tablas. Con los datos obtenidos de las medidas de los árboles se pueden construir tablas de volumen por los métodos gráficos y matemáticos.

En Cuba la primera tabla de volumen construida por procedimiento estadísticos matemáticos es la publicada por Burley *et al.* (1971), para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, quienes determinaron como mejor modelo la fórmula Australiana de Stoate, es decir:  $V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$ .

Los modelos logarítmicos y semi-logarítmicos fueron los de mejor ajuste, de los cuales el modelo:  $\text{Log}v = 0\beta + 1\beta \text{Log}d_{1.30} + 2\beta \text{Log}h$  de Schumacher-Hall fue el seleccionado por Padilla (1999) para la elaboración de la tabla de volumen plantaciones de *Pinus tropicalis*, por Zaldivar (2001) en plantaciones de *Hibiscus elatus*, y por Ares (1999) en rodales naturales de *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea*.

Para las plantaciones de la especie *Eucalyptus sp.*, Peñalver (1991) encontró que el modelo de mejor ajuste fue el modelo logarítmico de Spurr, es decir,  $\text{Log}V = 0\beta + 1\beta \text{Log}(h d_{1.30}^2)$ .

Los Modelos obtenidos con sus respectivos parámetros para cada una de las especies investigadas fueron los siguientes:

- Para plantaciones de *Pinus caribaea* var *caribaea* (Burley and Dell, 1971)

$$V=0,001738- 0,000474 H+0,000092 d^2 +0,000029 d^2 H$$

- Para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* (Báez, 1988)

$$\text{Log } v_{cc} = - 4,4134 + 1,7953 \text{ Log } d_{1,30} + 1,1293 \text{ log } h$$

$$\text{Log } v_{sc} = - 4,5432 + 1,7582 \text{ Log } d_{1,30} + 1,2218 \text{ log } h$$

- Para plantaciones de *Eucalyptus sp.* (Peñalver, 1991)

$$\text{Log } v_{cc} = - 0,499185 + 0,915449 \text{ Log } (h d_{1,30}^2)$$

$$\text{Log } v_{sc} = - 0,603707 + 0,965513 \text{ Log } (h d_{1,30}^2)$$

- Para plantaciones de *Pinus tropicalis* (Padilla, 1999).

$$\text{Log } v_{cc} = - 3,892 + 1,9799 \text{ Log } d_{1,30} + 0,5665 \text{ Log } h.$$

- Este mismo modelo fue el de mejor ajuste para el volumen sin corteza pero con coeficientes diferentes. Para *Pinus tropicalis* natural (Ares, 1999)

$$\text{Log } v_{cc} = - 4,4274 + 1,2094 \text{ Log } d_{1,30} + 1,9551 \text{ Log } h$$

$$\text{Log } v_{sc} = - 4,5623 + 1,2503 \text{ Log } d_{1,30} + 1,9329 \text{ Log } h$$

- Para *Pinus caribaea var caribaea* natural (Ares, 1999)

$$\text{Log } v_{cc} = - 4,2921 + 1,3539 \text{ Log } d_{1,30} + 1,6192 \text{ Log } h$$

$$\text{Log } v_{sc} = - 4,6708 + 1,3987 \text{ Log } d_{1,30} + 1,7971 \text{ Log } h$$

- Para plantaciones de *Hibiscus elatus*. (Zaldivar, 2001)

$$\text{Log } v_{cc} = -3,9995 + 1,7284 \text{ Log } d_{1,30} + 0,8551 \text{ Log } h$$

$$\text{Log } v_{sc} = - 4,0663 + 1,8447 \text{ Log } d_{1,30} + 0,7363 \text{ Log } h$$

Ares et al. (1989), presentaron modelos logarítmicos que permitieron la estimación de los volúmenes en rodales naturales de *Pinus tropicalis* en las empresas Macurije,



Minas de Matahambre y Pinar del Río y elaboraron una tabla para determinar el volumen total y comercial, encontrando su mayor aplicación en la estimación de los volúmenes producto de la tala rasa.

Por lo expuesto anteriormente, se puede observar que en Cuba ha sido posible la elaboración de tablas dasométricas para la cubicación de la madera, sobre todo en plantaciones de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* y otras especies como: *Eucalyptus* sp. *Casuarina esquistifolia* e *Hibiscus elatus*. También Henry (2002) elaboró tablas dasométricas para otras cuatro especies en bosques naturales mixtos de la Ciénaga de Zapata, *Lysiloma latisiliquum* Benth (soplillo), *Bursera simaruba* Sargent (almacigo), *Calophyllum antillanum* Britton (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi (júcaro).

#### **2.4.4. Aplicabilidad de las tablas volumétricas ya existentes**

Las tablas volumétricas ya existentes deben comprobarse, observando si los volúmenes en ella, indicados, coinciden con los volúmenes verdaderos que se obtienen de los árboles, con la finalidad de saber si sirven para la madera que ha de ser objeto de inventario (Kollmann, 2009).

La aceptación de una tabla volumétrica preparada para una localidad o especies diferentes, simplemente porque ya está construida ofrece graves riesgos, ya que así pueden producirse errores en el cálculo del volumen que invalidarán todos los demás trabajos, por muy cuidadosamente que se ejecuten (Villarroel, 2004).

Una tabla volumétrica puede aplicarse a cualquier especie o localidad donde los árboles tengan la misma relación de forma; pero como estas formas difieren según la especie y localidad, pueden prepararse las tablas que reconocen estas diferencias de dos maneras (Nakata, 1986).

#### **2.4.5. Selección de tablas volumétricas**

En todos los casos, el primer paso es la selección de la tabla o tablas volumétricas que habrán de usarse. Se han editado muchas de estas tablas para todas las especies comerciales importantes y en todo caso no es difícil conseguirlas. El

apreciador experimentado puede saber por su labor anterior, cuáles serán las que mejor sirvan a sus necesidades. Si se tiene alguna duda, se debe encontrar alguna explotación forestal cercana en la que halla árboles cortados que crecieron en condiciones semejantes a las de la extensión que se necesite estimar, y poder comprobar por medio de ellos la exactitud de la tabla que se piense utilizar (Brow, 2004).

Si se ha de emplear una tabla volumétrica por clases de formas el apreciador suficientemente experimentado sabrá escoger la clase o clases adecuadas para cada especie mediante la inspección de los árboles que han de apreciarse. En caso de incertidumbre, la clase de forma debe determinarse por medio de medidas tomadas de árboles cortados en las inmediaciones (Donovan, 2003).

Las únicas medidas reales que se necesitan son el diámetro a la altura de pecho y el diámetro determinante de la escala de medición que presente la primera troza de unos 25 árboles de cada especie; pero no debe olvidarse la observación de defectos de la parte alta de los árboles. En una labor de magnitud considerable, el Jefe apreciador puede tener a sus órdenes varios ayudantes menos experimentados. En estos casos, quizá sea preferible que emplee una tabla volumétrica local basada solamente en diámetro (Carreras y Roger, 1997).

#### **2.4.6. Ventajas de las tablas de volumen**

En primer lugar, son sistemas simples de aplicar y relativamente precisos. En segundo lugar, una vez que se desarrolló una tabla de volumen estándar para una región y especie, teóricamente sirve para siempre; Contar con una tabla local tiene la ventaja de eliminar la necesidad de medir alturas, procedimiento lento, fastidioso y muchas veces poco exacto (Egas *et al.*, 2000).

#### **2.5. Modelos de perfil del fuste y tablas de surtidos**

Paralelamente a la investigación acerca de los factores que determinan la forma del tronco de los árboles, también se ha desarrollado una extensa labor en torno a la elección y ajuste de las funciones que lo describen, dando lugar al establecimiento

de decenas de modelos dentro de los que se pueden relacionar: los modelos no compatibles, hiperbólicos, polinómicos simples, polinómicos modificados con términos logarítmicos, polinómicos segmentados que pueden ser con números fijos de polinomios y con número variable de polinomios (funciones Spline), los logarítmicos y exponenciales (Prodan *et al.*,1997).

En general, la construcción de una ecuación de perfil del fuste se basa en la medición de diámetros a intervalos de alturas en una muestra de árboles representativos de algunas características de interés como: especie, región, sitio, dimensiones (Machado, 2002).

Tolosana (1987) plantea que todos esos modelos han sido probados por diferentes autores y en diferentes especies o grupos de especies forestales, usándose variantes dentro de ellos mismos.

Cailliez (1980); Prodan *et al.* (1997); Bi, (2000); Letourneau y Andenmatt en (2000); Fassola *et al.* (2006) y Fernández y Rodríguez (2010) coinciden que los modelos de perfil son funciones que describen tanto la forma geométrica del árbol (cilindro, cono, parábola, neiloide) como la tasa de decrecimiento o ahusamiento del diámetro a medida que se incrementa la altura.

Kozak *et al.* (1969) y Friedl *et al.* (1992), han demostrado que con las funciones de perfil del fuste pueden obtenerse excelentes ajustes.

Peñalver (1991) plantea que la construcción de la ecuación del perfil del fuste se basa en las mediciones de diámetros a intervalos de alturas en árboles de muestra, las cuales son transformadas de manera que el conjunto de mediciones, correspondiente a cada árbol, pueda ser ajustado por una misma ecuación en dependencia de las dimensiones absolutas de cada árbol. El procedimiento más utilizado es el de definir analíticamente la forma de la generatriz del tronco mediante alguna ecuación matemática, procedimiento que se ha dividido en dos variantes: utilizar un modelo matemático único para todo el perfil y utilizar dos o más modelos. El utilizar una ecuación única o más de una depende de las características de la

forma de la especie, de la precisión que se quiera obtener en la estimación y del objetivo del modelo.

La fórmula matemática que ajusta según Peñalver (1991) con mayor eficacia el perfil del fuste es un polinomio de orden indeterminado:  $y = \sum a_{n-1} x^{n-1}$ .

En general dan buenos resultados las familias de curvas denominadas parábolas; entre ellas la parábola simple, cuadrática y cúbica. De hecho, las conocidas fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton - Simpson, pueden ser deducidas de estas familias de curvas (Anuchin, 1970).

Diversos han sido los enfoques empleados para la obtención de estos modelos, pudiendo encontrar en la literatura entre los llamados generales del árbol completo, los elaborados por Friedl *et al.* (1992) para *Araucaria angustifolia* y el desarrollado por Allen (1992) para *Pinus caribaea avar. hondurensis*; entre los generales segmentados el desarrollado para *Pinus taeda* por Costas *et al.* (2003); del tipo compatibles generales se encuentran el de Amateis-Burkhart (1987) en *Pinus taeda*; en *Pinus elliottii* por Crechi *et al.* (1997, 1998); en *Pinus caribaea avar. Caribaea* por Ferrere *et al.* (2001); en *Grevillea robusta* Crechi *et al.* (2004) y en híbridos obtenidos de *Pinus elliottii* y *Pinus caribaea avar hondurensis* Costas *et al.* (2006).

Existen funciones de perfil ajustadas a varias especies de coníferas a nivel internacional entre los cuales se encuentran los elaborados por Laasasenaho (1982) en *Pinus sylvestris*, *Picea abies* y *Betula pendula* en Finlandia; los modelos obtenidos por Torres *et al.* (1993) para ocho especies de pinos en el estado de México; Zepeda (1993) para *Pinus patula* en Perote, Veracruz, México; Rentería *et al.* (1995) en *Pinus Cooperi* para el estado de Durango, México; Návar *et al.* (1997) para *Pinus hartwegii* en el Noreste de México; el trabajo de Meredieu (1998) en *Pinus nigra*; Corral, Návar y Fernández (1999) con *Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus leiophyllay Pinus herrerae*. Asimismo en especies de latifolias, Cellini *et al.* (2002) para plantaciones de *Nothofagus pumilio* Poepp. en Argentina.

En Cuba este método ha sido desarrollado por Orquín (1987), para un número de especies. Gra (1988), logró determinar con resultados bastante buenos, a partir de la modelación del perfil del fuste del *Pinus caribaea* en plantación.

Ares (1999), clasifica los surtidos maderables de *Pinus tropicalis* en bosques naturales para la provincia de Pinar del Río utilizando la misma variable dependiente e independiente que Padilla (1999), solo que en este caso la ecuación de mejor ajuste resultó ser la parábola cuadrática. También para esta especie García *et al.* (2006) Determinaron dos modelos para el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza y obtuvieron como ecuación de mejor ajuste un polinomio de tercer grado y utilizaron como variable dependiente el diámetro relativo en cualquier punto de la troza con respecto a su menor diámetro  $\left(\frac{d_i}{D}\right)$ , y como variable independiente el largo relativo en cualquier punto de la troza con respecto al largo total de la troza  $\left(\frac{l_i}{L}\right)$

Barrero (2010), determinó como mejor modelo con y sin corteza para *Pinus caribaea* Moreletvar. *Caribaea* Barreta y Golfari la ecuación cuadrática de Kozak con  $\left(\frac{d_i}{d_{1,30}}\right)$  como variable dependiente y  $\left(\frac{h_i}{h_t} - 1\right)$  como variable independiente.

El modelo obtenido para *Talipariti elatum* por Zaldívar (2001), teniendo como la ecuación de mejor ajuste un polinomio de primer grado, y como variable dependiente el diámetro a una altura h sobre el diámetro normal  $\left(\frac{d_i}{d_{1,30}}\right)$  e independiente la altura correspondiente a las diferentes mediciones del diámetro  $(d_i)$  sobre la altura total  $\left(\frac{h_i}{h_t}\right)$

En bosques naturales mixtos Henry (2002) ensayó modelos de perfil del fuste para las cuatro especies de valor económico de la Ciénaga de Zapata antes mencionadas

y el modelo general para cada especie que mejor resultado presentó fue un

$$\text{polinómico de tercer grado: } \frac{d_i}{D} = a + b * \left(\frac{l_i}{L}\right) + c * \left(\frac{l_i}{L}\right)^2 + d * \left(\frac{l_i}{L}\right)^3$$

Según Machado (2002) para conocer el porcentaje de madera de diferentes dimensiones (diámetros), así como el porcentaje de leña y corteza de los árboles individuales y de los rodales, se construyeron las tablas de volumen de surtidos. En este caso se utilizó una ecuación de regresión de la forma:  $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$ ;

donde:  $y = \frac{d_i}{d_{1,30}}$  y  $x = \frac{h_i}{h_t}$  son variables relativas según los surtidos. Machado (2002)

para determinar los surtidos de madera en las 5 especies investigadas utilizó el modelo polinómico siguiente:

$$\frac{d_i}{d_{1,30}} = a + b \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + c \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + d \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3$$

Con la variable dependiente  $Y = \frac{d_i}{d_{1,30}}$  y la variable independiente  $X = \frac{h_i}{h_t}$

Los modelos matemáticos para la estimación del perfil del fuste han sido estudiados en Cuba por varios autores en plantaciones de especies importantes como: *Casuarina equisetifolia*, *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, *Pinus tropicalis* y *Talipariti elatum*. Sin embargo no se han encontrado informaciones de que se hayan estudiados estos modelos para las ramas y la masa. En cuanto al estudio de modelos de regresión de perfil del fuste en bosques naturales, no de las ramas y de la masa, sólo se tiene referencia de los realizados por Ares (1999) en bosque naturales de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* y *Pinus tropicalis*; Machado (2002) en las especies *Calophyllum utile*, *Manilkara albescens*, *Tabebuia dubia* y *Sloanea curatellifolia*, propias de bosques pluvisilva de montaña.

enry (2002) para un grupo de especies en áreas cenagosas de la Ciénaga de Zapata, Matanzas y Lores (2012) para *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa gujanensis* Aubl y *Andira inermis* SW en bosques pluvisilvas de Baracoa.

## 2.6. Generalidades de la especie *Pinus cubensis* Griseb

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Pinaceae
Género:	<i>Pinus</i>
Especie:	<i>cubensis</i>

*Pinus cubensis* (Griseb.) es una especie de la familia Pinaceae endémica de la región nororiental de Cuba. Se conoce principalmente con el nombre común de pino de Mayarí, pino de Moa o pino de Baracoa, pero los campesinos de estos lugares lo llaman simplemente pino (Zaldívar y Bonilla, 2009).

El pino cubano, es un pino endémico de las tierras altas del este de la isla de Cuba, que habita en Sierra Nipe-Cristal y Sierra Maestra. Los estudios sistemáticos modernos reconocen a *P. cubensis* como una especie válida, sin embargo, hay desacuerdo sobre si las poblaciones de Sierra Maestra en el sur son parte de *P. cubensis* o conforman otra especie llamada *Pinus maestrensis* Zaldívar, (2009).

Según el mismo autor la población de Sierra Nipe-Cristal y Sierra Maestra puede haber divergido recientemente, como lo indican estudios genéticos recientes que han encontrado algunos linajes genéticos ancestrales que se comparten entre las dos regiones y solo algunas variantes raras exclusivas para cada región.

Según el mismo autor es un árbol de hoja perenne, alcanzando un tamaño de 25 a 30 metros de altura. La corteza de las ramas jóvenes es primero azulada y poco peluda, más tarde es gris-marrón y se desprende en caspa fina y escamosa. Los brotes son cilíndricos, marrones oscuros y resinosos. Las acículas son gruesas, de color verde, y rígidas, con un tamaño de 10 a 14 cm de largo. Los conos de color marrón rojizo miden 4-5 cm de largo, y son ovals cónicos, estrechándose hacia la parte delantera. La parte de las escamas de las piñas, orientado hacia el exterior es plana, con muescas en el medio. Las semillas son de 2 a 3 cm con las alas, sin alas 0,5 a 0,6 cm de largo.

La madera es resinosa, de color carmelita rojizo y varía la intensidad del color con la cantidad de resina presente, sin diferencias notables entre albura y duramen. Los anillos de crecimiento están bien delimitados; las zonas de madera temprana y madera tardía claramente definidas. Textura media, grano con tendencia a la torsión, resinosa al tacto y olor característico, con una densidad media al 12% de humedad de 0,740g/cm<sup>3</sup> (Sablón, 1984).

## **Usos**

La madera se puede utilizar en tablas para forros de casa, encofrados, viguetería y construcciones en general. Sablón (1984) citado por Zaldívar y Bonilla, (2009) plantea que la madera de esta especie es muy similar a la de *Pinus caribaea*, aunque al parecer, menos resinosa, y se le atribuyen los mismos usos que a dicha especie. Pudiendo utilizarse en construcciones generales, marcos, puertas, ventanas, bocaminas, traviesas, pulpa para papel, etcétera. Para ser utilizada en contacto con el suelo, debe ser preservada y es recomendable barrenar antes del clavado y el atornillado para evitar las rajaduras.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

El trabajo se realizó en el aserrío de Omar Ranedo, Empresa Agroforestal Guantánamo entre los meses de septiembre de 2020 a abril de 2020, ubicado en la avenida de los estudiantes entre 6 y 7 este como se muestra en la figura 1. El mismo cuenta con 33 trabajadores, de estos 23 vinculados de forma directa a la producción y 10 de forma indirecta. El establecimiento cuenta con: un área de almacenamiento de la madera en bolo y otra para la madera aserrada al aire libre y bajo techo, un carro transportador, un guinche, una sierra de cinta, un péndulo y una canteadora.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio

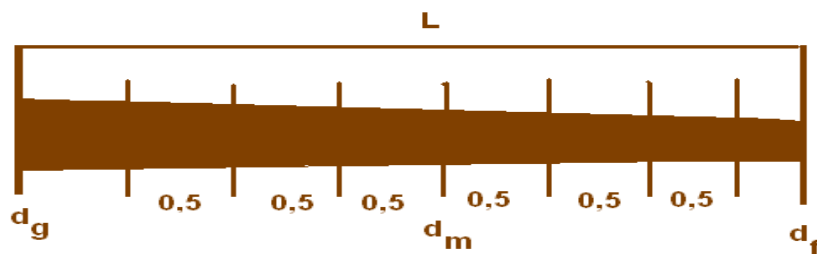
#### 3.2. Tamaño de la muestra

Se midieron un total de 82 trozas y Prodan *et al.* (1997) plantean que no existe en caso de regresiones una expresión explícita para determinar el tamaño muestra de árboles necesario para obtener una precisión dada para obtener tablas de volumen, cuanto mayor sea el número de la muestra más precisa será la estimación. Por otra parte Aldana (2010) señala que se han construido tablas con varios centenares e

incluso miles de árboles, pero no existe una regla fija en cuanto al número de árboles muestras, esto está en dependencia de las características de la tabla de volumen que se quiera construir y variabilidad natural, entre otros factores.

### 3.3. Caracterización de la materia prima

Se realizó un análisis descriptivo donde se caracterizó la materia prima que entró en el aserrío mediante el uso del Software estadístico SPSS Ver. (21.0). Las variables utilizadas fueron la longitud utilizando una cinta métrica y los diámetros en las tres extremos de las trozas mediante la forcípula (diámetro fino (df), medio (dm) y grueso (dg)). Además se midieron los diámetros cada 50 cm de longitud como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Medición de las trozas de *Pinus cubensis* (Griseb).

#### **Diámetro sin corteza**

Se determinó el diámetro sin corteza según Aldana (2010) donde el  $dsc = dcc - 2e$ .

Donde:

dsc: Diámetro sin corteza.

dcc: Diámetro con corteza.

e: Grosor de corteza.

Para medir el grosor de corteza se utilizó el medidor de corteza. Se realizó un análisis de correlación y se utilizaron las variables dsc, dcc y e. Por último se estimó el dsc mediante un análisis de regresión utilizando el SPSS Ver. (21.0).

### 3.4. Determinación del volumen de madera en bolo

Se emplearon las tres fórmulas más usadas para determinar el volumen (Huber, Smalian y Newton) según Aldana (2010) y se realizó un Anova para ver si existían diferencias significativas entre cada una y determinar la mejor. Se utilizó el SPSS versión 15.0.

$$V_H = g_m * L_a$$

$$V_S = \left( \frac{g_f + g_g}{2} \right) * L$$

$$V_N = \left( \frac{g_f + 4g_m + g_g}{6} \right) * L$$

Donde:

V - volumen de la madera en bolo (m<sup>3</sup>): (H- Huber, S- Smalian, N- Newton),

g- área basal (m<sup>2</sup>): (f- fina, m- media, g- gruesa) y

l - longitud de la troza, (m).

#### 3.4.1. Modelos matemáticos para el fuste y perfil del fuste con corteza y sin corteza del *Pinus cubensis*

Primeramente se realizó una matriz de correlación donde se relacionó el volumen según Newton (V<sub>N</sub>) con las variables: longitud (l), diámetro en la parte gruesa (dg), diámetro fino (df) y el diámetro medio (dm), para determinar cuál de esas variables se correlaciona más con el volumen.

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen comercial con corteza se analizaron 10 de los mejores modelos utilizados por Rondón (2014), Padilla (1999) y Lores (2012) como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Modelos de regresión para la determinación del volumen comercial y perfil del fuste para *Pinus cubensis* (Griseb.)

No	Autor	Ecuación
<b>Volumen comercial</b>		
1	Schumacher Hall	$v = b_0 d^{a_1} h^{a_2}$
2	Takata	$v = \frac{d^2 h}{b_0 + b_1 d}$
3	Ogaya 1	$v = d^2 (b_0 + b_1 h)$
4	Potencia VrT=f(x)	$\log(Vrt) = \log(b_0) + b_1 * \log(x)$
5	Honner	$v = \frac{d^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h_1}}$
6	Berkhout	$v = b_0 d^{b_1}$
7	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 \log d_i$
8	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(d_i dh)$
9	Schumacher Hall 1933	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$
10	Logarítmico Spurr 1952	$\log v = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$
<b>Perfil del fuste</b>		
11	Cúbico	$\frac{d_{cc/sc}}{d_{1.30}} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left( \frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^3$
12	Cúbico	$\frac{d_{icc/sc}}{d_{1.30}} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h_t} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h_t} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h_t} \right)^3$
13	Cuadrático	$\frac{d_{cc/sc}}{d_{1.30}} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left( \frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^2$
14	Cuadrático	$\frac{d_{icc/sc}}{d_{1.30}} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h_t} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h_t} \right)^2$
15	Cuadrático	$\frac{d_{icc/sc}}{d_{1.30}} = b_0 + b_1 \left( \left( \frac{h_i}{h_t} \right) - 1 \right) + b_2 \left( \left( \frac{h_i}{h_t} \right) - 1 \right)^2$

### 3.4.2. Selección del modelo

La selección de la ecuación de volumen se realizó de acuerdo a la metodología planteada por Salas 2002 y Lores (2012) la cual consiste en las siguientes cuatro etapas:

a) **Cumplimiento de supuestos.** Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión. La normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuales se verificó mediante el test de Durbin y Watson (Canavos, 1988). La presencia de multicolinealidad entre las variables predictoras, fue evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (VIF) (Maddala, 1996). Los modelos que no cumplieron con algunos de estos supuestos fueron eliminados de las siguientes etapas. La presencia de multicolinealidad se asumió para aquellas ecuaciones que presentaron VIF mayores a 10 para alguna de sus variables independientes (Kozak 1997).

b) **Bondad de ajuste.** Se calculó el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{adj}$ ), el error estándar de la estimación (S) y la significancia estadística de los coeficientes de regresión ajustados mediante la prueba de t-student. Aquellos modelos que presentaron al menos un parámetro no significativamente distinto de cero fueron eliminados.

Este índice se obtiene maximizando la función de verosimilitud de cada modelo de volumen, en el espacio muestral de la variable dependiente  $v$ . La interpretación del IF es de carácter inverso a los de máxima verosimilitud, por lo tanto un valor grande indica ajuste pobre y viceversa.

c) **Capacidades predictivas.** Fueron evaluadas en la totalidad de la muestra empleada para la validación de los modelos (validación independiente) las capacidades predictivas, con el fin de comparar los modelos. Los estadísticos empleados son la raíz del error cuadrático medio (RECM) y la diferencia agregada (DA) (Prodan *et al.*, 1997) Debido al sesgo que se produce al transformar los valores estimados de modelos logarítmicos ( $\ln m^3$ ) a los valores aritméticos ( $m^3$ ), se empleó

(previo al cálculo del RECM y DA) la corrección propuesta por Baskerville 1972) para los modelos que emplean logaritmos en la variable respuesta.

d) **Análisis de capacidades predictivas dentro de clases de validación.** Se calcularon la media y la desviación estándar del RECM y DA calculados para cada rango de validación de cada ecuación (Salas, 2002). Se emplearon cinco rangos de validación de acuerdo al volumen observado ( $v$ ) de cada árbol. Los rangos fueron establecidos de acuerdo a los percentiles 20, 40,60 y 80, con lo cual cada uno de los cinco rangos tuvo la misma cantidad de observaciones.

En general, con esta metodología, se espera que un modelo con un buen comportamiento debiera presentar para el RECM una menor media (mayor exactitud) y una menor desviación Salas *et al.* (2002): Modelos de volumen para *Pinus pinaster* estándar (menos variabilidad) en todos los rangos. Para la DA, la tendencia esperada es la misma, con la diferencia que para la obtención de la media y desviación estándar de la DA en las clases de validación se emplean valores absolutos. Este análisis es clasificado de acuerdo a Kozak (2003) como un análisis de falta de ajuste, el cual normalmente no es realizado en gran parte de los estudios que evalúan y comparan varios modelos.

### **3.5. Determinación del método más efectivo para determinar el volumen**

#### **3.5.1. Relación entre el volumen estimado y el volumen real**

Un vez seleccionado el mejor modelo se determinó si existe diferencias estadísticas a partir de un análisis de Duncan entre el volumen estimado por el modelo y el volumen real obtenido por la fórmula de Newton dividiendo la troza en diferentes secciones, además se realizó un análisis de regresión lineal entre estos dos métodos. Se utilizó el SPSS Ver. (21.0) y la metodología utilizada fue según Rondón (2014).

### **3.5.2. Selección del mejor método**

Una vez determinado el mejor método se comparó con el volumen que se obtiene a partir de la tabla de volumen según INDF (1976) para varias especies de latifolias, mediante un análisis de Anova y a su vez se determinó el nivel de ajuste a partir del análisis de regresión. Se utilizó el SPSS Ver. ( 21.0).

### **3.6. Valoración económica**

Para la valoración económica de este trabajo se realizó una comparación entre el volumen obtenido por método empírico y el determinado por el método más eficiente y el estimado por el modelo de mejor ajuste para el fuste de la especie investigada. Esta forma de comparación ha sido igualmente utilizada por Henry (2002). Se utilizó el listado de precio de la madera aserrada según el Ministerio de Finanzas y Precios en su Resolución No. 312- (2020). El rendimiento promedio del *Pinus cubensis* es de 48%.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características de la materia prima

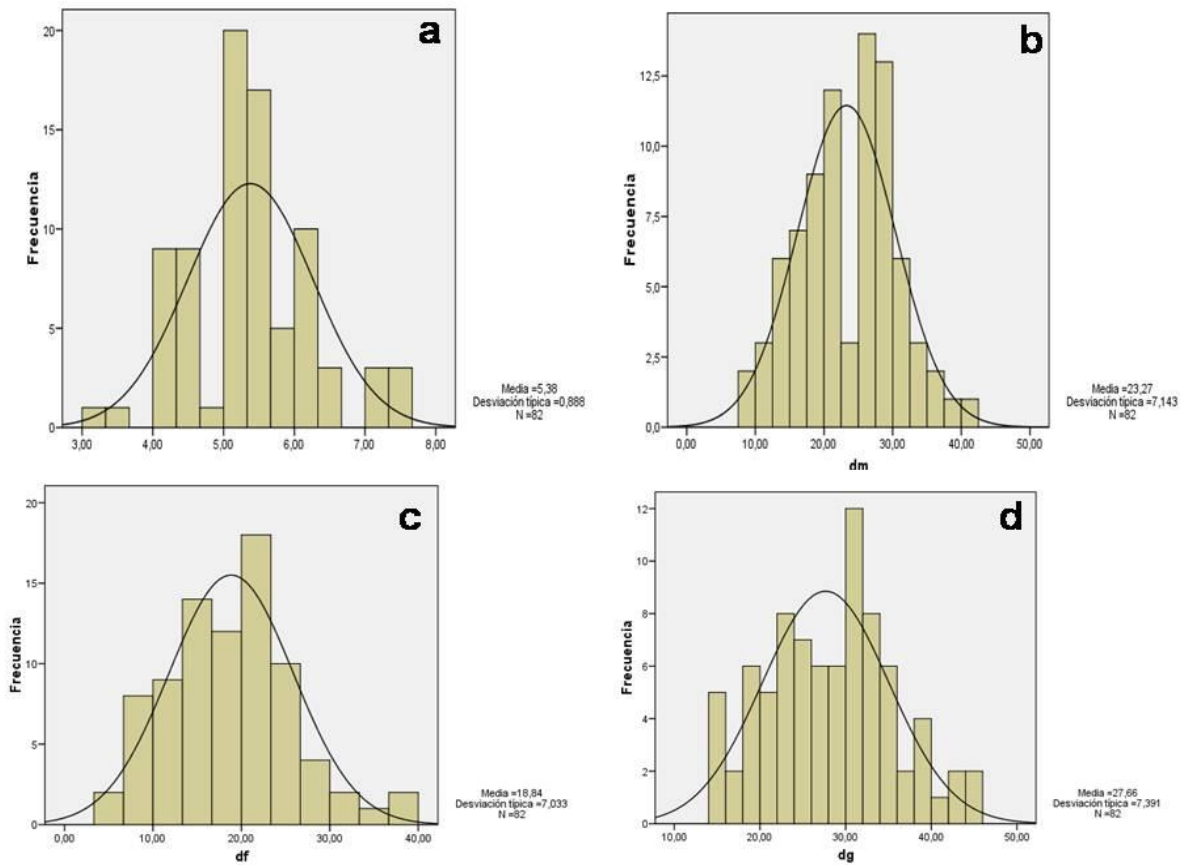
Se muestra en la tabla 2 el análisis descriptivo del *P. cubensis* (Griseb.). Se observan los valores máximos, mínimos, media, varianza, desviación típica y el error estándar de los diámetros finos (Df), gruesos (Dg), medio (Dm) y la longitud (L). Donde el error típico es inferior a 0,81617, la longitud es la variable que menor desviación y varianza posee y el diámetro es más variable con una máxima desviación de 54,623.

**Tabla 2.** Análisis descriptivo del *Pinus cubensis* (Griseb.)

Estadísticos	L (m)	Dg (cm)	Df (cm)	Dm (cm)
Mínimo	3,05	14,00	5,00	8,00
Máximo	7,50	45,00	40,00	42,00
Media	5,38	27,66	18,84	23,27
Error típico	0,09	0,82	0,78	0,79
Desviación típica	0,89	7,39	7,03	7,14
Varianza	0,79	54,62	49,47	51,03

En la figura 3 (a) se observa que las variables evaluadas siguen una distribución normal, la variación de la longitud con una media de 5,37m, resultado superior a los obtenido por Leyva *et al.* (2017) para esta especie en Yaretas y Baracoa con una longitud media de 2,81m, ya que se realizó el aprovechamiento de trozas largas, las cuales hay que trocearla antes de aserrar.





**Figura 3.** Variables dendrométricas del *Pinus Cubensis*. (Griseb) (a): Longitud,

Con respecto al diámetro fino (b), medio (c) y grueso(d) en la figura anterior (3) se observa que varía de uno fino de 5 cm hasta un grueso de 45cm, resultados que difieren a los reportado por Leyva *et al.* (2017) ya que varía de 23 a 26cm. Los resultados de esta investigación tienen mayor variabilidad, aspecto positivo por tener un mayor alcance de los resultados y que al final la tabla de volumen sea más aplicable. Aunque se debe realizar un análisis sobre el diámetro mínimo de corte de esta especie ya que se están aprovechando árboles con dimensiones por debajo de las establecidas para su aprovechamiento industrial.

#### 4.2. Estimación del diámetro sin corteza

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para ver cuáles de las variables: grosor de corteza y diámetro con corteza se correlacionaba más con el diámetro sin

corteza como muestra la tabla 3. Donde el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza tienen un alto mayor nivel de correlación (0,977) para un nivel de significación inferior a 0,01. Resultados que se corroboran con los obtenidos por Barrero (2010) para *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari en la EFI macurije.

**Tabla 3.** Estimación del diámetro sin corteza para *Pinus cubensis* Griseb.

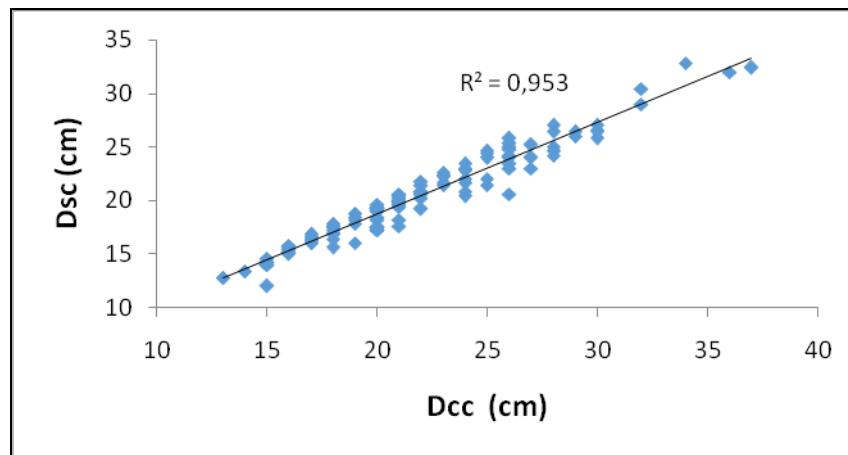
		E	Dsc	Ddcc
E	Correlación de Pearson	1	0,430(**)	0,615(**)
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000
	N	130	130	130
Dsc	Correlación de Pearson	0,430(**)	1	0,977(**)
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000
	N	130	130	130
Dcc	Correlación de Pearson	0,615(**)	0,977(**)	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	
	N	130	130	130

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Para predecir el diámetro sin corteza a partir del análisis de regresión siendo altamente significativo con un nivel de significación menor de 0,05, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,95 y un error típico de 0,9304. Se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$Dsc = 1,706 + 0,853d_{cc}$$

Se observa en la figura 4 que existe una estrecha relación entre el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza con un alto coeficiente de determinación de 0,953, los datos se ajustan de forma lineal.



**Figura 4.** Relación entre el diámetro con corteza y diámetro sin corteza del *P. cubensis*.

Resultado similares a los obtenidos por Barrero (2010), para *P. caribaea* en la EFI Macurije, donde se observó una fuerte correlación entre el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza con un valor de  $R = 0,996$ .

Coincidiendo con Prodan et al. (1997) al plantear que la estimación de corteza te permite homogeneizar las cubriciones de árboles en esta empresa forestal, permitiendo unificar criterios y el empleo de una sola ecuación estable y precisa.

### 4.3. Cubicación de la madera en bolo

Se realizó un Anova para ver si existía diferencia entre los tres métodos más usados para determinar el volumen de madera en bolo según Huber, Smalian y Newton, donde se obtuvo una probabilidad mayor de 0,05 por lo tanto no existe diferencia entre los diferentes métodos estudiados, una desviación típica inferior a 0,16 y un error típico inferior a 0,1580 como se observa en la tabla 4.

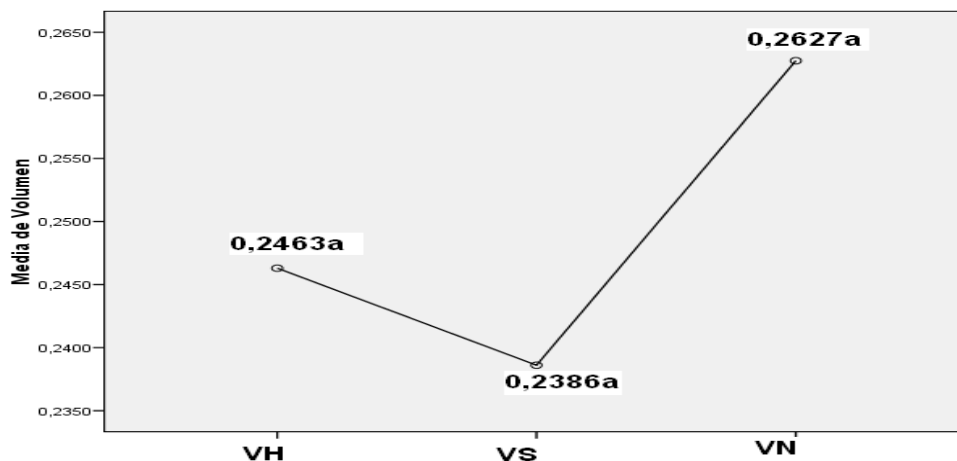
**Tabla 4.** Análisis de Anova para determinar el volumen por diferentes métodos.

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Huber	0,2463a	0,1430	0,01580
V Smalian	0,2386a	0,1400	0,01546
V Newton	0,2627a	0,1604	0,01771
Media	0,24921		
<b>F</b>	<b>0,000</b>		
<b>Sig.</b>	<b>0,567</b>		

Nota: Para un 95% de probabilidad, letras diferentes difieren significativamente.

En la siguiente figura 5, se observa el análisis de Anova donde no hay diferencias significativas, por lo que se infiere que se puede aplicar cualquiera de los tres métodos. El volumen según Huber es de  $0,2463\text{m}^3$ , según Smalian  $0,2386\text{m}^3$  y según Newton de  $0,2627\text{m}^3$ , de estos tres el que mayor resultado da es el de Newton ya que tiene una cubicación más rigurosa; pues por este método el sesgo es menor ya que se toman las mediciones en tres partes de la troza y mientras más mediciones se tomen y más cortas sean las secciones, el error es menor.

Otro argumento por el cual también se decidió aplicar la fórmula de Newton es el planteado por Cailliez (1980) quien hace un análisis de las cuatro formas geométricas generales a las que se pueden corresponder los fustes o las distintas partes del fuste de los árboles: cilindro, paraboloides, cono y neiloide, donde la fórmula de Huber subestima el volumen real para la forma del cono y el neiloide y la fórmula de Smalian sobreestima el volumen real para estas mismas formas, pero ambas fórmulas son exactas para el cilindro y el paraboloides y afirma que la fórmula de Newton es exacta para cualquiera de las formas geométricas del fuste.



**Figura 5.** Análisis de Anova según Duncan para la determinación del volumen según Huber (VH), Smalian (VS) y Newton (VN). Estos resultados son similares a los obtenidos por Rojas (2015), para la determinación del volumen del *Pinus cubensis* (Griseb.) por las tres fórmulas utilizadas.

#### 4.4. Selección del modelo de mejor ajuste

##### Análisis de correlación

Se realizó la matriz de correlación de variables como se observa en la tabla 5, se muestra para el volumen con corteza según Newton ( $V_N$ ) como variable dependiente respecto a las variables independientes: longitud (l), diámetro en la parte gruesa (dg), diámetro fino (df) y el diámetro medio (dm). Según muestran los valores de correlación de Pearson, existe correlación con todas las variables evaluadas. Donde

el diámetro grueso es la variable de mayor nivel de significación con un 0,956. Resultados similares a los obtenidos por Rondon (2014) para *Pinus maestrensis* en la Empresa Forestal Integral Granma.

**Tabla 5.** Análisis de correlación de las variables que más influyen en el volumen de la madera en bolo

		V <sub>N</sub>	Largo	dg	Df	Dm
V <sub>N</sub>	Correlación	1	0,444**	0,956**	0,611**	0,737**
	Sig. (bilateral)		0,00	0,000	0,000	0,000
	N	82	82	82	82	82
largo	Correlación	0,444**	1	0,371**	0,044	0,310**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,001	0,695	0,005
	N	82	82	82	82	82
Dg	Correlación	0,956**	0,371**	1	0,598**	0,769**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,001		0,000	0,000
	N	82	82	82	82	82
Df	Correlación	0,611**	0,044	0,598**	1	0,617**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,695	0,000		0,000
	N	82	82	82	82	82
Dm	Correlación	0,737**	0,310**	0,769**	0,617**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,005	0,000	0,000	
	N	82	82	82	82	82

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Por esta razón para poder determinar relaciones funcionales entre dos o más variables es necesario conocer a través del coeficiente de correlación si estas tienen algún grado de asociación o relación. Este coeficiente se encuentra dentro del rango de 1 a -1 y a medida que se encuentra más próximo a estos valores se hace más fuerte.

En la tabla 6 se muestran todos los modelos que se evaluaron para el *Pinus cubensis* Griseb., teniendo en cuenta coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y el error estándar (Sx). De forma general todos los modelos excepto el número 2 tienen un alto coeficiente de regresión, mayor de 0,971 y un error estándar típico aceptable. Los modelos matemáticos de mejor ajuste según el R y R<sup>2</sup> son el 7 y el 9. Estos resultados coinciden con los obtenidos por: Padilla (1999) para las especie *Pinus tropicalis* y Gra et al. (1990) para *Pinus Tropicalis* y *Pinus caribaea* y plantean que los modelos son los de mejor ajuste, debido a su mayor coeficiente de determinación y menor error típico de la estimación, ellos seleccionan el siguiente modelo:

$$\text{Log } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Log } d_{1,30} + \beta_2 \text{Log } h \text{ de SCHUMACHER-HALL}$$

A pesar de eso se seleccionó el modelo 1:  $V=0,0000563*d^{2,244}*L^{0,531}$ , o sea, el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall, de buen ajuste también, pero de menor complejidad con valores altos y muy cercanos a uno de R<sup>2</sup>. Resultados similares a los obtenidos por Rondón (2014) para *Pinus maestrensis* cuya ecuación es:  $v = 0,002d^{1,454}*h^{0,164}$ , donde el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall fue el de mejor ajuste y a la vez uno de menor complejidad.

**Tabla 6.** Modelos matemáticos evaluados para la especie *Pinus cubensis* Griseb.

No	R	R <sup>2</sup>	Sx	Ecuación
1	0,980	0,960	0,151	$V=0,0000563*d^{2,244}*L^{0,531}$
2	0,867	0,751	0,591	$v = \frac{dg^2 * L}{3,127 + 0,006 * dg}$

No	R	R <sup>2</sup>	Sx	Ecuación
3	0,976	0,952	0,372	$v = d^2(1,409 + 0,339 * L)$
4	0,971	0,944	0,1722	$\log(Vrt) = \log(-9,729) + 5,734 * \log(dg)$
5	0,974	0,949	0,045	$v = \frac{dg^2}{0,270 + (-0,219 * \frac{1}{L})}$
6	0,971	0,942	0,073	$v = 0,000116 * dg^{2,299}$
7	0,982	0,964	0,1394	$\log v = -9,729 + 5,734 \log dg + 1,542 \log h + 1,122 \log dm$
8	0,978	0,956	0,1541	$\log v = (-9,729 + 0,279) * \log(d_m * dg * h)$
9	0,982	0,964	0,1394	$\log v = (-9,729 + 5,346) * \log dg + 1,534 * \log L$
10	0,975	0,950	0,1634	$\log v = (-9,729 + 0,264) * \log(d^2 h)$

De acuerdo con Alder (1980), la validación es el procedimiento para evaluar en qué medida el modelo de regresión elegido representa la población. Una alternativa práctica de validación utilizada en este trabajo es que considera las técnicas estadísticas de análisis de residual entre los valores estimados por el modelo y los datos para su ensayo.



Para la validación de los modelos utilizados para estimar el volumen comercial se midieron 10 trozas de *Pinus cubensis*.

Se muestra en la tabla 7 la validación de los modelos ensayados según el análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas los mejores modelos son 1, 3, 7 y 10 ya que tienen valores de mínimos de 0. Los modelos logarítmicos y los lineales presentan los mejores resultados, y se selecciona en número 1: modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall.

**Tabla 7.** Validación de los modelos.

No	RECM	DA	Ecuación
1	0,000	0,000	$V=0,00007854*d^{2,000}*L^{1,000}$
2	0,0576	0,003	$v = \frac{dg^2 * L}{16081,060 + (-0,001 * dg)}$
3	0,000	0,000	$v = d^2(1,409 + 0,339 * L)$
4	0,3003	0,090	$\log(Vrt) = \log(6,434) + (-8,083) * \log(dg)$
5	0,0686	0,005	$v = \frac{dg^2}{2756,690 + (1,136 * \frac{1}{L})}$
6	0,0693	0,005	$v = 0,0000407 * dg^{1,904}$
7	0,000	0,000	$\log v = -4,105 + 1,1445 \log dg + 1,000 \log h + 2,000 \log dm$
8	0,0616	0,004	$\log v = (-4,610 + 1,122) * \log(d_m * dg * h)$

<b>N<sub>0</sub></b>	<b>RECM</b>	<b>DA</b>	<b>Ecuación</b>
9	0,1313	0,017	$\log v = (-4,768 + 2,055) * \log dg + 1,562 * \log L$
10	0,000	0,000	$\log v = (-0,105 + 1,000) * \log(d^2 h)$

Los resultados confirman las valoraciones realizadas por Loetsch *et al.* (1973), citados por Lores (2012), quienes aseguran que las tablas de volumen en función del diámetro y la longitud producen estimaciones más exactas.

Este modelo coincide con Pece *et al.* (2002) quienes determinaron los mejores ajustes para la tabla de volumen de doble entrada en Álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. Sin embargo, difiere de los modelos propuestos en Cuba por Peñalver (1991), Padilla (1999), Zaldívar (2001) para plantaciones de *Eucalyptus sp*, *Pinus tropicalis*, *Hibiscus elatus* respectivamente y por Ares (1999) para *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea* en bosques naturales, quienes encontraron superioridad en el modelo logarítmico de Spurr.

Además resultados similares a los obtenidos por Rondón (2014) para *Pinus maestrensis* cuya ecuación es:  $v = 0,002d^{1,454}h^{0,164}$ , donde el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall fue el de mejor ajuste y a la vez uno de menor complejidad, con una diferencia agregada 0,015 y un error cuadrático medio de 0,1224.

El interés primordial del proceso de validación es asegurar que los resultados sean generalizables en la población y que los árboles utilizados para la validación no sean específicos de la muestra utilizada para la estimación (Hair *et al.*, 1999). Por eso se utilizó otra muestra de la población y se evaluó la correspondencia de los resultados obtenidos de las dos muestras.

Esto demuestra la confiabilidad para la utilización de este modelo con vista a la construcción de las tablas de volumen única para la especie.

#### **4.5. Modelos de regresión de volumen para perfil del fuste con corteza y sin corteza para *P. cubensis* (Griseb.)**

La estimación de los surtidos maderables se realiza mediante la construcción de un modelo matemático de perfil del fuste, tal como plantean (Prieto y López, 1993; citado por Machado, 2002 y Lores, 2012), al definir una función de forma o perfil del árbol como una expresión que relaciona los diámetros relativos o secciones relativas a lo largo del tronco con la altura relativa a que se encuentren.

Machado (2002) afirma que estas mediciones de diámetros y alturas deben ser transformadas de manera que no se trabaje con los valores absolutos de diámetros a intervalo de alturas de cada árbol, sino que deben convertirse en valores relativos, de manera que el conjunto de mediciones correspondientes a cada árbol puedan ser ajustadas por una misma ecuación con independencia de los valores absolutos, ya que todos los árboles no presentan la misma altura, ni igual diámetro en todas las secciones.

En la tabla 8 se muestra la matriz de correlación de variables para el perfil del fuste, con el diámetro a 1,30 ( $d_{1,30}$ ) como variable dependiente respecto a las variables independientes altura total ( $h_t$ ), diámetro a un medio de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ), diámetro con corteza en cada una de las secciones de las trozas ( $d_{icc.}$ ), diámetro sin corteza en cada una de las secciones de las trozas ( $d_{isc}$ ) y la altura correspondiente a cada una de las mediciones por cada troza ( $h_i$ ).

Como se observa existe correlación con todas las variables excepto con la altura ( $h_i$ ) a cada una de las mediciones correspondientes por cada troza y con la altura del fuste ( $h_f$ ), pero existe una fuerte correlación con el diámetro a un medio de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ) con  $R= 0,904$  y correlación media, con el diámetro con corteza ( $d_{icc.}$ ) y sin corteza ( $d_{isc}$ ) en cada una de las secciones de las trozas con  $R= 0,792$ , y  $R= 0,790$  respectivamente. Se selecciona la variables dependientes las ponderaciones con el diámetro a 1,30, como se ha empleado para otras especies como variable independiente una ponderación de la altura desde la base del árbol hasta el punto donde alcanza el diámetro ( $d$ ) con la altura total, para poder comparar árboles con

diferentes alturas, restándole 1 a esta ponderación para lograr obtener un diámetro cero cuando la altura total se iguala a la  $h_i$ . Este procedimiento ha sido empleado con efectividad por Kozak (1969); Kozak *et al.* (1969); Max y Burkhart (1976), Barrero (2010) y Lores (2012).

**Tabla 8.** Matriz de correlación de las variables dendrométricas para el perfil del fuste de *Pinus cubensis* (Griseb)

		d <sub>1.30</sub>	d <sub>1/2ht</sub>	h <sub>f</sub>	d <sub>icc</sub>	d <sub>isc</sub>	h <sub>i</sub>
d <sub>1.30</sub>	Correlación de Pearson	1	,904(**)	,062(**)	,792(**)	,790(**)	,046(*)
	Sig. (bilateral)		,000	,001	,000	,000	,010
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061
d <sub>1/2ht</sub>	Correlación de Pearson	,904(**)	1	-,020	,787(**)	,787(**)	,005
	Sig. (bilateral)	,000		,277	,000	,000	,780
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061
h <sub>f</sub>	Correlación de Pearson	,062(**)	-,020	1	-,150(**)	-,150(**)	,486(**)
	Sig. (bilateral)	,001	,277		,000	,000	,000
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061
d <sub>icc</sub>	Correlación de Pearson	,792(**)	,787(**)	-,150(**)	1	1,000(**)	-,469(**)
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000	,000
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061
d <sub>isc</sub>	Correlación de Pearson	,790(**)	,787(**)	-,150(**)	1,000(**)	1	-,467(**)
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000		,000
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061
h <sub>i</sub>	Correlación de Pearson	,046(*)	,005	,486(**)	-,469(**)	-,467(**)	1
	Sig. (bilateral)	,010	,780	,000	,000	,000	
	N	3061	3061	3061	3061	3061	3061

En la tabla 9 se muestran los modelos que resultaron ajustados para el perfil del fuste de, según el análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas con ( $d_{1.30}$ ) y variables combinadas como variables dependientes.

**Tabla 9.** Modelos de mejor ajuste para el perfil del fuste de *P. cubensis* (Griseb)

No.	Variables	Modelos de mejor ajuste para el perfil del fuste					Ecuación
		R	R <sup>2</sup>	Sx	REC M	DA	
11	$d_{icc}$	0,949	0,881	0,087	0,0870	0,008	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,020 + (-0,911)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right) + 0,733\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^2 + (-0,747)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^3$
12	$d_{icc}$	0,995	0,875	0,089	0,0893	0,008	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,008 + (-0,586)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right) + (-0,282)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^2$
13	$d_{icc}$	0,993	0,870	0,091	0,0911	0,008	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,103 + (-1,142)\left(\frac{h_i}{h_i}\right) + 1,112\left(\frac{h_i}{h_i}\right)^2 + (-0,987)\left(\frac{h_i}{h_i}\right)^3$
14	$d_{icc}$	0,953	0,870	0,091	0,0911	0,008	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 0,093 + (-1,859)\left(\frac{h_i}{h_i} - 1\right) + (-1,828)\left(\frac{h_i}{h_i} - 1\right)^2 + (-0,980)\left(\frac{h_i}{h_i} - 1\right)^3$
15	$d_{icc}$	0,929	0,863	0,093	0,0933	0,009	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,051 + (-0,556)\left(\frac{h_i}{h_i}\right) + (-0,358)\left(\frac{h_i}{h_i}\right)^2$
11	$d_{isc}$	0,956	0,875	0,085	0,0845	0,007	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,955 + (-0,837)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right) + 0,621\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^2 + (-0,655)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^3$
12	$d_{isc}$	0,946	0,875	0,085	0,0845	0,007	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,084 + 1,561\left(\frac{h_i - h_i}{h_i - 1,30}\right) + (-1,345)\left(\frac{h_i - h_i}{h_i - 1,30}\right)^2 + 0,655\left(\frac{h_i - h_i}{h_i - 1,30}\right)^3$
13	$d_{isc}$	0,943	0,870	0,086	0,0864	0,007	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,945 + (-0,552)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right) + (-0,269)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_i - 1,30}\right)^2$
14	$d_{isc}$	0,933	0,870	0,086	0,0864	0,007	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,124 + 1,090\left(\frac{h_i - h_i}{h_i - 1,30}\right) + (-0,269)\left(\frac{h_i - h_i}{h_i - 1,30}\right)^2$
15	$d_{isc}$	0,931	0,867	0,087	0,0871	0,008	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 1,035 + (-1,066)\left(\frac{h_i}{h_i}\right) + 1,004\left(\frac{h_i}{h_i}\right)^2 + (-0,891)\left(\frac{h_i}{h_i}\right)^3$

El modelo de mejor ajuste con corteza y sin corteza, como se observa es un polinómico de tercer grado. Estos resultados difieren con Cellini *et al.* (2002), quienes

ensayaron modelos de perfil del fuste para la especie *Nothofagus pumilio* Poepp. en Argentina y el modelo que mejor ajuste presentó fue el de Muhairwe (1993) de exponentes variables.

Resultados similares a esta investigación en Cuba obtuvo Machado (2002), para *Callophyllum utile* Bisse (ocuje colorado), *Buchenavia capitata* Vahl. (júcaro amarillo), *Manilkara albescens* Griseb. y Cronquist (ácana), *Tabebuia dubia* Wr.ex.Sauv. Britton ex. Seibert (roble de hoja ancha) y *Sloanea curatellifolia* Griseb. (raizú), específicamente en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa y el modelo de mejor ajuste fue el polinómico de tercer grado con variable independiente  $h_i/h_t$ , también Lores (2012) en bosques pluvisilvas de Baracoa para *Callophyllum antillanum* Britton, *Carapa gujanensis* Aupl y *Andira inermis* SW, en este caso con la misma variable trasformada. Es válido destacar que difiere en la variable independiente que en el caso de esta investigación, tanto para el volumen sin corteza

como con corteza resultó ser  $\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}$

En la tabla 10 se muestra la validación de los mejores cinco modelos con y sin corteza según el análisis de bondad de ajuste y capacidades predictivas para el perfil del fuste.

**Tabla10.** Validación de los cinco mejores modelos para perfil del fuste con corteza y sin corteza de *P cubensis*.

No	Var.	RECM	DA	Ecuación
11	dicc	0,1014	0,010	$\frac{d_{icc}}{d_{1,30}} = 1,220 + (-1,911)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}\right) + 0,733\left(\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}\right)^2 + (-0,747)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}\right)^3$
12	dicc	0,1014	0,010	$\frac{d_{icc}}{d_{1,30}} = 1,108 + (-1,586)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}\right) + (-0,882)\left(\frac{h_i - 1,30}{h_t - 1,30}\right)^2$

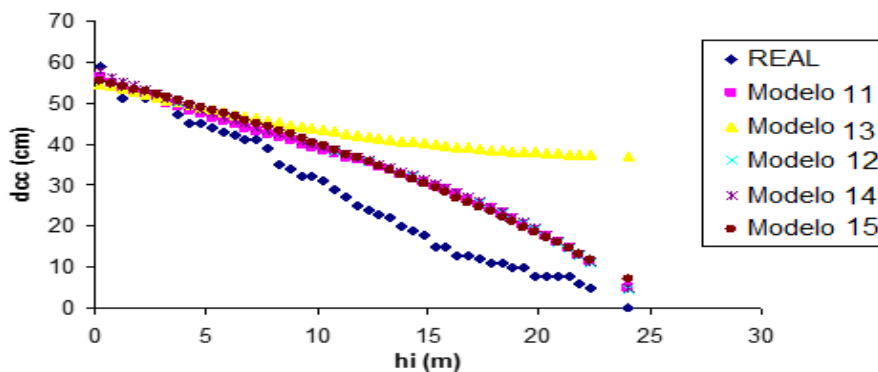
13	dicc	0,1050	0,011	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,173 + (-1,542)\left(\frac{h_i}{h_t}\right) + 0,112\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + (-0,987)\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3$
14	dicc	0,1050	0,011	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 0,093 + (-1,859)\left(\frac{h_i}{h_t} - 1\right) + (-1,828)\left(\frac{h_i}{h_t} - 1\right)^2 + (-0,980)\left(\frac{h_i}{h_t} - 1\right)^3$
15	dicc	0,1050	0,011	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 0,951 + (-0,656)\left(\frac{h_i}{h_t}\right) + (-0,458)\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2$
11	disc	0,0988	0,010	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,855 + (-0,837)\left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30}\right) + 0,221\left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30}\right)^2 + (-0,855)\left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30}\right)^3$
12	disc	0,0988	0,010	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,084 + 1,561\left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30}\right) + (-1,345)\left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30}\right)^2 + 0,655\left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30}\right)^3$
13	disc	0,0988	0,010	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 1,945 + (-0,562)\left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30}\right) + (-0,369)\left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30}\right)^2$
14	disc	0,0988	0,010	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 1,124 + 1,090\left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30}\right) + (-2,269)\left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30}\right)^2$
15	disc	0,1015	0,010	$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,035 + (-2,066)\left(\frac{h_i}{h_t}\right) + 1,804\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + (-0,891)\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3$

Como se puede apreciar en las figuras 6 y 7 el modelo de mejor ajuste con corteza y sin corteza es el 15, coincidiendo con la tabla anterior. Donde se muestra la silueta del perfil del fuste de la especie, lo cual justifica el uso de este modelo en la implementación en la práctica productiva.

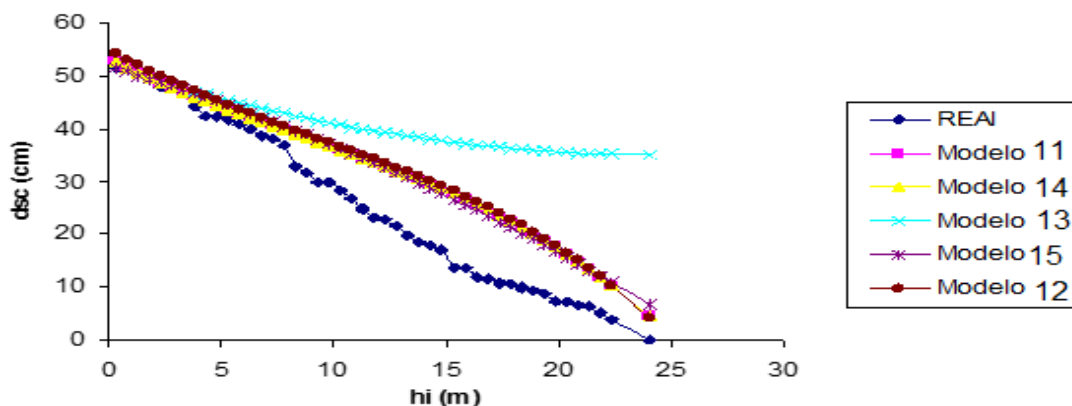
Así la ecuación para el volumen se define como la integral definida desde la base hasta la altura total quedando representada de la siguiente forma para el modelo de mejor ajuste con corteza y sin corteza respectivamente:

$$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 0,951 + (-0,656)\left(\frac{h_i}{h_t}\right) + (-0,458)\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2$$

$$\frac{d_{isc}}{d_{1.30}} = 0,035 + (-2,066)\left(\frac{h_i}{h_t}\right) + 1,804\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + (-0,891)\left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3$$



**Figura 6.** Representación del perfil para diferentes modelos ajustados con corteza para el *P. cubensis*.



**Figura 7.** Representación del perfil para diferentes modelos ajustados sin corteza para *P. cubensis*. (Griseb)



Resultados similares obtuvo Lores (2012) para bosques pluvisilvas de Baracoa para *Callophyllum antillanum* Britton, *Carapa gujanensis* Aupl y *Andira inermis* SW. Además por Rondon (2014) para *P. maestrensis*.

Esto puede estar debido a que es el modelo que mejor se adapta para predecir el perfil del fuste tanto para coníferas como para latifolias.

Se coincide con lo planteado por Fassola *et al.* (2006), Fernández y Rodríguez (2010) y Lorez (2012) al plantear que los modelos de perfil de fuste son funciones que describen tanto la forma geométrica del árbol (cilindro, cono, parábola, neiloide) como la tasa de decrecimiento o ahusamiento del diámetro a medida que se incrementa la altura.

#### 4.6. Relación entre el volumen estimado y el volumen real

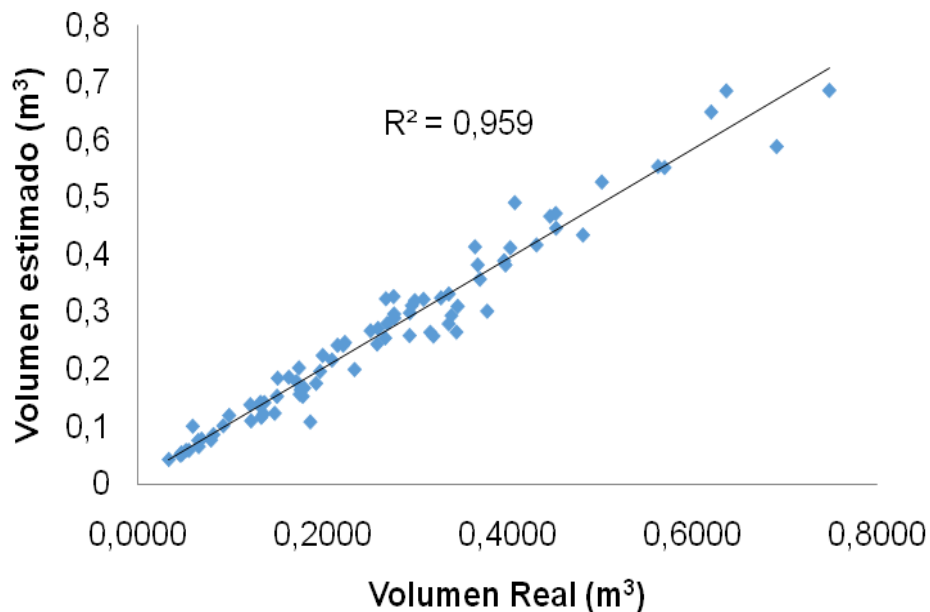
En la tabla 11 se observa que no existe diferencia significativa entre el volumen estimado por el modelo y el volumen real con un nivel de significación de 0,99, mayor que 0,05, un error típico inferior a 0,1772 con una desviación típica inferior a 0,1605. Esto indica que es posible utilizar el volumen estimado por el modelo en la Empresa Forestal, ya que el modelo propuesto se ajusta estadísticamente.

**Tabla 11.** Análisis de Anova para determinar la diferencia entre el volumen real y el volumen estimado.

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Real	0,2627a	0,1605	0,01772
V Estimado	0,2630a	0,1567	0,01730
Media	0,262896		
<b>F</b>	<b>000</b>		
<b>Sig.</b>	<b>0,99</b>		

Nota: Para un 95% de probabilidad, letras diferentes difieren significativamente.

En la Figura 8 se representa el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto ( $V=0,00007854*d^{2,000}*L^{1,000}$ ) con un  $R^2$  de 0,959. Esto indica que existe una alta correlación donde el volumen estimado se ajusta a una línea recta con respecto al volumen real de cada troza. Resultados similares a los obtenidos por Rondón (2014) para *Pinus maestrensis* al no obtener diferencias significativas entre el volumen estimado y el volumen real para una significación de 0,962, mayor que 0,05.



**Figura 8.** Relación entre el valor real y el estimado para el *P. cubensis* (Griseb.)

#### **4.7. Selección del mejor método para determinar el volumen de las trozas**

Al realizar el análisis de Anova para determinar si existe diferencias entre el volumen según la tabla del INDAF (1996) y el volumen según el modelo estimado se observa en la tabla 11. Se obtiene que existen diferencias significativas, con un nivel de significación de 0,003 inferior a 0,05.

**Tabla 11.** Análisis de Anova para determinar la diferencia entre el volumen determinado por la tabla de volumen existente y el volumen estimado.

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Tabla	0,195373b	0,1260409	0,0139189
V Estimado	0,263048a	0,1566795	0,0173024
Media	0,229210		
<b>F</b>	<b>9,288</b>		
<b>Sig.</b>	<b>0,003</b>		

Para  $p \leq 0.05$  y letras diferentes indican que difieren significativamente.

En la figura 9 se observa la relación que existe entre ambos métodos con un coeficiente de regresión de 0,573, no ajustándose a una línea recta. El volumen obtenido por la tabla según Ibarra *et al.* (1996), subestima el volumen de las trozas evaluadas. El volumen estimado es mayor y de mayor precisión que los obtenidos por métodos empíricos.

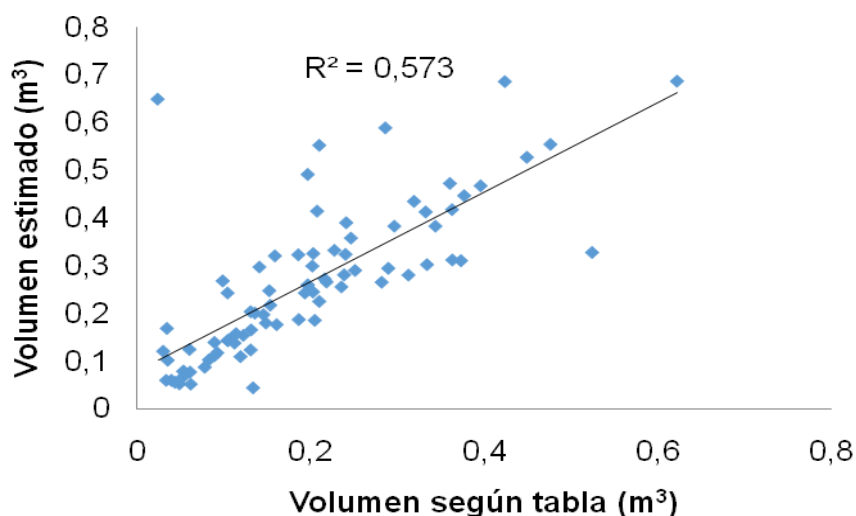


Figura 9. Relación entre el volumen de la tabla y el estimado con el modelo de mejor ajuste de *P. cubensis* Griseb.

#### 4.8. Tablas de volumen comercial para *P. cubensis* (Griseb.)

La tabla de volumen comercial como se muestra a continuación elaborada a partir del modelo de mejor ajuste. Las variables utilizadas son la circunferencia (cm) y la longitud (m). Sin lugar a duda es de vital importancia para la toma de decisiones en la Empresa Agroforestal de Guantánamo. Tiene aplicabilidad en el aserrío y las mediciones son más exactas para estimar el volumen y luego determinar el rendimiento de la madera aserrada. Los resultados son precisos y se puede asegurar que usando esta tabla los cálculos son más realistas que la cubicación por trozas.

Estas técnicas de regresión para la construcción de esta tabla según Mora y Cevallos (2008) son una ecuación ordenada, ya que es una técnica directa sumamente sencilla que elimina relativamente la subjetividad de muchos otros métodos y permite expresar el error de relación.

**Tabla 12.** Tabla de volumen comercial para *Pinus cubensis*

C/L	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
<b>43,82</b>	0,0462	0,0539	0,0616	0,0693	0,0770	0,0847	0,0924	0,1001	0,1078	0,1155
<b>46,95</b>	0,0530	0,0619	0,0707	0,0795	0,0884	0,0972	0,1060	0,1149	0,1237	0,1325
<b>50,08</b>	0,0603	0,0704	0,0804	0,0905	0,1005	0,1106	0,1206	0,1307	0,1407	0,1508
<b>53,21</b>	0,0681	0,0794	0,0908	0,1021	0,1135	0,1248	0,1362	0,1475	0,1589	0,1702
<b>56,34</b>	0,0763	0,0891	0,1018	0,1145	0,1272	0,1400	0,1527	0,1654	0,1781	0,1909
<b>59,47</b>	0,0851	0,0992	0,1134	0,1276	0,1418	0,1559	0,1701	0,1843	0,1985	0,2126
<b>62,6</b>	0,0942	0,1100	0,1257	0,1414	0,1571	0,1728	0,1885	0,2042	0,2199	0,2356
<b>65,73</b>	0,1039	0,1212	0,1385	0,1559	0,1732	0,1905	0,2078	0,2251	0,2425	0,2598
<b>68,86</b>	0,1140	0,1330	0,1521	0,1711	0,1901	0,2091	0,2281	0,2471	0,2661	0,2851
<b>71,99</b>	0,1246	0,1454	0,1662	0,1870	0,2077	0,2285	0,2493	0,2701	0,2908	0,3116
<b>75,12</b>	0,1357	0,1583	0,1810	0,2036	0,2262	0,2488	0,2714	0,2941	0,3167	0,3393
<b>78,25</b>	0,1473	0,1718	0,1964	0,2209	0,2454	0,2700	0,2945	0,3191	0,3436	0,3682

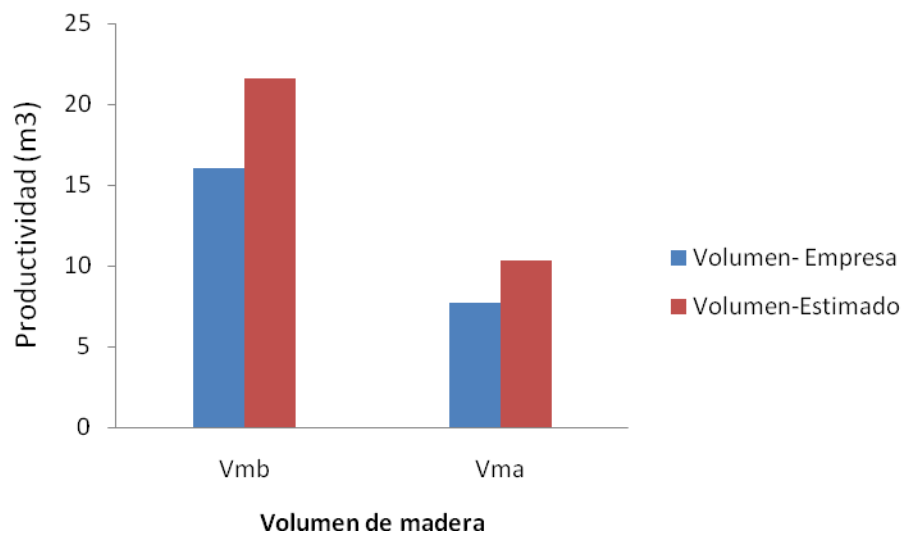
<b>81,38</b>	0,1593	0,1858	0,2124	0,2389	0,2655	0,2920	0,3186	0,3451	0,3717	0,3982
<b>84,51</b>	0,1718	0,2004	0,2290	0,2577	0,2863	0,3149	0,3435	0,3722	0,4008	0,4294
<b>87,64</b>	0,1847	0,2155	0,2463	0,2771	0,3079	0,3387	0,3695	0,4002	0,4310	0,4618
<b>90,77</b>	0,1982	0,2312	0,2642	0,2972	0,3303	0,3633	0,3963	0,4293	0,4624	0,4954
<b>93,9</b>	0,2121	0,2474	0,2827	0,3181	0,3534	0,3888	0,4241	0,4595	0,4948	0,5301
<b>97,03</b>	0,2264	0,2642	0,3019	0,3396	0,3774	0,4151	0,4529	0,4906	0,5283	0,5661
<b>100,16</b>	0,2413	0,2815	0,3217	0,3619	0,4021	0,4423	0,4825	0,5228	0,5630	0,6032
<b>103,29</b>	0,2566	0,2994	0,3421	0,3849	0,4277	0,4704	0,5132	0,5559	0,5987	0,6415
<b>106,42</b>	0,2724	0,3178	0,3632	0,4086	0,4540	0,4994	0,5448	0,5901	0,6355	0,6809
<b>109,55</b>	0,2886	0,3367	0,3848	0,4330	0,4811	0,5292	0,5773	0,6254	0,6735	0,7216
<b>112,68</b>	0,3054	0,3563	0,4072	0,4580	0,5089	0,5598	0,6107	0,6616	0,7125	0,7634
<b>115,81</b>	0,3226	0,3763	0,4301	0,4838	0,5376	0,5914	0,6451	0,6989	0,7526	0,8064
<b>118,94</b>	0,3402	0,3969	0,4536	0,5104	0,5671	0,6238	0,6805	0,7372	0,7939	0,8506
<b>122,07</b>	0,3584	0,4181	0,4778	0,5376	0,5973	0,6570	0,7168	0,7765	0,8362	0,8959
<b>125,2</b>	0,3770	0,4398	0,5027	0,5655	0,6283	0,6912	0,7540	0,8168	0,8796	0,9425
<b>128,33</b>	0,3961	0,4621	0,5281	0,5941	0,6601	0,7261	0,7922	0,8582	0,9242	0,9902
<b>131,46</b>	0,4156	0,4849	0,5542	0,6235	0,6927	0,7620	0,8313	0,9005	0,9698	1,0391
<b>134,59</b>	0,4357	0,5083	0,5809	0,6535	0,7261	0,7987	0,8713	0,9439	1,0165	1,0892
<b>137,72</b>	0,4562	0,5322	0,6082	0,6842	0,7603	0,8363	0,9123	0,9883	1,0644	1,1404
<b>140,85</b>	0,4771	0,5567	0,6362	0,7157	0,7952	0,8747	0,9543	1,0338	1,1133	1,1928

Las tablas de volúmenes según Rondón (2014) elaboradas usando el modelo matemático de mejor ajuste facilitan la obtención de volúmenes maderables existentes con características dendrométricas similares. Se puede asegurar que estimando el volumen usando la tabla el cálculo o mediante la cubicación por trozas no existen diferencias significativas, dando una mayor confiabilidad.

Se coincide con lo planteado por Aldana (2010) al plantear que el volumen en función del diámetro y la longitud es de mayor heterogeneidad. Además con Egas *et al.* (2000) al plantear en primer lugar que son sistemas simples de aplicar y relativamente precisos. En segundo lugar, una vez que se desarrolló una tabla de volumen estándar para una región y especie, teóricamente sirve para siempre, además plantea que contar con una tabla local tiene la ventaja de eliminar la necesidad de medir alturas, procedimiento lento, fastidioso y muchas veces poco exacto.

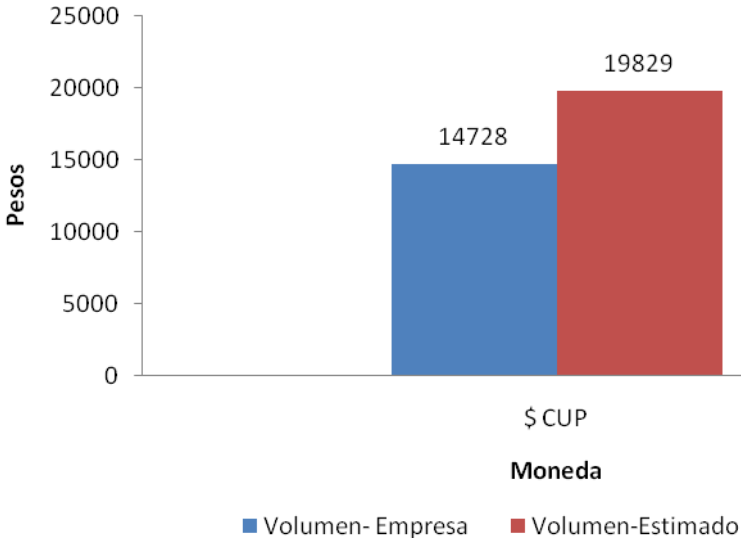
#### 4.9. Análisis económico

Como se observa en la figura 10 a partir del volumen de la madera en bolo se determinó el volumen de la madera aserrada con un rendimiento de 48%. El volumen de la madera en bolo estimado por el modelo es de 22m<sup>3</sup> superior al obtenido por la empresa según métodos empíricos es de 16m<sup>3</sup>, con una diferencia significativa como se explicó anteriormente de 6m<sup>3</sup>. Con respecto al volumen de madera aserrada también existe diferencia de 3 m<sup>3</sup>.



**Figura 10.** Volumen de madera en bolo y aserrada, obtenido por la Empresa y el Estimado según el modelo.

Con respecto al valor de la madera aserrada como se muestra en la figura 11, se observa una diferencia de \$ 5101 CUP entre el precio del volumen obtenido por la empresa y el precio del volumen estimado. El volumen estimado presenta mayores valores de venta, lo que trae como consecuencia una mayor eficiencia y rentabilidad.



**Figura 11.** Precio de la madera aserrada obtenido por la Empresa y el Estimado según el modelo.

El país necesita en los momentos en que estamos atravesando aumentar cada vez más los rendimientos y con ello aumenta la productividad y a la vez las ganancias en el sector estatal. Buscar una empresa que sea eficiente para capaz de proveer bienes y servicios a la sociedad utilizando los mismos recursos económicos. Ya que el ordenamiento monetario exige eficiencia según Directivo del Ministerio de Economía en Prensa Lantina, Murillo (2021).

## V. CONCLUSIONES

1. Las trozas evaluadas de *Pinus cubensis* (Griseb) se caracterizan por tener un diámetro que varían desde 5cm de diámetro hasta 45cm y con una longitud que varía desde 3,05m hasta 7,50m. El grosor de corteza promedio es de 0,73cm y se puede estimar el diámetro sin corteza a partir de la siguiente ecuación  $D_{sc} = 1,706 + 0,853d_{cc}$ .
2. Para determinar el volumen comercial fue el mejor modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall:  $V = 0,00007854 * d^{2,000} * L^{1,000}$ , el mismo posee buen ajuste, con un alto coeficiente de determinación y bajo error cuadrático medio y diferencia agregada.
3. El mejor modelo de perfil del fuste con y sin corteza según el análisis de bondad de ajuste y las capacidades predictivas es un polinómico de tercer grado.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Que se utilice por la Empresa Agroforestal de Guantánamo la tabla de volumen comercial para estimar el volumen de madera de las trozas de *Pinus cubensis* (Griseb) debido a que presenta resultados exactos y precisos.
2. Continuar actualizando trabajo similar a este en el resto de las especies que se manejan en el aserrío.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldana, E. 2010. Medición Forestal. Editorial: Félix Varela. La Habana. 265 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos: Commonwealth Forestry Institute, Reino Unido. FAO Editorial Argón. Vol.2 (22).118 p.
- Allen, P. J. 1992. Polynomial Taper equation of *Pinus caribaea*. New Zealand Journal Forestry-Science-194-205pp.
- Álvarez L. D., Betancourt F. y Gonzales C. I. 2013. Tecnología de la madera. Editorial Félix Varela. España. P 159.
- Álvarez, L. D. Jiménez P., Cristina Prades, y Estévez I. 2014. Tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas de Chapas de madera tropical. Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Álvarez, L. D., Jiménez P. D. J., Prades C. y Estevez I. 2004. Eficiencia de los aserraderos. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/aserraderos/aserraderos.shtml>. Consultado 14/5/2020.
- Amateis, R. L. y Burkhart, H. E. 1987. Cubic-foot volume equations for Loblolly Pine trees in Cutover, Site-Prepared Plantations. SJAF 11 (4): 190-192.
- Anucchin, N. P. 1970. Forest Mensuration (Lesnayataksasiya). Second Edition (1960) Israel program for Scientific Translation. Jerusalén. 454 p.
- Ares, A. E. 1999. Tablas Dasométricas para bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet para la EFI La Palma. 94 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.
- Báez, R. 1988. Estudios dasométricos de plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. en suelos cenagosos de la provincia de la Habana. 125 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. ISCAH "Fructuoso Rodríguez"
- Barrero, H. 2010. Modelo integral de crecimiento, perfil del fuste, grosor de corteza y densidad de la madera para *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije. Pinar del Río. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales) UPR.

- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regresión in the estimation of plant biomass. Canadian Journal of Forest Research (2): 49 – 53.
- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Canadian Journal of Forest Research.
- Benítez O. L. 2014. La influencia de la calidad de las trozas sobre eficiencia de los procesos de transformación de las trozas de pinus sp. en la Empresa Forestal Integral Minas. SIMFOR 2014. Universidad de Pinar del Río.
- Bolerí T. D. 2007. Influencia de los defectos de la madera en bolo del *Calophyllum antillanum* en el rendimiento y calidad de la madera aserrada. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.
- Brown, S.A. 2004. Species selection in secondary wood products: Implications for product design and promotion. Wood and Fiber Sci. 34(3):408-418.
- Burley, R. L. y Dell, T. R. 1971. Quantifying Diameter. Distribution with the Weibull Function. Forest Science. 97-104pp.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento V 22 (1). Estimación del Volumen. Estudio FAO. Montes. Roma. 91 p.
- Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística; Aplicaciones y Métodos. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. D.F., México. 651 p.
- Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística; Aplicaciones y Métodos. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. D.F., México. 651 p.
- Carpio, C. C. 2000. Producción y Consumo de los Productos Forestales en Cuba. Cuba Forestal. Volumen 1(1). P 19.
- Carreras, R. y Roger, D. 1997. Anatomía de la madera de 157 especies forestales que crecen en cuba y sus usos Tecnológicos, Históricos y Culturales.
- Carron, L. T. 1968. An outline of forest mensuration with special reference to Australia. Australian National University. Canberra Press. 224 p.
- Cellini, J. M.; Martínez, G. P.; Wabö, E. y Lencinas, M. V. 2002. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total. Cátedra de Dasometría. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Centro Austral de

- Investigaciones Científicas (CONICET) - Argentina. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/cellini\\_1049](http://www.inia.es/gcontrec/pub/cellini_1049) consulta: 24/01/2011
- Corvalán, P y Hernández, J (2010): Apuntes de Dendrometría. Mediciones. Lineales Universidad de Chile. 24 p.
- Costas, R.; Friedl, R. A.; González, J.; Fosco, I.; Kubsch, H. A. y Korth, S. M. 2006. Funciones de volúmenes del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribae* var. *hondurensis*. En: 12º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. 10 p. (Disponible en CD.)
- Crechi, E.; Fassola, H. E.; Friedl, R. A. 1998. Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de *Pinus elliottii* V 1.0. INTA EEA Montecarlo. Facultad de Ciencias Forestales. 21 p.
- Crechi, E.; Friedl, R. A. y Fassola, H. E. 1997. Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de *Pinus taeda* 2.0. INTA EEA Montecarlo – Facultad de Ciencias Forestales. 16 p.
- Dauber, E. 2001 Tablas volumétricas del fuste aprovechable de diferentes especies con base en mediciones de trozas en el rodeo y aserradero. Documento técnico 101/2001. Santa Cruz, BO, Chemonics International Inc - USAID/Bolivia.
- Díaz, A.; Carreras, R.; Álvarez, D; Hernández, C.; Ibáñez, A; Carballo, L.; Pastor, J. y Corona, M. 2006. Ciencia de la madera. Editorial Félix Varela. La Habana, 2006. PP 7-11.
- Dirección de Importaciones del MINCEX. 1998: "Informaciones sobre Importadores de Madera Aserrada período 96/98 (hasta mayo)", junio 1998. P 16.
- Donovan, G.H. 2003. Consumer preferences and willingness to pay for character-marked cabinets from Alaska birch. *Forest Prod. J.* 53(11/12):27-32.
- Egas, F. A, Álvarez, D Estevez, I, García, J. M. 2001. Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol VII (2).* México. PP 163-168.

- FAO 2001. MONTES. Conservación de la energía en las industrias mecánicas forestales. Roma. Pág: 1-2
- FAO, 2018. Estado de los bosques del mundo – Las vías forestales hacia el desarrollo forestal sostenible. Roma. Disponible en [www: fao.org](http://www.fao.org). Consultado 4 de octubre 2019.
- Fassola, U.E.; Crechi, E.; Keller, A. y Barth, S 2006. Ecuaciones de forma variable para la estimación de diámetros a distintas alturas para *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia Argentina. XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- Fernández, A. y Rodríguez, P. 2010. Metodología de cubicación de árboles en pie. Disponible en: <http://www.cesefor.com/cubifor> Consulta: 6/06/ 2010
- Friedl, R. A.; Costas, R. A.; Orué, E.; Amarilla, A. y Cinto, J. P. 1992. Funciones de forma relativa polinomiales en *Araucaria angustifolia* (Bert.) o. Ktze. Revista Yvyrareta. (3): 63-69.
- Fucaraccio, F y Staffieri, G. 2009 Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República de Argentina. Disponibles <http://ceres.agro.unlp.edu.ar/~dasometria>
- García D. J. M. 2007. Clasificador de Madera en Bolos. Norma Ramal NRAG 2007. Ministerio de la Agricultura. Pág. 15.
- García Esteban, L.; A. Güindeo Casasús; C. Peraza Oramas y P. 2002. La madera y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa, AITIM, Madrid, 2002. P 272.
- García, J. M. y González, O. 2003. Tecnología de manejo de la madera redonda en aserradero. Instituto de Investigaciones Forestales. Material correspondiente a Tesis de Doctorado del MSc.Osmani González. Pinar del Río. P 125.
- García, J. M.; González, O.; León, M. y Henry, P. P. 2006. Determinación de las fórmulas de volumen de las trozas de *Pinus caribaea* Moreletvar. *caribaea*. Revista Forestal Baracoa. Vol.25 (2): 58.
- Gordon, A y Graham, J.D (1986): Changes in *Pinus radiata* stem form in response to nitrogen and phosphorus fertilizer. N.Z.J. For. Sci; 16 (1): 41-54.
- González, O. 1981 Ordenación Forestal. Pueblo y Educación. La Habana. 160 p.

- Gra, A. 1988. Estudio dasométrico en plantaciones de *Pinus caribaea avar caribaea*. Distribución de frecuencia. Revista Baracoa. Vol. 22 (3): 89 – 95.
- Hair, J. F.; Anderson, E.; Tatham, R. y Black, W. 1999. Analisis Multivariante. Prentice Hall. Universidad Autónoma de Madrid. Quinta edición. 798 p.
- Henry, P. P. 2002. Perfeccionamiento de la cubicación de la madera en bolo de las principales especies de interés económico de la Ciénaga de Zapata. Cuba. 218 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas.) Universidad de Pinar del Rio.
- Hernández C. G. 2009. Evaluación de las normas de clasificación de la madera en bolo de coníferas y latifolias en la EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 p.
- Herrar, F., Kostrikov, P., Betancourt, Y., y Álvarez, D. 1987. Tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas de Chapas de madera tropical. Editorial ENPES. Ciudad Habana. Cuba. 213 P.
- Ibarra R. *et al.* 1996: Elaboración de Tabla de Volumen y referencia de índices de sitio para plantaciones de *Pinus tropicalis* en la (EFI) Minas de Matahambre. Forum de Ciencia y Técnica 18 p.
- INCA. Bermúdez, M. Y Tapia, M. 2004 Exactitud y consistencia de las fórmulas de cubicación de Smalian, Huber y Newton en cinco especie forestales”, Tesis ingeniero forestal, Universidad técnica Estatal de Quevedo – Ecuador. 5 p.
- INDF. 1976. Tabla de cubicación para maderas en bolo (Coníferas). MINAGRI. 13 P.
- Kollmann, F. 2009. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ed. Limusa. México.
- Kosak, A. 1969. Taper functions and their applications in forest inventory. Forestry Chronicle 45 (4): 278-283
- Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper equations. Canadian Journal of Forest Research (27): 619-629.
- Kozak, A. 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models. Canadian Journal of Forest Research.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce, and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108. p.

- Labrador LL. O., Mercadet P. A, y Álvarez B. A. 2017. Situación de los Bosque de Cuba 2016. Dirección Forestal Flora y Fauna Silvestre del Ministerio de la Agricultura. Boletín No. 1. La Habana. Cuba.
- Lambert L. A. 2021. Rendimiento y calidad dimensional de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb. en el aserrío Cayo Güin. Tesis en opción al título académico de master en Ciencias Forestales. Universidad de Guantánamo. 91P.
- Lesli, D. 2003. Fashioning furniture: Restructuring the furniture commodity chain. *Area*. 35(4):427-437.
- Letourneau A. E. 2000. Curvas de perfil de fuste, para la estimación de diámetros con corteza a distintas alturas, para *Pinus ponderosa* (Dougl) Laws.) Comunicación Técnica N° 13. Área Forestal Silvicultura. Informe Técnico 13 p., F.
- Leyva Miguel, I., Rojas Romero, A., Segurado Gil, Y. 2017. Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la provincia de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. Vol. 5(3). ISSN: 1996–2452 . 340-351pp.
- Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. 1973. *Forest Inventory*. 2 ed., Munich. BLV Verlagsgesellschaft München. Vol. II 469 p.
- Lores, P. Y. 2012. Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. 169p.
- Machado, G. 2002. Diseño de Inventario Forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo. 102 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río
- Machado, G. 2002. Diseño de Inventario Forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

- MacLean, D. 2001. The effect of sweep on yield. In: Proceedings of the North American Sawmill & Panel Clinic. USA. P. 44-49.
- Maddala, G. 1996. Introducción a la Econometría. Edición: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Segunda Edición. México D.F., 715 p.
- Meléndez, G. 2009 “Aprendamos a cubicar”. Programa selva tropical. (CH – UICN/TRP). Lima – Perú. 32 p.
- Meredieu, C. 1998. Croissance et branchaison du Pin Laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. (Poiret) Maire): Élaboration et évaluation d'un système de modèles pour la prevision de caractéristiques des arbres et du bois. 105 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Universidad de Claude Bernard-Lyon.
- Mesa A, y Simón D. 2007. Aserrío de trozas de diámetros menores. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 4(10).
- Minaya, J. 2006. Términos de referencia para la elaboración de estudios de rendimiento de aserrío de madera. MINAG. INRENA. Lima-Perú.
- Mora, L. y Cevallos, M 2008 “Tablas de volumen de una y doble entrada de las especie *Tectona grandis*.” Tesis ingeniería forestal, Universidad técnica Estatal de Quevedo, Ecuador 122 p.
- Murillo, M. 2021. Ordenamiento Monetario en Cuba exige eficiencia. Prensa Latina Disponible en <http://www.prensa-latina.cu>. Consultado 3 de febrero del 2021.
- Murata, K. *et al.* 1994. Conversión of *Acacia Mangium* Into sawn lumber. Internacional Symposium on the utilization of Fase-Growing Trees. Nanjing, China.
- Nájera L. J. A., Aguirre C. O. A., Treviño G. E. J., Jiménez P. J., Ybarra E. J., Corral R. J. J. y Vargas L. B. (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. Revista mexicana de ciencias forestales. vol.2 no.4 ISSN.
- Nakata, K. 1986. Simulation of Softwood-log sawing (II). J. Hokkaido For. Prod. Res. Inst. 410 (3).
- Orquin, J. E. 1987. Nuevo método para la estimación de volúmenes y surtidos de árboles en pie. Instituto de Investigación Forestal. 11 p



- Ott, R. L. y Longnecker, M. 2001. An introduction to statistical methods and data analysis. Fifth Edition. Duxbury. Pacific Grove, USA. 1152 p.
- Pacheco, M. M y Pacheco, P. 2008. Análisis del comportamiento de la producción de madera aserrada en el establecimiento Álvaro Barba utilizando gráficos de control. Universidad de Pinar del Río. 80 pp.
- Padilla, G. 1999. Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet. 90 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.
- Paguanquiza, F. 2012. "Elaboración de una línea base para determinar el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de *Pinus patula* y *Pinus radiata* en la Hacienda San Joaquín de Aglomerados copotaxi S.A." (ACOSA). Cotopaxi - Ecuador.110 p.
- Paretas 2016. Sawing characteristics and mechanical strength properties of branchwood of some Ghanaian timber species from sustainable managed forest. ITTO. Fellowship Report: Ref. 064/98A. 30 pp.
- Pellico, S. y Brena, A.D. 1997. Inventario Forestal. Datos Internacionales de cámara brasileira do libro, Volumen I. Curitiba. 316 p
- Peñalver, A. 1991. Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp de la provincia de Pinar del Río.101 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). UPR. "Hermanos Saiz Montes de Oca".
- Prieto, A y López Quero, M.1993. Manual de Ordenación Forestal. Versión Española el manual D´amenagement. Editorial Paraninfo S. A. 261 p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. y Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. 586 p
- Rodríguez, F y Broto, M (2003): Cubica v1.2: Programa informático para cubicar y clasificar productos a partir de los datos procedentes de un inventario. Montes: Revista de Ámbito Forestal. 72: 33-38.
- Rojas R. A. 2015. Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la Provincia de Guantánamo. Tesis en opción al título

- de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 p.
- Rondón G. D. N. 2014. Tablas de volumen, coeficientes mórficos y modelo del perfil del fuste para *Pinus maestrensis* Bisse, en plantaciones de la Empresa Forestal Integral. Granma. Tesis presentada en opción al título académico de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rio. 140 P.
- Sablón, A 1987. Dendrología, Editorial Pueblo y Educación. La Habana. PP 100 -105.
- Salas, C. 2002. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. *Bosque* 23 (2): 81-92.
- Saldivar S. A. y Bonilla M. 2009. Los Pinos cubanos. II parte. Consultado el 8/5/2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/41091284\\_Los\\_pinos\\_cubanos\\_II\\_parte](https://www.researchgate.net/publication/41091284_Los_pinos_cubanos_II_parte). 9P.
- Sánchez, Y. 2012. "Elaboración de tablas de volúmenes y determinación de factores de forma de las especies forestales" 250 p.
- Santana, 2004. Ecuaciones volumétricas para una plantación de *Eucalyptus urophylla* destinada a producción de leña. Simpósio Latino -Americano Sobre Manejo Florestal, (3º, Santa María, BR). 2004, Santa María, BR, Universidad Federal de Santa María. p. 107-111 p.
- Serrano M. 2006. Costos de producción de madera aserrada de *Pinus oocarpa* (sp). Servicio Estatal Forestal Nacional (SEF). 2021. Informe sobre la dinámica forestal 2020. Ministerio de la Agricultura. Guantánamo, Cuba.
- Suárez B. N. 2011. Determinación de la calidad y el rendimiento de las trozas de madera de *Pinus cubensis* Griseb en el aserrío del Toa de la EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.
- Torres C. Y. y Ramírez C. Z. 2017. La contribución del sector forestal a la economía en Cuba 2000-2015. Análisis preliminar. Memorias. La Habana: ICAIC, ISBN 978-959-7215-29-5.

- Torres, J. M.; Magaña, T. y Valles, G. 1993. Funciones de ahusamiento para 8 especies forestales del Estado de México. I Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Saltillo, Coahuila. 109 p.
- Valdes 2011. "Tablas de volumen para *Eucalyptus camaldulensis* Dehn", México 5 p.
- Vidal, A.; J. Rodríguez; J. Y. Benítez; R. C. Álvarez y H. Gra. 2002. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus tropicales* Morelet en la Empresa Forestal Integral Macurije de la provincia de Pinar del Río. Revista Floresta. 32 (2) 261-265 [en línea]
- Villarroel, L 2004. Aplicación de la regresión ponderada en la construcción de tablas de volumen (*Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*). Cochabamba, BO. Programa de repoblamiento forestal. Cordeco. 22 p.
- Vital, B.R. 2008. Planejamento e operação de serrarias. Viçosa, MG, Editora UFV. 211 p.
- Woofdin; R 2008. Ponderosa price lumber recovery young growth in Northern California –USDA. Forest service Research paper PNW -237. Pacific Northwest research station. Portland. Oregon. P13.
- Zaldívar, A. 2001. Tablas dasométricas para plantaciones de *Hibiscus elatus* en la provincia de pinar del Río. 100 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.
- Zavala, Z. D. 2011. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en maderas aserrada. Serie de apoyo académico 44. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 49 pp.
- Zepeda, M. 1993. Sistemas de cubicación para *Pinus patula* Schl, Cham; de Perote, Veracruz. 12 p.
- Zhofre A. M. 2015. Importancia del control de la calidad en los procesos de transformación mecánica de la madera. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos89/control-calidad-procesos-ransformacion-mecanica-madera/control-calidad-procesos-transformacion-mecanica-madera.shtml#ixzz46r9cFzMS>. Consultado el 15 de abril de 2020.