



**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: Rendimiento y calidad dimensional de *Calophyllum antillanum* Britt. y  
*Pinus cubensis* Griseb. en el aserrío Cayo Güin**

**Autora: Ing. Amarilis Lambert Legrá**

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**

**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: Rendimiento y calidad dimensional de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb. en el aserrío Cayo Güin**

**Autora: Ing. Amarilis Lambert Legrá**

**Tutor: Dr. C. Daniel Alberto Álvarez Lazo, PT.**

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**

*Pensamiento*

## ***Pensamiento***

*Nadie, pero nadie puede encontrar el cómo dejar de lado sus luchas internas, si no encuentra objetivos claros por los cuales luchar.*

*Leonardo St*

*Dedicatoria*

## *Dedicatoria*

*A mis hijos y esposo que me han apoyado para que pueda culminar este Trabajo, a costa de robarle el tiempo a ellos. También se la dedico a la MSc. Ibian Leyva Miguel por su entrega total.*

*Agradecimientos*

## *Agradecimientos*

- ✓ *A mi Dios, por permitir estar con vida para culminar la meta trazada, pero especial agradecimiento a Msc. Ibian Leyva Miguel que con tanta dedicación hizo suyo este trabajo cuando más lo necesitaba, sin mitigar días, ni hora y eso poco se encuentra.*
- ✓ *A mis compañeros del Departamento por siempre estimularme a seguir, en especial a la Jefa de Departamento Daisy Sagó por apoyarme siempre.*
- ✓ *A mis familiares y amigos.*

*Resumen*

## RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó en la Empresa Agroforestal Baracoa entre los meses de septiembre de 2019 a febrero de 2021, con el objetivo evaluar el rendimiento y calidad de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb, en el aserrío de Cayo Güin que conlleve al aumento del rendimiento y la calidad dimensional de la madera aserrada. Se caracterizó la materia prima utilizada mediante la evaluación de los defectos de la madera en bolo. Se determinó el rendimiento y la calidad dimensional de la madera aserrada. Los principales defectos encontrados en la madera son, la conicidad, excentricidad, curvatura del fuste, tableadura, índice de fendas y nudos, los mismos afectan la calidad y el rendimiento de la madera aserrada y no se tienen en cuenta en las normas de clasificación de la madera en bolo, ya que no se clasifica por categoría A, B y C según la calidad de las trozas. Se obtuvo un rendimiento para *Calophyllum antillanum* de 58,2% y para *Pinus cubensis* de 55,5%, donde la conicidad de las trozas es el defecto más influyente. Se obtuvo que el aserrado de las trozas se encuentra fuera de control ya que los esquemas de cortes tienden a subdimensionar o a sobredimensionar los diferentes surtidos, no cumpliendo con la dimensión óptima de las maderas para compensar las pérdidas debido a la contracción de la madera o a la variación total de proceso.

**Palabras claves:** Madera en bolo y aserrada, rendimiento y calidad dimensional.

*ABSTRACT*

## **ABSTRACT**

The following work was carried out in the Baracoa Agroforestry Company between the months of September 2019 to February 2021, with the aim of evaluating the mechanical transformation process of *Calophyllum antillanum* Britt. and *Pinus cubensis* Griseb. that leads to an increase in the yield and dimensional quality of wood in the Cayo Güin sawmill. The raw material used was characterized by evaluating the defects of the bolus wood. The performance and dimensional quality of the sawn wood were determined. The main defects found in the wood are the conicity, eccentricity, curvature of the shaft, tableting, index of cracks and knots, they affect the quality and performance of sawn wood and are not taken into account in the classification standards of bolus wood, since it is not classified by category in A, B o C according to the quality of the logs. A yield was obtained for *Calophyllum antillanum* of 58,2 % and for *Pinus cubensis* of 55,5 %, where the conicity of the logs was the most influential defect. It was obtained that the sawing of the logs is out of control since the cutting schemes tend to undersize or oversize the different assortments, not complying with the optimal size of the woods to compensate for the losses due to the contraction of the wood or the total process variation.

**Keywords:** Bolus and sawn lumber, performance and dimensional quality.

*Índice*

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Madera.....	5
2.1.1. Necesidades de madera.....	5
2.1.2. Producción y consumo de los productos forestales en Cuba.....	5
2.1.3. Tendencia en el uso de los recursos en madera.....	6
2.2. Defectos de la madera.....	7
2.3 Aserraderos.....	15
2.3.1 Industria del Aserrado en Cuba.....	16
2.3.2 Aserríos fijos.....	17
2.3.3. Sierra de banda.....	18
2.4. Factores que inciden sobre el rendimiento de la madera aserrada.....	19
2.5. Control de la calidad de la madera aserrada.....	21
2.5.1. Control de dimensiones de madera aserrada.....	21
2.6. Rol del aserrador.....	23
2.7. Madera y uso de las especies utilizadas.....	25
2.7. 1. <i>Calophyllum antillanum</i> Britt.....	25
2.7.2. <i>Pinus cubensis</i> Griseb.....	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Ubicación del área de estudio.....	28
3.2. Tamaño de la muestra.....	29
3.3. Caracterización de la materia prima.....	29
3.4. Defectos de las trozas.....	29
3.5. Análisis de las normas de clasificación de la madera en bolo.....	32
3.6.Determinación del rendimiento.....	34
3.6.1 Determinación de la influencia de los defectos de la madera en bolo sobre los rendimientos de la madera aserrada.....	35

3.7. Determinación de la calidad dimensional de la madera aserrada .....	35
3.7.1 Determinación del porcentaje de contracción .....	36
3.7.2 Determinación de las dimensiones de madera aserrada .....	37
3.7.3 Variación total de aserrado.....	38
3.8. Eficiencia económica.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
4.1. Tamaño de la muestra.....	40
4.2. Caracterización de la materia prima .....	40
4.2.1. Análisis de los defectos de las trozas.....	42
4.3. Análisis de los defectos de la madera en bolo en los aserraderos.....	49
4.4. Evaluación del rendimiento.....	51
4.4.1. Influencia de los defectos de la madera en bolo en el rendimiento de la madera aserrada .....	54
4.5. Análisis de la calidad dimensional de la madera aserrada .....	56
4.5.1. Determinación del porcentaje de contracción .....	56
4.5.2. Control dimensional de la madera aserrada.....	56
4.5.3. Variación del proceso de aserrado de Pinus cubensis y Calophyllum antillanun.....	60
4.6. Eficiencia productiva y económica según la calidad dimensional de la madera aserrada .....	63
V. CONCLUSIONES .....	66
VI. RECOMENDACIONES .....	67
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	

# INTRODUCCIÓN

## 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). De ellos se obtiene madera y sus derivados que aportan un 1% al Producto Interno Bruto (PIB) y genera 54,2 millones de empleos en el mundo de acuerdo con el Banco Mundial (2016).

La forma más simple de industrializar estos bosques es a partir de las trozas, mediante su aserrado, donde intervienen gran variedad de máquinas y herramientas que pueden ser desde manual hasta aserríos sumamente automatizados (Álvarez *et al.*, 2004). Ya que el aprovechamiento de la madera siempre ocupó un lugar destacado dentro de los diversos materiales utilizados por el hombre debido a un amplio espectro de importantes características físicas y mecánicas según Álvarez *et al.* (2013).

A nivel mundial se han implementado diferentes tecnologías que permiten mejorar los indicadores de la eficiencia en la pericia y habilidad del personal técnico del aserradero y en las características de la materia prima, hasta las que parten de programas de optimización que son capaces de los aserraderos, desde las basadas en la aplicación de prácticas de aserrado, apoyándose fundamentalmente en el análisis de las diferentes variables y la toma de decisiones de aserrado en un corto intervalo de tiempo (Álvarez *et al.*, 2004).

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) en el 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).

La industria del aserrado en Cuba para el procesamiento industrial de estos bosques está muy alejada de los resultados de productividad medios mundiales, son muchas las causas que provocan esto, pero sin dudas la inadecuada infraestructura juega un papel predominante. Los aserraderos se caracterizan por presentar un período de trabajo amplio, ya que los mismos fueron construidos en su mayoría en la década del 40, encontrándose equipos que poseen membretes del siglo pasado. Los diseños son inadecuados salvo algunas excepciones (Álvarez *et al.*, 2005 y González, 2013).

Aunque Álvarez *et al.* (2004) plantean que su tecnología ha ido evolucionando y han surgido nuevos productos que han ampliado su campo de aplicación; por lo que en la actualidad se busca cada vez más conocer y mejorar los diversos procesos que se vinculan con la industrialización de la madera; con la finalidad de mejorar su utilización y aprovechamiento

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).

Ellos proporcionan numerosos productos y servicios que contribuyen al desarrollo socioeconómico y son particularmente importantes para cientos de millones de moradores de las zonas rurales (FAO, 2018).

Existen una serie de elementos que influyen en el rendimiento, como son: diámetro de las trozas, longitud, conicidad y diagrama de troceado, calidad de las trozas, tipo de sierra, y diagrama de corte. Egas y Álvarez (2001) plantearon que los principales elementos que inciden sobre la eficiencia del proceso de aserrado es la calidad de las trozas. Donde los defectos de la madera juegan un papel importante y estos pueden originarse debidos tanto a causas naturales durante el crecimiento del árbol, como a los tratamientos a los que se ven sometidos.

La Empresa Agroforestal de Baracoa tiene un patrimonio de 39 315,19 hectáreas, de bosques naturales 29 159,47 hectáreas y 4 621,25 hectáreas de plantaciones, de ellas cubiertas 33 780, 72 hectáreas según Matos (2019). Para el aprovechamiento de ellos se cuenta con tres aserríos, que generan grandes ingresos para la economía nacional. Su tecnología ha ido evolucionando y cuenta con un aserrío automatizado de tecnología española instalado a principio de la década del 2000. El mismo está diseñado para aserrar grandes volúmenes de madera, pero existen dificultades en cuanto a su rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada, por lo que se propone el siguiente problema científico.

**Problema:** ¿Cómo aumentar el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Calophyllum antillanum* Britt y *Pinus cubensis* Griseb en el aserrío Cayo Güin?

**Objeto:** Rendimiento y calidad dimensional de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb.

**Hipótesis:** Si se caracterizan los defectos de la madera en bolo, se determina el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada y se analiza el comportamiento económico, entonces se podrá evaluar el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *C. antillanum* y *P. cubensis* en el aserrío Cayo Güin.

**Objetivo General:**

Evaluar el rendimiento y la calidad dimensional de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb. en el aserrío Cayo Güin

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar los defectos de la madera en bolo de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb en el aserrío Cayo Güin.
2. Determinar el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb en el aserrío Cayo Güin.
3. Analizar el comportamiento económico del *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb. en el aserrío Cayo Güin.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Madera**

Se denomina madera al conjunto de tejidos de la xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas, de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Desde el punto de vista comercial, únicamente se aprovecha la madera de los árboles, es decir, vegetales leñosos de ciertas dimensiones (Álvarez *et al.*, 2013).

#### **2.1.1. Necesidades de madera**

La demanda de madera crece a ritmo acelerado tanto a nivel nacional como mundial dada la variedad de propiedades que tiene esta materia prima y por tanto las posibilidades de uso que en algunos casos llega a ser insustituible por otro material.

Los surtidos más utilizados en nuestro país y por lo tanto los más demandados entre otros son (Díaz *et al.*, 2006).

- Postes para tendidos eléctrico y telefónico.
- Traviesas para ferrocarril: se utilizan alrededor de medio millón de traviesas de varios tipos, lo que equivale a 25 mil m<sup>3</sup> de madera.
- Cujes para secar tabaco: se utilizan más de 30000m<sup>3</sup> de madera anuales.
- Madera para combustible (leña): se utilizan más de medio millón de m<sup>3</sup> de madera anual.

#### **2.1.2. Producción y consumo de los productos forestales en Cuba**

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**

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, etc., posibilitado por el desarrollo actual de la ciencia y la técnica (Díaz *et al.*, 2006).

La exportación de los productos forestales se centra principalmente en aquellos de menor valor agregado, dentro de los que se destacan: el carbón vegetal y ocasionalmente madera aserrada, madera troceada, madera de pequeñas dimensiones, paletas de madera y oliorresina, por un valor total de 24 millones de dólares en la última década; pero contrariamente, el país importa productos de mayor valor agregado, tales como: la madera aserrada, traviesas, tableros de partículas, pulpa para papel, papel, cartón, aceite de trementina y colofonia, entre otros; cuestión que refleja un bajo impacto de la generación de conocimiento y, por ende, de la innovación en productos y procesos que garanticen mayor desarrollo sectorial (Torres *et al.*, 2018).

En este sentido este mismo autor plantea que el aporte del sector forestal a la economía cubana no ha logrado solventar las demandas del mercado interno y, aunque existen posibilidades para la exportación de algunos productos, su desarrollo es aún insuficiente.

Por lo que consideramos que el aserrado de las trozas debe lograrse con una mayor eficiencia y calidad de la madera aserrada para satisfacer las necesidades del cliente y en un futuro lograrse implementar en un mercado externo.

## **2.2. Defectos de la madera**

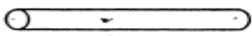
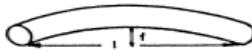
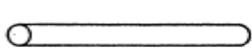
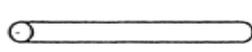
Debemos considerar como defectos de la madera, todas las anomalías de su estructura, textura y color que perjudiquen su utilización, pues en algunos casos estas anomalías pueden elevar su valor considerablemente. Además, en la industria las exigencias en cuanto a las características de la madera son tan diversas que una cualidad se considera a veces como una ventaja y en otros casos un inconveniente (Álvarez *et al.*, 2013).

Por ejemplo, los fustes muy curvados que no son útiles para un ebanista pueden ser los preferidos para el constructor de carruajes y barcos. Análogamente, una madera que se raje con facilidad no puede emplearse en la ebanistería, será muy apreciada en la fabricación de objetos que requieran dicha característica; mientras que las maderas que han cambiado de color, son rechazadas con razón por la mayoría de los consumidores y en cambio muy apreciadas por el ebanista. No obstante, la demanda general se refiere a madera normal y sana de modo que, con arreglo a la costumbre, llamaremos defectos de la madera a todas sus anomalías (Álvarez *et al.*, 2013).

### **Curvatura del fuste**

Según Vignote y Jiménez (1997) y Álvarez *et al.* (2013) las plantas son capaces de percibir la gravedad y responder a ella. Los fustes suelen responder a un geotropismo negativo, es decir, crecen en sentido contrario a la gravedad, lo que origina que los fustes de los árboles, sean en general, perfectamente verticales y rectos, pero en ocasiones, esta rectitud no es absoluta, pudiendo aparecer una o

varias curvaturas más o menos acusadas cuyo origen puede obedecer a diferentes causas (Figura 1).

TIPO DESCRIPCION	PLANO A	PLANO B
0 No hay curvatura		
1 Curvatura simple en un plano		
2 Curvatura doble en un plano		
3 Curvatura simple en dos planos		
4 Curvatura doble en dos planos		
5 Curvatura simple en un plano y doble en otro		

**Figura 1.** Representación de la curvatura del fuste.

Estos mismos autores plantean que la curva de los fustes ya sea plana o helicoidal, es una característica hereditaria o causada por las condiciones de calidad de la estación, pendiente del terreno, fuerza del viento o por daños mecánicos. Las especies que proceden de árboles con los troncos curvados presentan el mismo defecto incluso vegetando en buenos sitios forestales. La curvatura helicoidal es muy frecuente en los pinos y la curvatura plana en las latifolias.

En términos generales, la curvatura del fuste se considera un defecto de la madera. Sólo en casos muy excepcionales, como el de la construcción de barcos, la curvatura del fuste se considera como un efecto positivo.

## Ahorquillado. Entrecasco y Corazón múltiple

El ahorquillado se produce cuando se forman dos o varios troncos en vez de uno solo (Figura 2). Si aparece a cierta altura sobre el suelo, es de naturaleza hereditaria o causado por algunos daños. Este defecto es muy corriente en las frondosas que crecen aisladas, produciéndose en algunos casos varias veces (Díaz *et al.*, 2006).



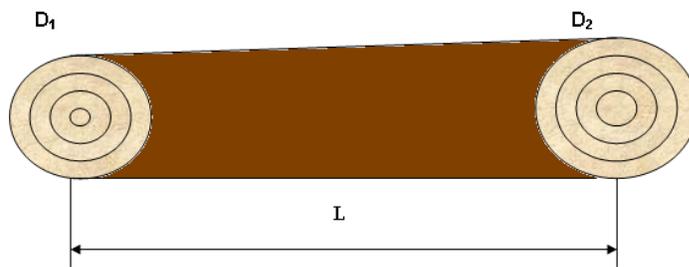
**Figura 2.** Representación del ahorquillado del fuste.

Los árboles que tienen esta conformación se rajan fácilmente, por lo que están predispuestos a la pudrición y al ser cortados se enganchan con facilidad en otros árboles, lo que puede dar lugar a accidentes. Si el defecto aparece cerca del suelo, se denomina entre casco o corazón múltiple. En la mayor parte de los casos la presencia de este defecto se debe al desarrollo de varios brotes terminales próximos, por pérdida de la guía terminal. También puede atribuirse a una predisposición (Álvarez *et al.*, 2013).

Otro caso es el de los árboles que creciendo separados, pero muy próximos, llegan a fusionarse. El entrecasco tiene un doble inconveniente: primero, el tronco más débil muere generalmente, se pudre y contamina la parte sana; segundo: las trozas sanas de corazón múltiple son de escaso valor, por desprenderse las partes que los integran al ser aserradas (Álvarez *et al.*, 2013 y Díaz *et al.*, 2006).

## Conicidad

El fuste del árbol, como consecuencia de la superposición del crecimiento en altura y del crecimiento en grosor, posee una forma que simplificada se puede suponer cónica. Es decir, la asimilación de este a un cono depende de la especie, edad, altura del tronco, estación y sobre todo la espesura de la masa donde haya crecido. El factor de conicidad de los fustes (Figura 3) se determina como la relación, expresada en tanto por ciento entre la diferencia del diámetro en la base y el diámetro de la punta, con la distancia que le separa (Álvarez *et al.*, 2013).



**Figura 3.** Representación de la conicidad.

Se plantea que los árboles que crecen aislados, tienen un factor de conicidad mucho más elevado que los que crecen en espesura. Igualmente, los árboles que pierden las ramas inferiores de una forma temprana tienen un factor de conicidad inferior que los que no las pierden. Cuando el factor de conicidad es inferior a dos o tres, al fuste se le considera esencialmente cilíndrico, pero cuando supera estos valores, genera unos problemas en su utilización que hacen, que se considere un defecto específico de la madera (Álvarez *et al.*, 2013)

Los árboles aislados a consecuencia de la fuerza del viento, refuerzan más su parte inferior y llegan a tener un contorno cónico muy pronunciado. Este defecto debe ser tenido en cuenta cuando desde el segundo metro en adelante, midiendo hasta la copa, el diámetro disminuya más de un centímetro por cada metro de longitud. Se señala la gran influencia que ejerce en este proceso de crecimiento, la

combinación de las hormonas estimulantes del crecimiento con otras sustancias activas de efectos contrarios, así como el efecto alternativo de los brotes laterales y terminales (Díaz *et al.*, 2006).

El efecto más importante que provoca la conicidad es la pérdida de rendimiento de la madera en los procesos de aserrados, desenrollado y chapa a la plana, ya que sólo es aprovechable la sección correspondiente a la testa más pequeña; en los casos de valores del factor de conicidad muy grandes, los aserrados presentan defectos de inclinación de la fibra (Díaz *et al.*, 2006; Vignote y Jiménez, 1997 y Álvarez *et al.*, 2013).

### **Excentricidad**

La excentricidad como se muestra en la figura 4, ocurre cuando el cordón medular no ocupa el centro de la sección transversal de la troza. Es un efecto muy corriente. Producido generalmente a partir de la acción de las fuerzas de viento o de la gravedad. La madera de tales árboles desmerece. Los anillos anuales tienen una anchura variable y las zonas de primavera y de otoño están desigualmente distribuidas. Este defecto tiene además el gran inconveniente de estar acompañado de una formación de madera de compresión, sobre todo en las coníferas (Álvarez *et al.*, 2013).



**Figura 4.** Representación de la excentricidad.

## Tableadura

La tableadura es un defecto en la forma de la sección del árbol (Figura 5), debido a un diferente diámetro en dos direcciones perpendiculares. El valor de la tableadura se expresa, según la norma ONE (1998), bien por la relación entre la diferencia de diámetros máximo y mínimo y el diámetro mínimo, expresado en por ciento. También se puede determinar a partir de la relación existente entre el diámetro máximo y el mínimo, expresado en por ciento (Álvarez *et al.*, 2013).

El efecto principal de este tipo de defecto está relacionado con la pérdida de productividad en los procesos de transformación en los aserraderos y la producción de chapas de madera a partir del método del desenrollo, por las mismas razones que se mencionan cuando se hace referencia a la conicidad de las trozas (Álvarez *et al.*, 2013, Vignote y Jiménez, 1997).



**Figura 5.** Representación de la tableadura.

## Nudos

Los nudos (Figura 6) son defectos de la madera que se presentan normalmente, de los que resultan serios inconvenientes para su empleo. La rama durante su vida, va formando anillos de crecimiento que se corresponden con los del fuste. La madera de las ramas tiene los anillos muy estrechos y contienen relativamente más madera de otoño que la del fuste, por lo que presenta una elevada proporción de madera

comprimida. Es también quebradiza; su riqueza en lignina y extractos es considerablemente más elevada que en la del fuste. La madera con nudos es más difícil de trabajar, empleando cualquier tipo de herramientas. Si se utilizan máquinas estas desprenden fibras próximas a los nudos y forman asperezas (Álvarez *et al.*, 2013).



**Figura 6.** Representación del nudo en la madera.

El crecimiento en espesor de la rama da lugar a que las alteraciones de la disposición de las fibras en la zona de inserción sean cada vez mayores. El veteado que se forma alrededor de los nudos puede tener utilidad para ciertos usos, aunque en general desprecian la madera (Álvarez *et al.*, 2013).

El inconveniente más serio que presentan los nudos embutidos en la madera, procedentes del recubrimiento de los muñones de las ramas que, al quedar dominados como consecuencia del aumento de espesura, van muriendo lentamente durante el proceso de poda natural. La rama muerta se pudre por la acción de los hongos xilófagos y acaba por desprenderse, siendo recubierto el muñón muerto por los nuevos anillos de crecimiento del fuste, quedando embutido en él como cualquier cuerpo extraño. Los nudos, además de producir un mal efecto visual, disminuyen la resistencia de la madera (Díaz *et al.*, 2006).

### **Fendas**

Son roturas locales de la madera (Figura 7), producidas según planos de cortes que incluyen la dirección radial y la del eje del árbol causadas por esfuerzos superiores

a los valores de resistencia de esa madera. Las fendas se miden, por su longitud en la superficie de la troza y por su profundidad máxima (Álvarez *et al.*, 2013 y Vignote y Jiménez, 1997).



**Figura 7.** Representación de las fendas en el extremo de la troza.

Pueden originarse como consecuencia del frío, la parte exterior del árbol se hiela, y con ello las células incluidas en esa parte sufren un proceso por el cual, el agua de la pared celular se hiela quedando el hielo en el lumen traqueidal, con lo que la pared celular se deseca. Las fendas de desecación se producen una vez que el árbol muere, momento a partir del cual, la humedad de la madera tiende a equilibrarse con la del medio ambiente que la rodea (Vignote y Jiménez, 1997).

Álvarez *et al.* (2013) plantea que el índice de fenda de los extremos de las trozas puede ser considerado como muy importante y muy útil en la selección de los árboles que sean utilizados como materias primas en los procesos de aserrado y elaboración de chapas de diferentes grosores

### **Fendas anulares o acebolladuras**

Son las fendas que se forman a lo largo de los anillos de crecimiento. Este tipo de fenda rebaja significativamente las posibilidades de utilización del fuste, ya que las

tablas que se obtienen al aserrar este árbol se rompen longitudinalmente en varias fracciones. Tenemos que atribuir este defecto a la formación brusca de madera, de anillos de crecimiento rápido junto a otros de crecimiento lento, lo cual ocurre fundamentalmente en árboles dominados durante mucho tiempo y que de repente y en edad avanzada, quedan aislados (Vignote y Jiménez, 1997).

Por otra parte, también se ha expuesto que la presencia de hongos en la madera que provocan pudriciones, facilita el surgimiento de las fendas anulares o acebolladuras (Álvarez *et al.*, 2013).

De forma general coincidimos con los planteamientos hecho por Álvarez *et al.* (2013), Vignote y Jiménez, (1997) y Díaz *et al.* (2006), cuando plantean que muchas veces estos defectos son beneficiosos o perjudiciales. Siendo algunos de ellos los causantes de bajo rendimiento y mala calidad de la madera aserrada.

### **2.3. Aserraderos**

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).

### 2.3.1. Industria del Aserrado en Cuba

Una panorámica de la elaboración primaria de la madera en Cuba se obtuvo hace unos años *ONE* (1998), 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).

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.

### 2.3.2. Aserríos fijos

Las instalaciones fijas como se muestran en la figura 8 según Alvarez, *et al.* (2004), son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea.



**Figura 8.** Aserraderos permanentes.

*Fuente: Okay. (2001).*

Este mismo autor plantea que su ciclo de producción suele 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 re aferrado intermedio.

### 2.3.3. Sierra de banda

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).

## **2.4. Factores que inciden sobre el rendimiento de la madera aserrada**

### **Diámetro de las trozas**

La opinión de los especialistas coincide con diversas investigaciones realizadas por Fahey y Sachet (1993), Woodfin (1978), Willits y Fahey (1991) y Fleming 1976) plantean 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.

### **Longitud, conicidad y diagrama de troceado**

Se puede afirmar que el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrío es afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten ambos parámetros 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. Esta observación es de peculiar importancia para la industria cubana del aserrío (Álvarez *et al.*, 2004).

### **Calidad de las trozas**

Uno de los factores a tener en cuenta, particularmente en la sierra principal, para maximizar el volumen es la calidad de la troza. Las dimensiones y el volumen de la madera aserrada bajo las prácticas corrientes del procesamiento tienen una relación directa con las diferentes clases de calidad de trozas; por lo que se apoya por diferentes autores la relación de las características de la superficie de las trozas y el rendimiento de madera aserrada para establecer normas para la clasificación de trozas (Álvarez *et al.*, 2004).

Casado (1997) confirma el efecto de la calidad de la troza, especialmente la incidencia de trozas torcidas en la calidad y volumen de la madera aserrada.

Todoroki (1995) expresa que existe una regla general de que un incremento en 0.1 de la proporción torcedura-diámetro conduce al decrecimiento del rendimiento volumétrico en un 5 %.

### **Calidad de la Madera**

La capacidad o el grado de adaptación de una madera a un determinado uso es lo que técnicamente se entiende como calidad de la Castro *et al.* (2007).

La calidad de la madera se define como el efecto de la suma de sus propiedades en

el uso final de una especie maderable. Estas propiedades pueden tener un impacto negativo o positivo en la recuperación, utilización y el precio del mercado de la madera y sus productos derivados. Por ejemplo, en las maderas con albura y duramen claramente diferenciados, aquellas con alto porcentaje de duramen producirán una madera más vendible; por otro lado, una alta protección de albura no es un problema en los postes tratados porque la albura puede penetrarse fácilmente con conservante y con ellos se pueden hacer más resistentes a las plagas y a las infecciones causadas por hongos que el duramen mismo, que pueden que no sea tratable ni durable (Akwasi, 2004).

## **2.5. Control de la calidad de la madera aserrada**

Bertrand y Prabhakar (1990) expresan que el control de calidad hace referencia a un proceso o un conjunto de actividades y técnicas operacionales que se usan para cumplir los requerimientos de calidad. Esta definición podría implicar que cualquier operación que sirva para mejorar, dirigir o asegurar la calidad podría ser una actividad de control de calidad. Básicamente se podría resumir como todo aquello que significa comprobar que lo realizado se ajusta a lo planificado.

Brown (1986) y Álvarez *et al.* (2005) exponen que mediante esas líneas o límites de control (superior e inferior), lo que definimos es el margen de oscilación de las mediciones que se acepta para considerar el proceso bajo control.

### **2.5.1. Control de dimensiones de madera aserrada**

Según Álvarez *et al.* (2005) el comportamiento de las dimensiones de la madera aserrada está determinado por un grupo de factores (sobre o subestimación de las dimensiones, variación de corte y dimensiones de los surtidos) que, al igual que los esquemas de corte y troceado, los especialistas pueden transformarlos con la finalidad de aumentar la eficiencia del aserrío sin tener que realizar cambios sensibles en las tecnologías existentes.

Otro aspecto de importancia primordial para el incremento de la eficiencia de conversión es el empleo de programas de dimensiones en los aserraderos.

Un sistema de control de dimensiones permite determinar la dimensión óptima de corte de la madera aserrada para obtener piezas con parámetros que coinciden con las nominales, para lo cual la tolerancia en el grueso y ancho de las piezas debe corresponder precisamente al volumen que se pierde por contracciones, por cepillado y por variación del corte en el aserrado (Zavala, 1981). Además, el control de dimensiones al emplearse adecuadamente permite identificar y localizar problemas que se presentan en las distintas máquinas del aserradero, alineación de las guías o rieles del carro y de los volantes, y en las operaciones de colocación de la troza en el carro (Brown, 1986).

De acuerdo con Zavala (1981), con el establecimiento de un sistema o programa de control de dimensiones en el proceso del aserrado se logra perfeccionar el proceso de transformación de las trozas, a través de los siguientes aspectos:

- Determinar una dimensión óptima de corte. Esta debe considerar una tolerancia que se le da al grueso y/o ancho de la madera aserrada, la cual está en función de lo que la especie se contrae en el proceso del secado, lo que se remueve en el cepillado y lo que se pierde por variación del corte.
- Determinar a través del análisis de la variación de dimensiones de madera aserrada, las causas u origen de fallas mecánicas de los equipos responsables de esta variación para proceder a su corrección.
- Establecer un sistema que permita analizar de forma sistemática o periódica la eficiencia del trabajo de los equipos y de los operarios para evaluar y corregir las anomalías que se presentan y controlar la calidad del producto.

Según Álvarez *et al.* (2004) las causas fundamentales que influyen en el control de calidad son las siguientes:

- Incorrecta tensión del elemento de corte.
- Recalcado demasiado pequeño
- Inadecuada velocidad de avance en relación a la forma y capacidad del diente
- Guías deterioradas de la sierra o alineamiento incorrecto de ellas.
- Aserrín y resina en los volantes de la máquina, falta de limpieza.
- Balanceo incorrecto de los volantes o rodamientos en mal estado
- Mal alineamiento de los volantes
- Inestabilidad de las ruedas del carro de alimentación
- Falta de alineamiento del carro y los rieles o cadena de alimentación.

## **2.6. Rol del aserrador**

“En cada una de las etapas de transformación de los troncos en material para la construcción, la decisión final queda en manos del experimentado juicio del aserrador, aunque en la actualidad su trabajo es mucho más efectivo gracias a las computadoras, a los sistemas de control y también a la maquinaria dirigida mecánicamente, capaz de mover un tronco con la misma facilidad con que un hombre levanta una pluma” (Johnson, 1996).

Según García y González (2003) esta definición anterior es sabia, el aserrador es el operador dentro del aserradero, del cual depende en gran medida la productividad del centro, así como el aprovechamiento que se obtenga de la materia prima. El debe estar atento de la situación de cada equipo en el flujo tecnológico, materia prima disponible para su trabajo sin interrupciones cuando la troza está en la parte superior del muelle de carga, con objeto de garantizar el control del proceso, el operario tendrá que efectuar las siguientes operaciones:

- Identificación de la troza que ya ha sido contabilizada en el patio de apilado.

- Medición de la troza y fijación de la especie.
- En el caso de que existieran dos sierras principales, y por lo tanto dos muelles de alimentación de sierras, cada una de ellas suele estar especializada en un determinado despiece, o en una especie. El operario anteriormente mencionado es el que distribuye las trozas mediante los empujadores.
- Cuando esto no se produce, es el propio aserrador el que efectúa la operación de empuje de la troza al muelle de carga. Por el contrario, el equipo de carga de la troza en el carro siempre es manejado por el propio aserrador.
- Para efectuar el aserrado, además de ciertas reglas especiales que la práctica va perfilando en función de la calidad de la materia prima que manipula, se establecen unas reglas generales que se recogen a continuación:
- No sacar gruesos superiores a 25 mm por tabla, hasta que el costado de la troza sea rectangular. El corte gradual y apertura de la troza pone de manifiesto paulatinamente la profundidad y extensión de los defectos.
- No cortar en dos caras de la troza mientras exista oportunidad de obtener madera limpia de defectos en una de ellas.
- Cuando se sacan costeros dar dos cortes.
- Evitar, siempre que sea posible, que las marcas de los dientes al girar troncos y de las garras de la escuadra del carro se produzcan en las caras de mejor calidad.
- Cuando las trozas tengan una curvatura pronunciada, dar los cortes tangenciales a la curvatura y no en el plano de ellas.
- Cuando aparezca una acebolladura, cortar las tablas paralelas a esta, ya que si el corte se hace perpendicularmente se obtienen tablas más estrechas.

- Cuando la conicidad sea grande, desplazar las escuadras del carro para conseguir el corte al hilo; después dar unos cortes de alineación

## **2.7. Madera y uso de las especies utilizadas**

### **2.7. 1. *Calophyllum antillanum* Britt.**

Según Sablón (1987) *Calophyllum antillanum* Britt es una especie que presenta la albura y el duramen no muy diferenciados; los anillos de crecimiento son visibles en la sección transversal. La textura es media y el grano entremezclado, a veces recto; los poros son ligeramente observables a simple vista; radios no visibles a simple vista. Es una madera elástica y con un peso que varía entre los 550 y 800 Kg /m<sup>3</sup>. Es bastante resistente y durable pero susceptible al ataque de taladradores marinos.

Según Betancourt (1987) la madera de albura este color blanquecino a castaño grisáceo la del duramen varía de rosa a castaño rojizo, frecuentemente marcada por bandas finas más oscuras. La transición de la albura al duramen es gradual. Esta madera es de textura media y uniforme, hilo directo (a veces entrecruzado), mediante lustrosas, resistente y bastante durable; no tiene olor ni sabor característico.

La madera de ocuje se utiliza en construcciones navales, carruajes, puentes, traviesas, postes, mástiles de embarcaciones, decorado interior, tornearía, artículos para deportes, chapas slide, implementos agrícolas, tejaminales, construcciones en general entre otros (Betancourt, 1987).

Este mismo autor afirma que esta madera se emplea como madera de aserrío, chapas para maderas terciadas, durmientes, culatas de fusiles, duelas, quillas y armaduras de embarcaciones, objetos para talaes y artesanías, construcción de muebles finos, entre otros. Teniendo en cuenta sus características anatómicas, peso, color y veteado estos autores sugieren utilizar esta madera en objetos de alto valor decorativo, con un sustituto de madera dura preciosa. En Cuba, esta especie se emplea mucho como planta ornamental, a causa de que es un árbol siempre verde

de hojas brillantes ya que forma una hermosa copa baja. “El árbol por su belleza, por sus hojas firmes y brillantes y por su raíz profunda, resulta uno de los más apropiados para avenidas, parques y carreteras; solo que su crecimiento es algo lento al principio”. Actualmente, se usa mucho para fajas y cortinas rompevientos.

Los frutos constituyen un buen alimento para los cerdos, que los apetecen mucho. Esta especie tiene buenas propiedades medicinales; que nuestros campesinos usan la resina del ocuje, para cubrirse las hincadas y evitar el tétano; que en Camagüey utilizan la cáscara del ocuje para combatir las enfermedades del hígado y en baños. Según Grosourdi, citado por Betancourt (1987), la resina de esta planta constituye un pectoral muy bueno; es muy útil en los catarros crónicos y tiene además, muy pronunciadas propiedades sudoríficas. Este médico afirma que, con medio manojo de la corteza interior de esta planta, picada y machacada, y una botella de agua hirviente, se prepara una infusión pectoral que es muy útil para estimular la mucosa pulmonía; y que las flores sirven también para hacer una infusión pectoral muy útil.

### **2.7.2. *Pinus cubensis* Griseb**

Karstedt y Mesa (1972), refiriéndose a un estudio anatómico de xilema en el *Pinus cubensis*, hacen la siguiente descripción general: “Presenta un cambio brusco entre la madera de otoño y la madera de primavera. El ancho de los anillos de crecimiento parece más proporcionado; el tipo de célula fundamental es la fibrotraqueida. La relación del diámetro en estas células de madera de otoño y madera de primavera es de 1mm a 1,2mm.

Sablón (1987) plantea que la madera es muy similar a la de *Pinus caribaea*(JACQ), aunque al parecer, menos resinosa, y se le atribuyen los mismos usos que a dicha especie. Textura media, grano con tendencia a la torsión, resinosa al tacto y olor característico, con una densidad media al 12% de humedad de 0,740 g/cm<sup>3</sup>. Se

puede utilizar en construcciones generales, marcos, puertas, ventanas, boca minas, traviesas, pulpa para papel, etcétera.

Para ser utilizada en contacto con el suelo, debe ser preservada, 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 estudio fue realizado entre los meses de septiembre de 2019 a febrero de 2021 en el aserrío de “Cayo Güin” perteneciente a la Empresa Agroforestal Baracoa de la provincia de Guantánamo (Figura 9). Está ubicado en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa y limita al norte con el Océano Atlántico, por el este y sureste con los municipios de Maisí e Imías respectivamente, por el suroeste con Yateras y por el oeste con Moa (Holguín). Cuenta con tecnología de sierra de banda marca Armentía, con una producción actual de 8 m<sup>3</sup> diarios de madera aserrada y una capacidad de producción de hasta 20 m<sup>3</sup>.

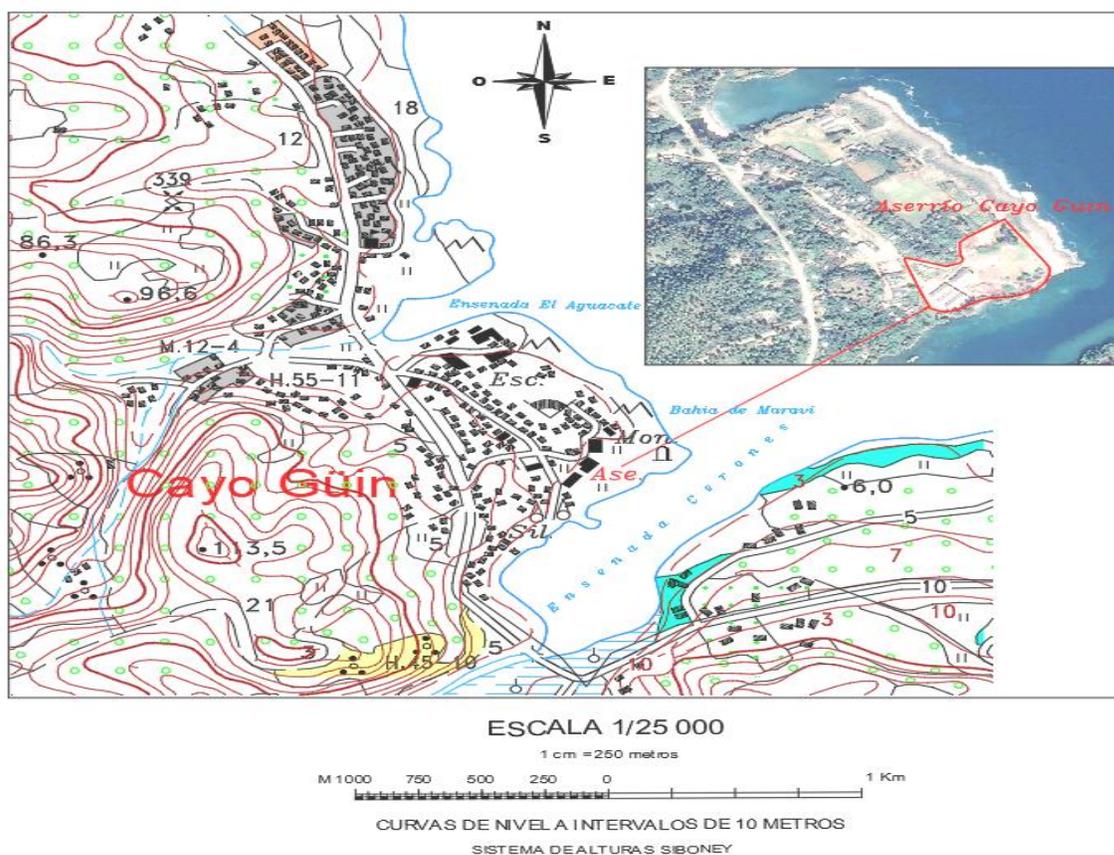


Figura 9. Localización del aserrío de Cayo Güin, perteneciente a la Empresa Agroforestal de Baracoa.

### 3.2. Tamaño de la muestra

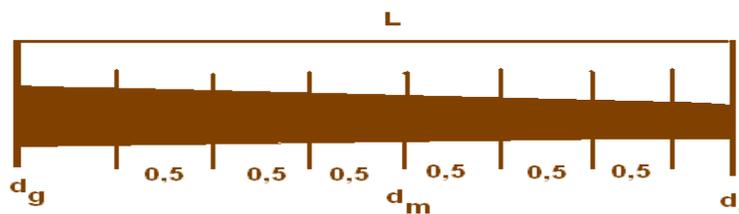
Se realizó un muestreo piloto con 52 trozas de *Pinus cubensis* y 44 para *Calophyllum antillanum* con un largo que varía de 2,43m hasta 6,82m. Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó la metodología de Leckoundzou (2008), con el diámetro medio de las trozas como variable de interés, donde se asume un error de muestreo de 5% a un 95% de confiabilidad. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$n = \frac{t^2 * s^2_x}{E^2}$$

Donde: n: tamaño de la muestra, t: Valores t de Student, s<sup>2</sup>: Varianza y E<sup>2</sup>: Error de muestreo.

### 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 y los diámetros en los tres extremos de las trozas diámetro fino (df), medio (dm) y grueso (dg) como se muestra en la figura 10.

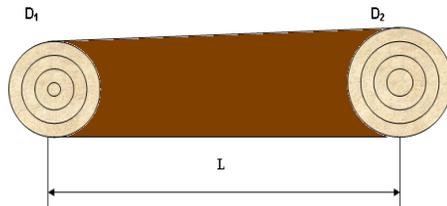


**Figura 10.** Medición de las trozas.

### 3.4. Defectos de las trozas

Se determinaron los defectos según Álvarez *et al.* (2013) y se realizó un análisis descriptivo de cada uno a través del software SPSS VER 21.0. Los defectos evaluados fueron: conicidad (figura 11), excentricidad (figura 12), curvatura del fuste, tableadura, fendas y nudos.

## Conicidad de las trozas



$$C = \frac{(D2 - D1)}{100}$$

**Figura 11.** Medida de la conicidad.

**Donde:**

C- conicidad, cm/m

D2- diámetro mayor de la troza, cm.

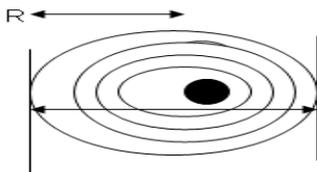
D1- diámetro menor de la troza, cm

L- longitud de la troza, m.

Se clasificó la conicidad según Vignote e Isaac (2006) en pequeña (menor de 1.5), mediana (1.5-3) y grande (Mayor que 3).

Mediante el paquete estadístico SPSS 21.0. Se realizó un análisis de correlación de PEARSON para determinar cuáles de las variables: diámetro en el extremo fino, en el grueso y la longitud influía más en la conicidad. Este análisis es en forma de Matriz donde el primer valor es el intercepto, el segundo el tamaño de la muestra y el tercero la probabilidad. Luego se determinó el modelo matemático de mejor ajuste para cada especie.

## Excentricidad



$$E_x = \frac{[(2R - D)/2D]}{100}$$

**Figura 12.** Determinación de a excentricidad

**Donde:**

Ex Excentricidad, %

R- radio máximo desde la médula, m

D- diámetro mayor de la troza, m

**Curvatura del fuste**

$$Ct = \frac{f}{l}$$

**Donde:**

CT: Curvatura de la traza.

f: distancia que comprende el punto máximo de la concavidad que caracteriza la curvatura del fuste; cm.

L: longitud de la troza, cm.

Se clasificó la curvatura según Vignote e Isaac (2006) en pequeña (menor de 2), mediana (2 - 4) y grande (Mayor que 4).

**Tableadura**

$$T = \frac{D - d}{d} * 100$$

Donde: T – Tableadura

D- Diámetro máximo.

d- Diámetro mínimo

## Fendas

$$IR = 200 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right]$$

Donde:

IR – índice de fenda, %

$a_i$ - abertura máxima de la fenda  $i$  ( $i=1, \dots, n$ ), cm.

$C_i$ - longitud de la fenda, cm.

D-diámetro

## Nudo

$$Tn = \frac{Dmn}{dmb} * 100$$

Donde:

Tn: Tamaño de nudo. (%)

Dmn: Diámetro mayor del nudo.

Dmb: Diámetro menor del nudo.

### 3.5. Análisis de las normas de clasificación de la madera en bolo

En la tabla 1 aparecen las especificaciones que conforman las normas de la Empresa Forestal para la clasificación de la madera en bolo. Por lo que se realizará un análisis de estas especificidades para determinar la vigencia y utilidad práctica de las normas, ya que en estudio precedentes según Matos (2004) se ha demostrado que el suministro de madera en bolo hacia la industria de transformación primaria de la madera no satisface las exigencias de la industria forestal que puede ser

consecuencia del mal funcionamiento y calidad de las normas de clasificación de la madera en bolo.

Para este análisis tomamos como referencia los defectos que con mayor frecuencia inciden sobre la calidad de la madera en bolo en el aserrío de Cayo Güin.

**Tabla 1.** Normas de clasificación de la madera en bolo.

Norma Ramal 006/1980	Norma Ramal 304-013/1985
Especificaciones de los índices de calidad	Especificaciones de los índices de calidad
<p>Composición física:</p> <p>Clase A: Dura</p> <p>Clase B: Blanda</p> <p>No existen ---- ni adiciones en este producto.</p>	<p>Principales requisitos de fiabilidad que caracterizan al producto por su utilización son:</p> <p>Observancia de las dimensiones típicas (longitud y diámetro) ajustada a su clasificación de acuerdo al uso que se le destine, ya sea madera de uso directo para la construcción rural, postes, para etc.</p> <p>Composición orgánica de la madera sin mostrar afectaciones producidas por agentes xilófagos que influyen para su uso.</p> <p>Rectitud deseable: La desviación de la línea recta no excederá al 2% en relación con la longitud total de las piezas.</p> <p>Rajaduras: Exenta de rajaduras pronunciadas.</p>
Dimensiones: Se clasificarán en todas las categorías a sus usos tal como lo establece el clasificador del organismo.	
Composición orgánica: La madera estará sana, es decir no podrida, lo más recta posible para que se puede usar en construcciones y sin rajaduras pronunciadas.	

### 3.6. Determinación del rendimiento

#### Volumen de madera en bolo

Se determinó el volumen de la madera en bolo a través de las formulas de Huber, Smalian y Newton según Aldana (2010) y se realizó un Anova para ver si existían diferencias significativas entre cada una de ellas para determinar la mejor. Se utilizó el SPSS versión 21.0.

$$V_H = g_m * L_a$$

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

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

#### Volumen de madera aserrada

$$V_{ma} = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i)$$

#### Rendimiento de la madera

A partir del volumen de la madera en bolo y el volumen de la madera aserrada, se determinó el rendimiento Egas (1998) y Nájera *et al.* (2011), según fórmula:

$$R = \frac{V_{mb}}{V_{ma}} * 100$$

Donde:

R- Rendimiento (%), V - Volumen de la madera en bolo (m<sup>3</sup>), (H- Huber, S- Smalian, N- Newton), g<sub>1</sub>, área basal en el extremo fino; g<sub>m</sub>= área basal en el extremo medio, g<sub>o</sub>, área basal en el extremo grueso; l longitud de la troza; V<sub>ma</sub>= volumen de madera aserrada, g<sub>j</sub>= Grosor de la pieza; a<sub>j</sub>, Ancho de la pieza; l<sub>j</sub>, longitud de la pieza y n, Número de piezas aserradas en una troza.

### **3.6.1 Determinación de la influencia de los defectos de la madera en bolo sobre los rendimientos de la madera aserrada**

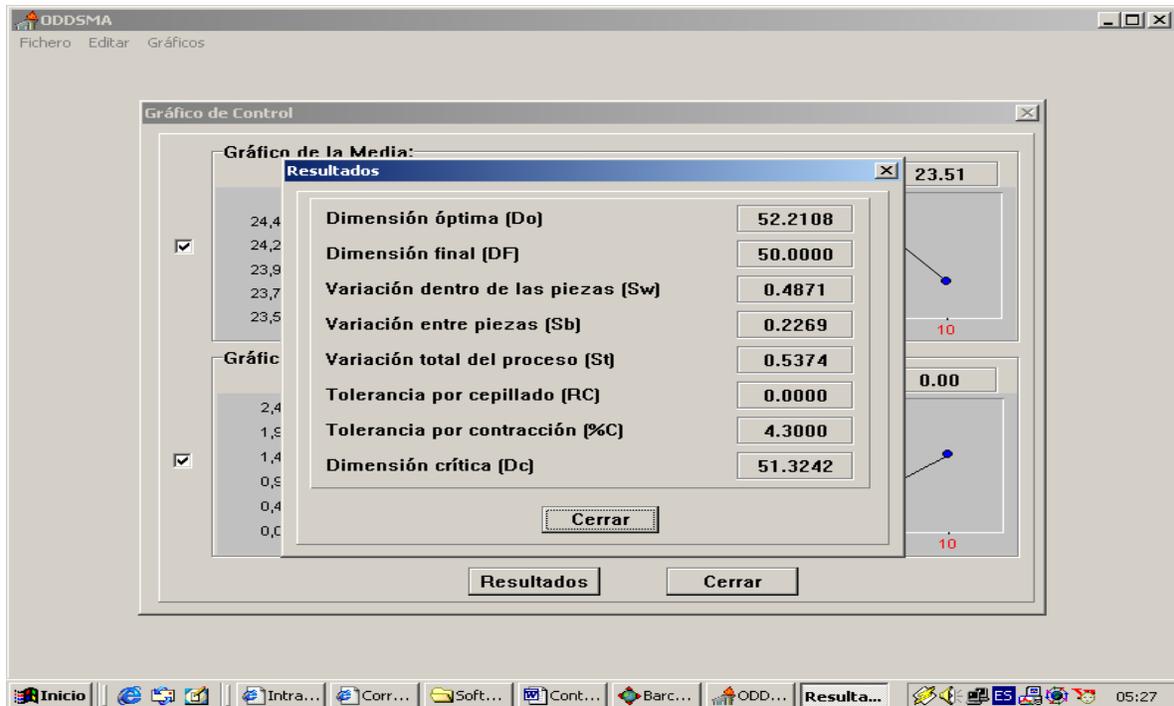
Para el análisis de los datos se hizo una regresión múltiple y se obtiene un modelo matemático, tomando el rendimiento como variable dependiente; y la curvatura del fuste, la tableadura, la conicidad, y la excentricidad del corazón como variable independiente. Se utilizó el Microsoft Excel y el SPSSVer. 21.0 para el procesamiento de los datos.

### **3.7. Determinación de la calidad dimensional de la madera aserrada**

Se tomaron muestras de de las piezas de los surtidos de mayor demanda. En los surtidos de 25 y 50 mm para *P. cubensis* Griseb. y 25, 50 y 200 para *C. antillanum*. A cada pieza se le realizaron 6 mediciones, tres en cada canto, de forma equidistante a lo largo de las mismas, teniendo cuidado en establecer una secuencia permanente de medición respecto a la dirección de salida de las piezas de la sierra (Brown, 1986 y Zavala, 1981), con el objetivo de poder identificar problemas eventuales en los equipos. Las mediciones se realizan con un pie de rey en áreas de madera sana, evitando nudos, pudriciones y otros defectos.

Debido a la complejidad de los cálculos y volumen de estos, sobre todo en el cómputo de las variaciones de grosor en el aserrío cuando se dispone de una muestra grande. Para ello se utilizó el software Control versión 5.1propuesto por Álvarez *et al.* (2005)figura 13.

La tolerancia por cepillado es de 0 y el porcentaje de piezas con dimensión inferior es de 5%. El porcentaje de humedad que se utilizó fue según la clasificación del porcentaje de agua en la madera (Álvarez *et al.*, 2013).



**Figura 13.** Software para el control dimensional de la madera aserrada.

### 3.7.1. Determinación del porcentaje de contracción

Para la obtención de la contracción tangencial se realizaron 10 probetas de 30\*30\*150 mm según las normas DIN-52-184 citado por Ibáñez *et al.* (2007) de la especie evaluada y se llevaron a una estufa con el objetivo de determinar la diferencia que existe entre el volumen de la madera húmeda y seca. Se utilizó un pie de rey para lograr mayor exactitud en las mediciones del grosor en las probetas de madera. Para los cálculos se usó la siguiente fórmula propuesta por (Álvarez *et al.*, 2013) y se clasificó como se muestra en la tabla 2.

$$\beta_{vh} = \frac{V_h - V_o}{V_h}$$

Donde:

V<sub>h</sub>: Volumen húmedo

$V_o$ : Volumen seco

$\beta_{vh}$ : % de contracción.

**Tabla 2.** Clasificación del porcentaje de contracción.

<b>Clase de contracción</b>	<b>Contracción Volumétrica Total (%)</b>	<b>Madera</b>
Grande	15 – 20	Grandes fendas de secado. Debe aserrarse en verde
Media	10 – 15	Fendas medias. Puede emplearse en rollo para construcción y postes
Pequeña	5 – 10	Fendas pequeñas. Puede secar

### 3.7.2. Determinación de las dimensiones de madera aserrada

#### Dimensión óptima

Para la determinación de la dimensión óptima de corte a la que debe aserrarse la madera verde para que cumpla con las especificaciones de grosor exigidas por el mercado, se utilizó el Software Control, que consideran tres tipos de tolerancias: tolerancia debido a la contracción de la madera, debido al cepillado, y al eliminar las asperezas y el mal dimensionado de las piezas:

$$D_o = \frac{DF + TC}{(1 - \%C)} + Z * St$$

Donde:

$D_o$  – Dimensión óptima de corte de madera verde, mm

DF- Dimensión final, mm.

TC- Tolerancia por cepillado en ambos lados del surtido, mm.

%C- Tolerancia por contracción de la madera, %.

Z- Factor de dimensión mínima aceptable (adimensional), %.

St- Variación total de aserrado, mm.

$$\% C = \frac{30\% - C \cdot H_{final}}{30} * CP$$

Donde:

%C – Tolerancia por contracción de la madera, %.

C. H<sub>final</sub> – Contenido de humedad final que la madera alcanza como resultado del secado, %.

CP- Contracción promedio de la especie para un determinado plano de la madera, %.

### **Dimensión crítica**

Por otra parte, debemos tener en cuenta la variable dimensión crítica (D<sub>c</sub>), que está relacionada con la dimensión de la madera verde, si se pudieran producir piezas sin variación de aserrado. La expresión matemática que posibilita determinar esta dimensión es la siguiente:

$$D_c = \frac{DF + TC}{(1 - \% C)}$$

### **3.7.3. Variación total de aserrado**

$$St = \sqrt{Sd^2 + Se^2}$$

Donde:

St- variación total del aserrado (mm)

Sd- desviación estándar del proceso de aserrado dentro de las piezas (mm)

Se- desviación estándar del proceso de aserrado entre piezas (mm).

$$Sd = \sqrt{\bar{S}^2}$$

$$Se = \sqrt{S\left(\bar{x}\right)^2 - \frac{Sd^2}{n}}$$

Donde:

$\bar{S}^2$  - corresponde al promedio de las varianzas en grosor de las piezas.

$S\left(\bar{x}\right)^2$  - representa la varianza de las medias de los grosores de cada pieza muestreada.

n – número de mediciones por pieza.

### **3.8. Eficiencia económica**

Para la evaluación económica se tuvo en cuenta la dimensión final y la dimensión estimada que la madera puede llegar a alcanzar para obtener un 18 por ciento de humedad, que según Álvarez *et al.* (2013) es la madera comercialmente seca. Se utilizó el listado de precio de la madera aserrada según el Ministerio de Finanzas y Precios en la Resolución No. 312- (2020).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Tamaño de la muestra

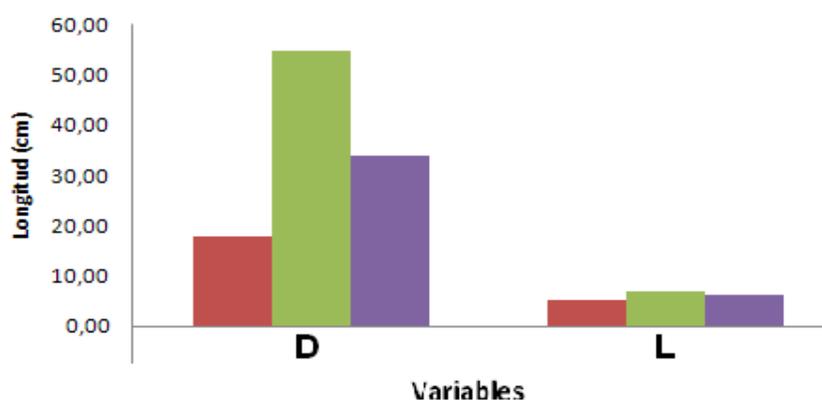
El tamaño de la muestra según el diámetro medio de las trozas para *P. cubensis* y *Calophyllum antillanum*, fue representativo Tabla 3 para un límite de error de un 5%. Estos resultados coinciden con los reportados por Lambert *et al.* (2020) y Leyva *et al.* (2015) para estas especies en la Empresa Agroforestal Baracoa. Por lo que podemos afirmar que el tamaño de la muestra fue suficiente.

**Tabla 3.** Tamaño de la muestra para *Calophyllum antillanum* Britt. y *Pinus cubensis* Griseb.

Especies	Tamaño de la población	Tamaño de la muestra
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	44	61
<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	52	15

### 4.2. Caracterización de la materia prima

En la figura 14 se observan las características de la materia prima de las dimensiones obtenidas para *Calophyllum antillanum* Britt.

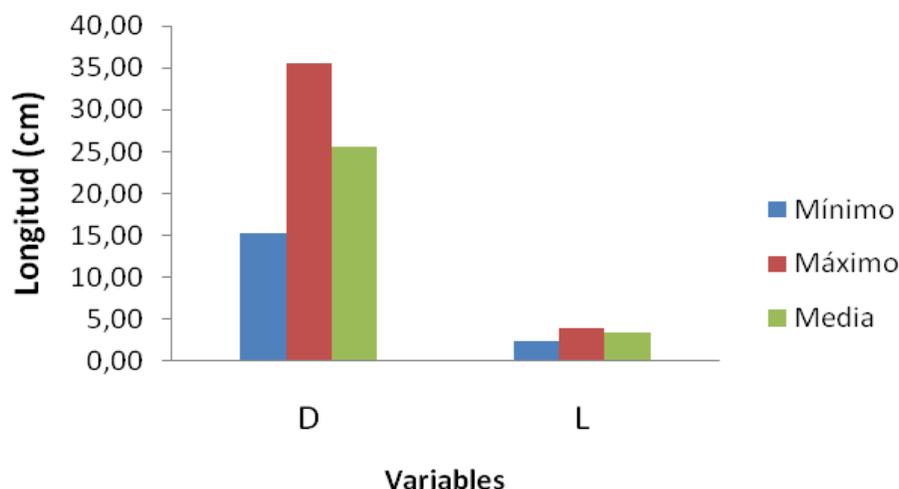


**Figura 14.** Análisis descriptivo de las trozas evaluadas para *Calophyllum antillanum* Britt.

El diámetro puede variar desde 17,90 cm a 55,00 cm con una media de 33,89 cm. La longitud de las trozas con muy poca variación, con un mínimo de 5,20 m, la media de 6,30 m y valores máximo de 6,30 m. Según Sablón (1987) esta especie puede alcanzar de 80 a 100 cm de diámetro y como se muestra anteriormente las trozas evaluadas pueden llegar a alcanzar hasta 55 cm de diámetros.

Estos resultados pudieran ser por las condiciones adafoclimáticas que presenta esta especie que influye en el incremento en diámetro y altura, además de los árboles que crecen alrededor, interviniendo en su desarrollo.

La caracterización de la materia prima de las dimensiones del diámetro y la longitud obtenidas para *Pinus cubensis* Griseb. se muestran en la figura 15. La longitud de las trozas analizadas es de menor dimensión y con muy poca variación con un mínimo de 2,43 m, una media de 3,49 m y valores máximos de 3,89 m. El diámetro puede variar desde 15,20 cm a 35,60 cm con una media de 25,54 cm. Sablón (1987) plantea que esta especie puede llegar a alcanzar hasta 1 m de diámetro y al observar vemos que se están aprovechando trozas de pequeñas dimensiones. Además Álvarez *et al.* (2004) plantea que el diámetro influye en el rendimiento de la madera aserrada.



**Figura 15.** Análisis descriptivo de las trozas evaluadas para *Pinus cubensis* Griseb.

Estos resultados demuestran que se están aprovechando trozas de pequeñas dimensiones no cumpliendo con el diámetro mínimo de corte para su aprovechamiento industrial. Por lo que van a influir en los rendimientos industrial de las especies.

#### 4.2.1. Análisis de los defectos de las trozas

##### Análisis de la conicidad

En la tabla 4 se pueden apreciar las magnitudes de la conicidad; demostrándose la vigencia de los planteamientos según Álvarez *et al.* (2013) con respecto a la calidad de las trozas empleadas en los aserraderos, ya que la muestra seleccionada presenta una marcada presencia de defectos con magnitudes que se van muy por encima de 1,5cm/m lo permitido en las normas internacionales. Resultados similares reportó Leyva *et al.*, (2015) para *Pinus cubensis* con media de 2,23 cm/m, valor mínimo de 0,24cm/m y máximo de 4,98cm/cm y para *Calophyllum antillanum* con 9,26 cm/m, con una media de 2,22cm/m y valor mínimo de 0.00 cm/m.

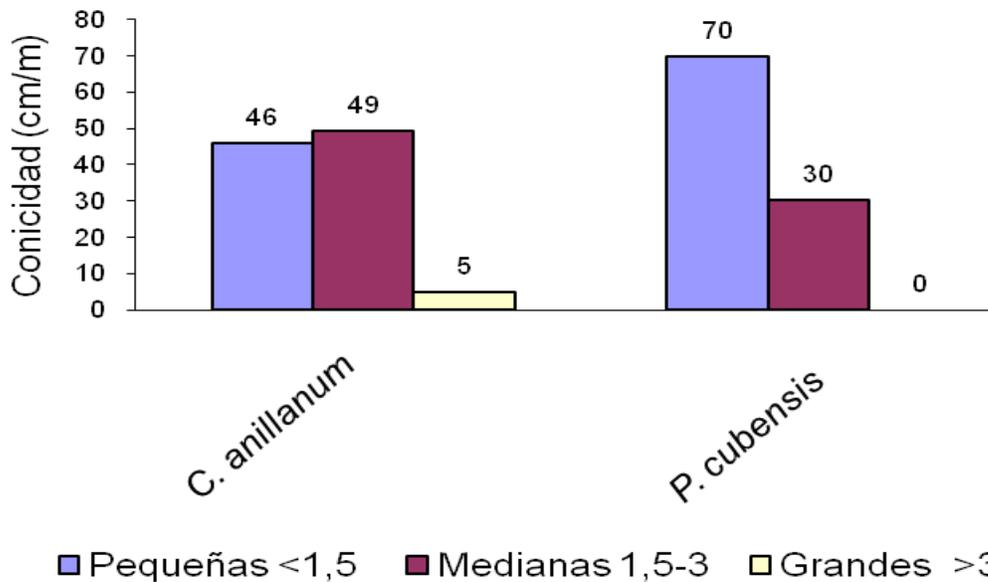
**Tabla 4.** Resumen estadístico de la conicidad (cm/m) en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Desv. Típica</b>	<b>Error Estándar</b>
<b><i>Calophyllum antillanum</i></b>	2,22	0,0	9,26	2,14	0,27
<b><i>Pinus cubensis</i></b>	1,51	0,24	4,98	1,63	0,15

Se observa en la figura 16 el porcentaje de trozas con conicidad. Para *Pinus cubensis* Griseb va disminuyendo de menor a mediana porque no existen trozas con conicidad mayor que 3cm/m. En el caso de existen pocas trozas con conicidad mayor de 3 cm/m y el porcentaje de conicidad mínimo y medio es semejante. De forma general existen para las dos especies un alto por ciento de conicidad superior a

1,5cm, siendo superior para el *Callophyllum antillanum* Britt porque las trozas evaluadas tenían mayor longitud.

Este defecto provoca pérdidas en los aserríos, disminuyendo los rendimientos de la madera, ya que sólo es aprovechable la sección correspondiente a la testa más pequeña del bolo.



**Figura 16.** Porcentaje de conicidad según el nivel de clasificación en pequeñas, medianas y grandes.

Al analizar los planteamientos hecho por Egas (1998), donde hace referencia que la conicidad de las trozas es uno de las variables de mayor incidencia sobre los bajos rendimientos de madera aserrada, se realizó un análisis más profundo de esta variable; por lo que se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la tabla 5.

En el análisis de correlación se pone de manifiesto que la variable de mayor incidencia sobre la conicidad de las trozas la constituye el diámetro de la base (d<sub>2</sub>); por ser esta la variable que de forma determinante influye sobre la configuración del perfil longitudinal del fuste. Se coincide con Egas (1998), Matos (2004), Leyva *et al.* (2015) y Leyva *et al.* (2017).

**Tabla 5.** Correlaciones de PEARSON de la conicidad en función de los diámetros y la longitud.

	<b>L</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>Conicidad</b>
L		0,209 146 0.011	0,231 146 0.005	-0,113 146 0.173
d1	0.209 146 0.005		0.856 146 0.000	0.039 146 0.632
d2	0.232 146 0.005	0.857 146 0.000		0.472 146 0.000
Conicidad	-0.113 146 0.173	0.040 146 0.632	0.472 146 0.000	

En la tabla 6 se observan cada uno de los modelos obtenidos para las diferentes especies, donde se puede predecir la conicidad en función de los diámetros y de la longitud con un alto coeficiente de regresión y un error estándar aceptable.

**Tabla 6.** Modelos matemáticos para estimar la conicidad en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Fórmula</b>	<b>R<sup>2</sup>Ajust</b>	<b>E. E</b>
<i>P. cubensis</i>	$C = 4,31 - 0,334*d1 + 0,334*d2 - 1,413*I$	99,54	0,08
<i>C. antillanum</i>	$C = 1,859 - 0,285*d1 + 0,280*d2 - 0,448*I$	89,96	0,70
<b>Modelo general</b>	<b><math>C = 2,066 - 0,251*d1 + 0,254*d2 - 0,510*I</math></b>	<b>93,83</b>	<b>0,38</b>

#### **Excentricidad del Corazón**

Los mayores valores de excentricidad del duramen están dados por *Calophyllum antillanum* Britt. como se muestra en la tabla 7. El *Pinus cubensis* Griseb. presentan los menores valores. Estos resultados no coinciden con los planteados por Matos (2004) donde obtuvo valores mínimos de 0, pero si con los resultados obtenidos por Leyva *et al.* (2015) donde los valores mínimos de *Pinus cubensis* fueron de 0,37% y 0,35 de *Calophyllum antillanum* .Este defecto influye fundamentalmente en la calidad de la madera y es producto a la acción de las fuerzas del viento o de la pendiente.

**Tabla 7.** Excentricidad del duramen (%) para ambas diferentes especies.

<b>Especies</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>desv. Típica</b>	<b>Error Estándar</b>
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	0,73	0,35	1,22	0,23	0,03
<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	0,41	0,20	0,97	0,14	0,03

### **Curvatura del fuste**

La curvatura del fuste con valores máximos que se van por encima a 2,5% para las dos especies, según lo establecido por Álvarez *et al.* (2013), se observa en la tabla 8.

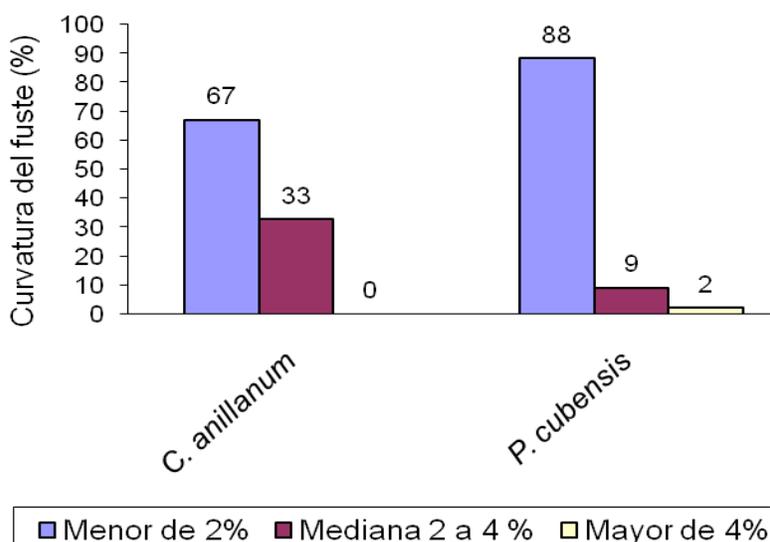
**Tabla 8.** Resumen estadístico para curvatura del fuste (%) en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>desv. Típica</b>	<b>Error Estándar</b>
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	1,63	0,56	3,70	0,79	0,10
<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	1,27	0,0	4,21	0,48	0,12

Estos resultados difieren a los reportados por Matos (2004), donde se obtienen valores máximos de curvatura para cuatro especies de latifolias entre 10 y 32%, muy por encima de los obtenidos en este trabajo, esto pudiera estar dado a las dimensiones de los bolos, o las condiciones intrínsecas de cada especie y a los tratamientos a los que fueron sometidos. Sin embargo, resultados similares a los

encontrados por Leyva *et al.* (2015) para estas especies en Baracoa en condiciones similares.

En la figura 17 aparece la clasificación de la curvatura del fuste donde el mayor porcentaje de las trozas para ambas especies tienen una curvatura pequeña inferior del 2%, aunque *Pinus cubensis* Grises presenta mayor porcentaje debido a que tienen crecimiento monopódico, sin embargo es simpídico para *Calophyllum antillanum* Britt.



**Figura 17.** Curvatura del fuste para el *Calophyllum antillanum* y *Pinus cubensis*.

### Tableadura

Se observa en la tabla 9 que los mayores valores de la tableadura lo presentan el *Calophyllum antillanum* Britt. Ambas especies tienen una desviación típica entre 5 y 7 y un error estándar inferior a 1,28, siendo aceptable en esta investigación. Resultados similares a los obtenidos por Leyva *et al.* (2017) para *Pinus cubensis* Griseb. en Guantánamo con una media de 6,1 %.

Leyva *et al.* (2017) reportaron en la provincia de Guantánamo una media de 6,1% para el *Pinus cubensis* Griseb.

Estos resultados pudieran ser debido a las condiciones del habitat para ambas especies ya que en el municipio de Baracoa estos bosques presentan un relieve montañoso con altas pendientes, que pudiera provocar anomalías en la sección transversal del fuste que influirá en las pérdidas de la productividad en los procesos de transformación en los aserraderos.

**Tabla 9.** Resumen estadístico para tableadura (%) en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Desv.</b>	<b>Error</b>
				<b>Típica</b>	<b>Estándar</b>
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	11,05	0,0	30,0	7,29	0,93
<i>Pino cubensis</i> Griseb.	6,1	0,0	20,0	5,28	1,28

### Índice de fendas

Las fendas son roturas locales de la madera, producidas según planos de cortes en dirección radial causadas por esfuerzos superiores a los valores de resistencia de esa madera. Se observó en la tabla 10 que los mayores valores de la fenda lo tienen el *Calophyllum antillanum* Britt. y el *Pino cubensis* Griseb. presentan los menores valores, con un error estándar y una desviación típica aceptable. Se observaron trozas que no presentan fendas. Las trozas con grandes % de fenda pudo estar dado por el tiempo de permanencia en el patio del aserrío o la demora al traslado en llegar a este después de ser cortadas.

Este índice en los extremos de las trozas puede ser considerado como muy importante y muy útil en la selección de los árboles que sean utilizados como materias primas en los procesos de aserrado (Álvarez *et al.*, 2013). Producto a el rendimiento y la calidad de la madera puede mermar.

**Tabla 10.** Resumen estadístico de índice de fendas (%) en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Desv. Típica</b>	<b>Error Estándar</b>
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	27,77	0,0	164,62	32,51	0,16
<i>Pino cubensis</i> Griseb.	17,23	0,0	57,76	22,27	0,40

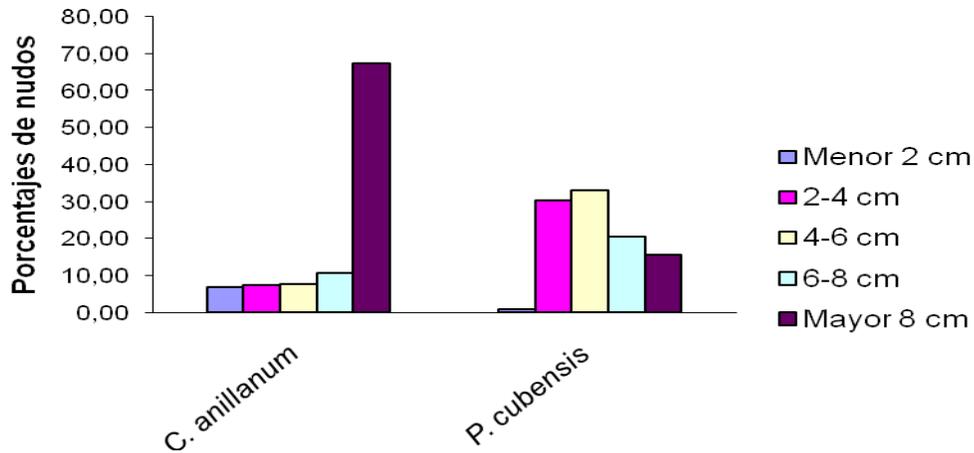
### **Presencia de nudos**

Se observó en la tabla 11 que los mayores valores de los nudos lo tiene la especie *Calophyllum antillanum* Britt., producto que esta especie tiene una alta ramificación y al no realizarse los tratamientos silviculturales adecuados, la propia especie tiene que hacer su poda natural, quedando muchas veces las huellas en el fuste. Para *Pino cubensis* Griseb. se observan valores más pequeños. Ambas especies tienen una desviación típica y un error estándar aceptable.

**Tabla 11.** Resumen estadístico de la presencia de nudos (%) en ambas especies.

<b>Especies</b>	<b>Media %</b>	<b>Mín. %</b>	<b>Máx. %</b>	<b>desv. Típica</b>	<b>Error Estándar</b>
<i>Pino cubensis</i> Griseb.	26,43	2,08	79,17	19,65	2,00
<i>Calophyllum antillanum</i> Britt.	39,91	4,86	81,25	16,42	1,98

Como se observa en la figura 18, los nudos mayores de 8 cm, son los más frecuentes para la especie *Calophyllum antillanum* Britt. con mayor porcentaje de las trozas. Para *Pino cubensis* Griseb. se comportó diferente, encontrando los mayores porcentajes de nudos con diámetros entre 4 y 6 cm.



**Figura 18.** Porcentaje de la cantidad de nudos de las diferentes especies.

Estos resultados pudieran ser por la característica de cada especie, y los tratamientos a los que han sido sometido, de ahí la importancia de aplicar los tratamientos silviculturales en tiempo y forma.

Este defecto de la madera presenta serios inconvenientes para su empleo a la hora de aserrar la madera ya que es más difícil de trabajar. Si se utilizan máquinas estas desprenden fibras próximas a los nudos y forman asperezas. Los nudos, además de producir un mal efecto visual, disminuyen la resistencia de la madera coincidiendo con lo planteado por Alvarez *et al.* (2013). Este defecto afecta principalmente la calidad de la madera aserrada.

#### **4.3. Análisis de los defectos de la madera en bolo en los aserraderos**

En la Norma Ramal 006 (1980) y Norma Ramal 304-013 (1985) de especificaciones de calidad de la madera en bolo; se hacen referencia a la clasificación del producto, pero no se establecen categorías de calidad, ya que la misma posee calidad única, la que viene dada por la eficiencia con que se realice el proceso desde el corte hasta los depósitos que se establecen en cada unidad de producción y clasificación por surtidos.

Según las experiencias desarrolladas por Egas *et al.* (2001) y Álvarez *et al.* (2005), cuando establecen que uno de los principales elementos que inciden sobre la eficiencia del proceso de aserrado es la calidad de las trozas; por lo que es muy importante determinar el cumplimiento de las normas vigentes relacionadas con la calidad de las trozas.

Por otra parte, los productos forestales obtenidos se caracterizan por una gran dispersión por concepto de calidad, ya que es normal encontrar en la madera la presencia de nudos, curvatura del fuste, tableadura, fendas, acebolladuras, conicidad; así como excentricidad, que decididamente afectan la calidad del producto y del proceso de transformación. En este aspecto coincidimos con Egas *et al.* (2001), Álvarez *et al.* (2003), Matos (2004) y Leyva *et al.* (2015); cuando plantean que la calidad de la madera en rollo es el parámetro muy importante a tener en cuenta durante el proceso de aserrado.

Por todo ello, planteamos que se debe reestructurar las normas vigentes en relación para la madera en bolo, que tengan en cuenta los defectos que en ellos existen; determinando las dimensiones que cada grupo de categoría podría asimilar; con lo cual indiscutiblemente se crearán grupos de categoría; que facilitarán la correcta planificación del proceso de aserrado ya que es indiscutible que maderas con clasificaciones inferiores que son productos de diferentes anomalías sus resultados lógicamente tienen que ser menores que aquellas trozas que tengan un reducido grupo de defectos y que la magnitud de los mismos sea mínima.

Por otra parte, debemos tener en cuenta el factor monetario, ya que cada grupo de categoría debe tener su precio que se corresponde con la calidad real del producto; aspecto este que indudablemente contribuirá a tener una real idea de la ficha de costo para la producción de los diferentes productos maderables; lo que posibilitará en su conjunto a optimizar el proceso de producción.

#### 4.4. Evaluación del rendimiento

##### Determinación del volumen de la madera en bolo

Se realizó un análisis estadístico de Anova para ver si existía diferencia entre los tres métodos más usados para determinar al volumen de madera en bolo según Huber, Smalian y Newton como se muestra en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12.** Análisis de Anova para determinar el volumen de *Calophyllum antillanum* Britt.

<b>Parámetros</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Error</b>
V Huber	,156155a	,0731819	,0177492
V Smalian	,184639a	,0756107	,0183383
V Newton	,184841a	,0737542	,0178880
Media	,175212		
F	,841		
Sig.	0,437		

Valores de  $p \leq 0.05$  indican diferencias estadísticas significativas para un 95% de probabilidad, letras diferentes difieren significativamente.

**Tabla 13.** Análisis de Anova para determinar el volumen del *Pino cubensis* Griseb.

<b>Parámetros</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Error</b>
V Huber	,627455a	,4081364	,0680227
V Smalian	,627455a	,4774780	,0795797
V Newton	,640645a	,4162844	,0693807
Media	,666347		
F	,603		
Sig.	0,549		

Valores de  $p \leq 0.05$  indican diferencias estadísticas significativas para un 95% de probabilidad, letras diferentes difieren significativamente.

Se puede aplicar cualquiera de los tres métodos para determinar el volumen, pero se seleccionó la fórmula de Newton 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.

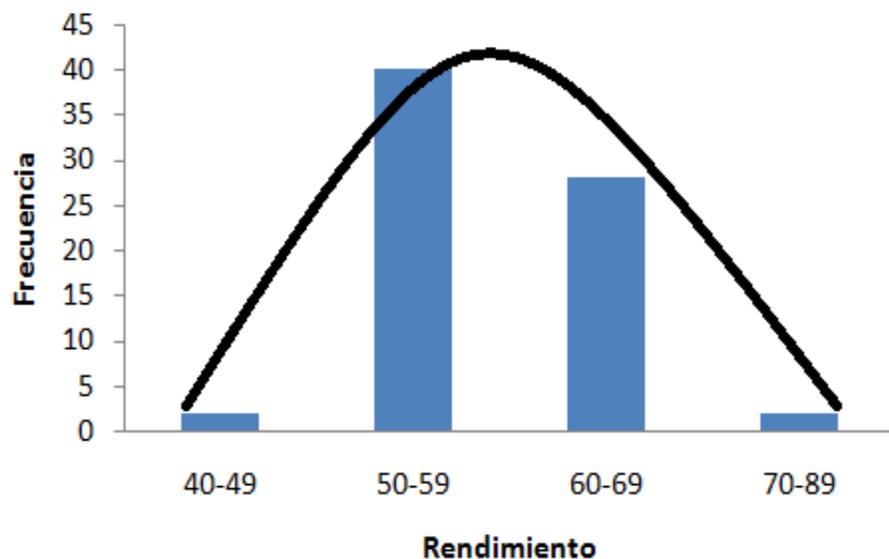
Cailliez (1980) plantea que esta fórmula de Newton hace un análisis de las cuatro formas geométricas generales, a las que se pueden corresponder los fustes o las distintas partes del fuste de los árboles: cilindro, paraboloides, cono y neiloide, donde la fórmula de Huber subestima el volumen real para 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.

Resultados similares a los obtenidos por Leyva *et al.* (2019) y Leyva (2020) para estimar el volumen comercial de *Samanea Saman* (JACQ.) MERR. y Castillo *et al.* (2020) para el *Pinus cubensis* en el aserrío Omar Ranedo Empresa Agroforestal Guantánamo.

### **Determinación del rendimiento**

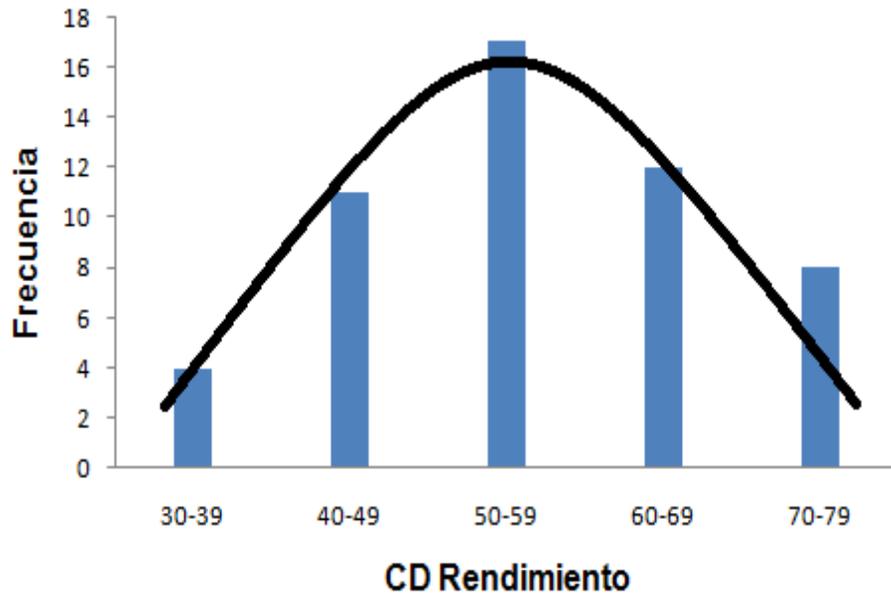
En la figura 19 se observa el histograma de frecuencia del rendimiento del *Calophyllum antillanum* Britt., donde se observa que varía desde 40% con frecuencia muy baja hasta 85% con media de 59,56%. Los valores observados siguen una distribución normal observando una campana de gaus.

Resultados semejantes reportó (González, 2000) según la media nacional para latifolias (58,2%) y muy superiores a los obtenidos específicamente en Baracoa con una media de 39,2%, clasificándolos en aquel momento como los peores resultados a nivel nacional. Además Leyva *et al.* (2019) para *Samanea saman Jacq.* obtiene en el aserrío de San Justo un rendimiento de 52,8%. Esta diferencia pudo estar determinada por la tecnología utilizada ya que en Cayo Güin existe un aserrío con una tecnología española más moderno y automatizado.



**Figura 19.** Histograma de frecuencia del rendimiento obtenido de *Calophyllum antillanum* Britt. en el aserio de Cayo Güin.

Al determinar el rendimiento del *Pinus cubensis* como se muestra en la figura 20 los valores oscilan entre un 35% a un 75%, con una media de 55,5%. Los valores que con menos frecuencias aparecen son los de menor y mayor rendimiento, y los más frecuentes los valores medios, siguiendo una distribución normal observando una campana de gaus.



**Figura 20.** Histograma de frecuencia del rendimiento obtenido de *Pino cubensis* Griseb. en el aserio de Cayo Güin.

Resultados similares a los obtenidos por Leyva *et al.* (2017) para el *Pinus cubensis* en Guantánamo y Nájera *et al.* (2011) con *Pinus sp* en México, donde plantea que, al aserrar las trozas sin clasificación, ni definición exacta de un modelo de corte para cada clase diamétrica produce un bajo aprovechamiento de la troza lo que propicia mayor generación de subproductos y residuos del proceso.

#### **4.4.1. Influencia de los defectos de la madera en bolo en el rendimiento de la madera aserrada**

Al analizar la influencia que tienen los defectos en el rendimiento de la madera aserrada se obtuvieron las siguientes ecuaciones validadas por los modelos matemático que se muestran en la tabla 14.

La probabilidad obtenida para determinar los modelos matemáticos en los diferentes aserríos es inferior a 0,01% para un nivel de confianza de 99% por lo que existe una relación entre la variable dependiente e independiente altamente significativa. Además la probabilidad de cada una de las variables independiente es también

inferiores a 0,01% para un 99% de confiabilidad, por lo que cada una influye significativamente en el rendimiento.

**Tabla 14.** Modelos matemáticos obtenidos para estimar el rendimiento en ambas especies.

Aserriós	Ecuación	R <sup>2</sup>	E
<i>C. antillanum</i>	$R = 31,7612 * C + 9,14529 * CF.$	90 %	3,56
<i>P. cubensis</i>	$R = -4,46053 T + 4,78936 Cu + 67,2177 CO$	95 %	4,69

Leyenda: R= Rendimiento; T=Tableadura; Cu=Curvatura; Co= Conicidad; R<sup>2</sup>= Coeficiente de correlación; E= Error de estimación

Las variables que más influyen son la tableadura, la curvatura del fuste y la conicidad para el *P. cubensis* con un coeficiente de determinación de 95% y con un 90% para el *C. antillanum* esas mismas variables excepto la tableadura. La conicidad es la variable que más influye con un coeficiente de 67,21 para el *P. cubensis* y 31,78 *C. antillanum*. Estos resultados se corroboran con los planteamientos hechos por Matos (2004), donde plantea que la conicidad de las trozas es la variable de mayor incidencia sobre los bajos rendimientos de la madera aserrada.

Además Nájera *et al.* (2011), encontraron en aserraderos de la región El Salto, Durango, una tendencia que en la medida que aumenta la conicidad disminuye el rendimiento. Por lo que la utilización inadecuada de las trozas va a influir negativamente en la eficiencia económica de la producción de la madera aserrada.

Manhiça *et al.* (2012) plantean que la influencia que ejerce la conicidad de las trozas en el rendimiento es debido a que las primeras piezas aserradas, después de retirar las costeras, siempre presentan una forma irregular y que, para cuadrarlas, generalmente, se reducen en anchos y largos, lo cual genera un mayor volumen de tiras y recorte, teniendo de este modo rendimientos relativamente bajos en algunas categorías diamétricas o en el rendimiento general del aserradero.

## 4.5. Análisis de la calidad dimensional de la madera aserrada

### 4.5.1. Determinación del porcentaje de contracción

Como se muestra en la tabla 15 el por ciento de contracción para el *Pinus cubensis* Griseb. es pequeño. Resultados similares fueron obtenidos por Álvarez *et al.* (2005) para el *Pinus caribaea* var con 4,60%.

Para *Calophyllum antillanum* Bisse la contracción es pequeña también, resultados similares fueron obtenidos por Ibáñez *et al.* (2007) con 3,7%.

El porcentaje de contracción es el resultado de la disminución del volumen de la madera y estas especies al contraerse poco, producen fendas pequeñas y pueden secarse antes del aserrado.

**Tabla 15.** Resultados del porcentaje de contracción de las especies estudiadas.

Especies	% de contracción tangencial	Clasificación
<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	4,12	Pequeña
<i>Calophyllum antillanum</i> Bisse	3,14	Pequeña

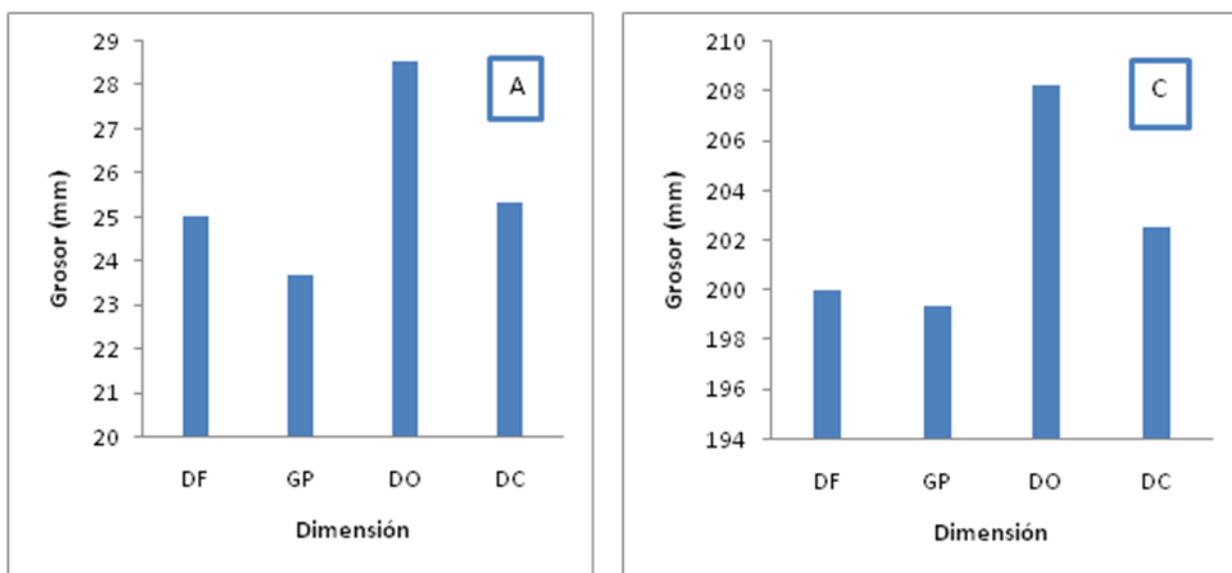
### 4.5.2. Control dimensional de la madera aserrada

De acuerdo con los valores de grosor promedio para *Calophyllum antillanum* como se muestra en la figura 21, para los surtidos de 25mm (A) y 200mm (C) se corta a 23,66mm y 199,37mm respectivamente, o sea por debajo de las dimensiones finales preestablecidas, ya que el corte actual no satisface las necesidades del mercado. La madera se debe de cortar a una dimensión óptima de 28,55mm para el surtido de 25mm y 208,28mm para el surtido de 200mm y compensar las pérdidas de volumen debido a la contracción y la variación del aserrado.

Según Norma Ramal 43-17/1982 plantea que para cortar un surtido con dimensión de 25mm la tolerancia debe ser de 5mm y para 200mm se debe cortar a con una

tolerancia de 10mm y en ninguno de los casos ocurre esto, o sea no se cumple con los parámetros establecidos.

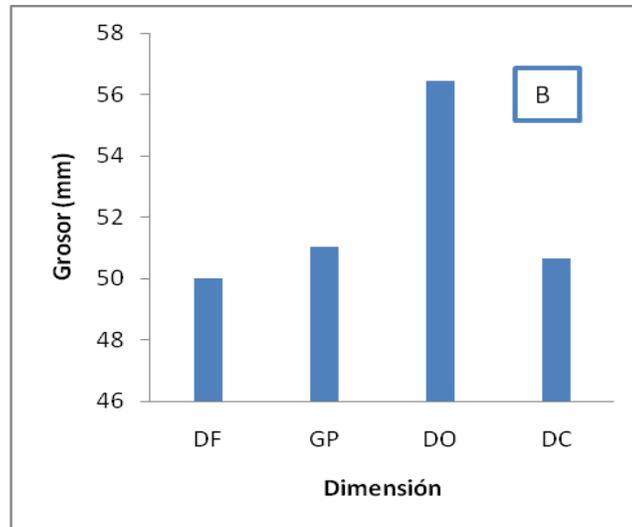
Estos resultados difieren a los reportados por Zavala (1981) y por Álvarez *et al.* (2005) en los establecimientos de Rigo Fuentes; en el Francisco Donatien y en el Álvaro Barba ya que la madera se corta por encima de las dimensiones finales preestablecidas, aunque no lo suficiente para compensar las pérdidas de volumen debido a la contracción y a la variación de aserrado.



**Figura 21.** Dimensión óptima de la madera aserrada del *Calophyllum antillanum* para el surtido 25 mm (A) y 200 mm (C).

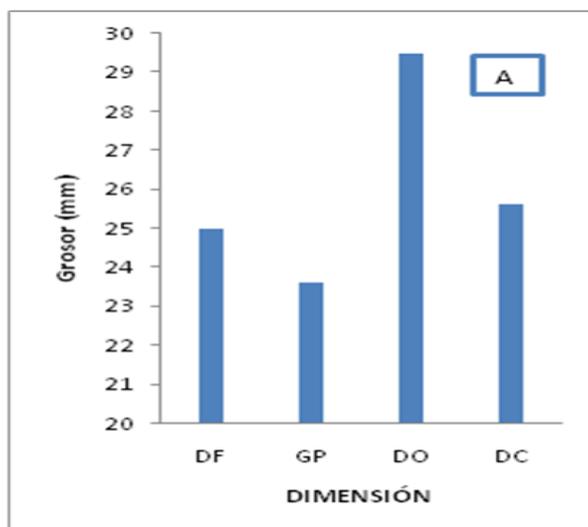
Para el surtido de 50mm la madera se corta a 51,02mm por encima de las dimensiones preestablecidas, aunque no lo suficiente para compensar las pérdidas de volumen debido a la contracción y a la variación de aserrado como se muestra en la figura 22. Según la dimensión óptima se debe cortar a 56,4mm y si se pudieran producir piezas sin variación de aserrado, se debería cortar a 50,64mm. Según la Norma Ramal 43-17/1982 plantea que se debe cortar para el surtido 50mm a una tolerancia de 7mm y no se cumple con los parámetros establecidos.

A medida que la madera alcanza menor porcentaje de humedad en el área de almacenamiento la dimensión óptima de corte es mayor ya que el agua retenida disminuye y aumenta el porcentaje de contracción.



**Figura 22.** Dimensión óptima de la madera aserrada del *Calophyllum antillanum* para el surtido 50mm (B).

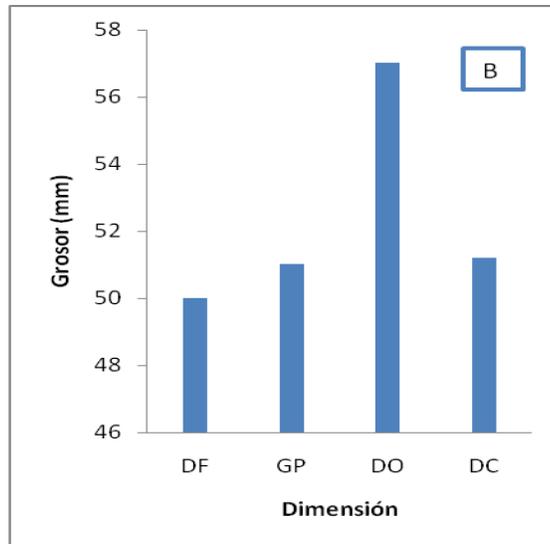
Se observa en la figura 23 los valores de grosor promedio de las piezas muestreadas del *Pinus cubensis* Griseb. para el surtido de 25mm y 50mm. Para 25mm la madera se corta a 23,6mm por debajo de las dimensiones finales preestablecidas ya que el corte actual se debe realizar a una dimensión óptima de 29,46mm y no compensa las pérdidas de volumen debido a la contracción y la variación del aserrado.



**Figura 23.** Dimensión óptima de la madera aserrada del *Pinus cubensis* para el surtido 25 mm (A).

Estos resultados no son semejantes a los reportados por Álvarez *et al.* (2005) para los surtidos de 13; 50 y 100cm en el aserrío Rigo Fuentes y para los surtidos de 13; 50, 75 y 100mm en el aserrío de Francisco Donatien. También por lo obtenido Leyva *et al.* (2020) para *Samanea saman* para los surtidos de 25 y 50mm en el aserrío Omar Ranedo en la provincia de Guantánamo, ya que la madera se corta por encima de la dimensión óptima, aunque no lo suficiente para compensar las pérdidas de volumen debido a la contracción y a la variación de aserrado.

Para el surtido de 50mm como se muestra en la figura 24, la madera se corta a 51,02mm por encima pedido, pero por debajo de la dimensión óptima, siendo de 57mm y no compensa las pérdidas de volumen debido a la contracción y a la variación de aserrado. Según la Norma Ramal 43-17/1982 plantea que se debe cortar para el surtido 50mm a una tolerancia de 7mm. Resultados semejantes a los obtenidos por Leyva *et al.* (2017) para el *Pinus cubensis* en Guantánamo para los surtidos de 25 y 50mm, pudiendo estar determinado por el tipo de sierra utilizada para el procedimiento de la misma.



**Figura 24.** Dimensión óptima de la madera aserrada del *Pinus cubensis* para el surtido 50 mm (B).

#### 4.5.3. Variación del proceso de aserrado de *Pinus cubensis* y *Calophyllum antillanun*

En la tabla 16 se presenta los resultados relacionados con la variación total de aserrado; determinándose que la variación cambia de un surtido a otro, siendo notablemente mayor para el surtido de 50 y 200mm en las dos especies con valores que oscilan entre 3,52 y 3,48mm. Resultados similares obtenidos por Álvarez *et al.* (2005) para el aserrío de Francisco Donatien y Álvaro Barba en Pinar del Río para el *Pinus caribaea* var.

Para el surtido de 25mm la variación total es de 1,96 para *Calophyllum antillanun* y de 2,30 para *Pinus cubensis*, resultados similares a los obtenidos por Álvarez *et al.* (2005) para el *Pinus caribaea* en los establecimientos Rigo Fuentes y Álvaro Barba, Leyva *et al.* (2017) para *Pinus cubensis* en Baracoa y Leyva (2020) para *Samanea saman* en el Aserrío Omar Ranedo, valores se acercan a los encontrados por Zavala (1981) en diferentes aserraderos mexicanos (1,42 – 2,82mm), pero sin embargo se encuentra ligeramente por encima de los valores 1,14 – 1,75mm reportados por Steele *et al.* (1992) en aserríos norteamericanos.

**Tabla 16.** Variación del proceso de aserrado *Calophyllum antillanun* y *Pinus cubensis*.

Parámetros	<i>Calophyllum antillanun</i>			<i>Pinus cubensis</i>	
	25mm	50mm	200mm	25mm	50mm
Desviación estándar dentro de las piezas, mm	1,51	1,95	3,11	1,94	1,95
Desviación estándar entre piezas, mm	1,24	2,93	1,54	1,31	2,93
Desviación estándar Total	1,96	3,52	3,48	2,30	3,52

Como es lógico la gran variación de corte en el aserrío que se manifiesta en los surtidos 25, 50 y 200mm es resultado de las variaciones excesivamente grandes que ocurren dentro de las piezas y entre piezas.

La gran variación de grosor dentro de las piezas pudiera ser no solo a las desviaciones excesivas en la hoja de sierra respecto a su trayectoria normal, sino a la deficiente alineación de las escuadras del carro, lo que propicia la obtención de todas las piezas interiores (piezas pegadas a las escuadras del carro) con notable defecto de cuña hacia una sola dirección y de piezas exteriores (piezas alejadas de la escuadra del carro) libres o aleatorias afectadas por este defecto hacia una u otra dirección. Además al carro le falta un gancho para evitar el movimiento debido a la fuerza que ejerce la sierra en el bolo de madera, y como es lógico para el surtido de 200mm existe más desviación que para los surtidos 25 y 50mm.

La gran variación de grosor que se observa entre piezas, pudiera ser a las imprecisiones cometidas por el aserrador que en muchas ocasiones proyecta esquemas de cortes que tienden a subdimensionar o a sobredimensionar las piezas

interiores, las cuales llegan a alcanzar grosores actuales de 10mm por encima o por debajo del grosor promedio. En el surtido 25mm y 200mm la precisión en la asignación de dimensiones actuales es relativamente mayor encontrándose ente 1, 24 y 1,54mm, lo cual explica una menor variación entre piezas, a pesar de no cumplir con los requerimientos del mercado. En el surtido de 50mm en ambas especies es igual a 1,53.

Según Álvarez *et al.* (2005) plantean que las causas fundamentales que influyen en el control de calidad son las siguientes: Incorrecta tensión del elemento de corte, recalcado demasiado pequeño, inadecuada velocidad de avance en relación a la forma y capacidad del diente, guías deterioradas de la sierra o alineamiento incorrecto de ellas, serrín y resina en los volantes de la máquina, falta de limpieza, balanceo incorrecto de los volantes o rodamientos en mal estado, mal alineamiento de los volantes, inestabilidad de las ruedas del carro de alimentación y falta de alineamiento del carro y los rieles o cadena de alimentación.

Por otra parte Leyva *et al.*(2017) plantea que los aserríos móviles tienen mayor control dimensional de la madera aserrada debido a que la variación total del proceso fue menor, debido al resultado de las variaciones que ocurre dentro y entre las piezas, sin embargo, en el aserrío fijo de Cayo Güin, se demuestra que el sistema de aserrado está fuera de control ya que los esquemas de cortes tienden a subdimensionar o a sobredimensionar las piezas interiores y, por lo tanto, es necesario realizar un análisis del proceso de aserrado teniendo en consideración tanto la materia prima, como las maquinarias utilizadas.

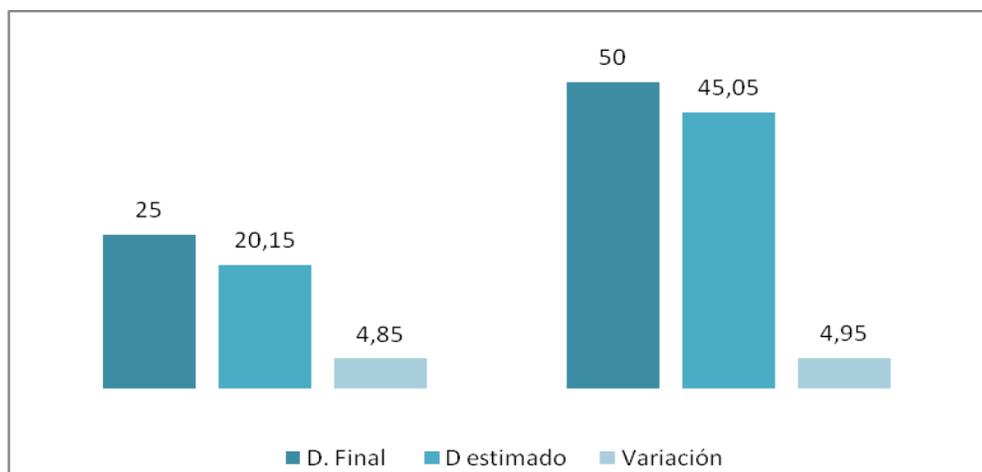
Analizar las dimensiones de la madera aserrada es fundamental para lograr una mayor eficiencia en la industria forestal coincidiendo con Zhofre (2015) donde plantea que el uso de Software son herramientas muy valiosas que todas las empresas forestales en los aserraderos y se deberían implementar para optimizar el rendimiento de madera aserrada.

Los procesos de control estadísticos de tiempo real en aserríos es una necesidad

para las empresas en Latinoamérica para mejorar los ingresos y tal vez lo más importante disminuir la pérdida de madera. Con la aplicación del control de calidad se disminuye la extracción de madera de los bosques y plantaciones, porque se trabaja en forma integral desde el árbol, troza y más importante en el aserrío, prediciendo los grosores de corta, velocidades de corta y tipos de corte.

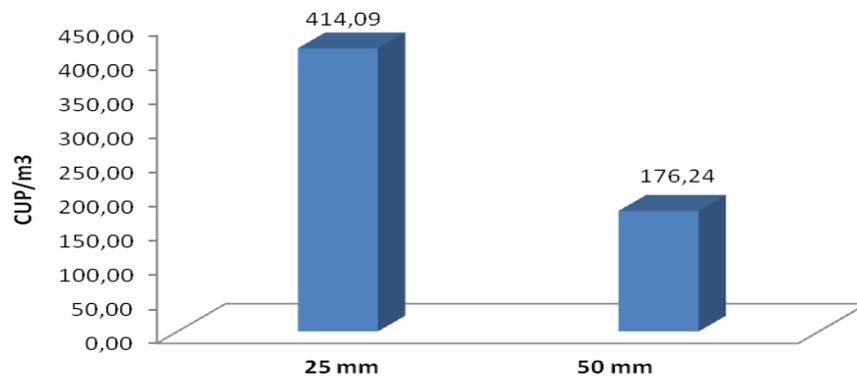
#### 4.6. Eficiencia productiva y económica según la calidad dimensional de la madera aserrada

En la figura 25 se observa la variación del grosor para *Pinus cubensis* para el surtido de 25 y 50 mm. Para estos resultados se tuvo en cuenta la dimensión final y la dimensión estimada que la madera puede llegar a alcanzar para obtener un 18 por ciento de humedad, clasificada Según Álvarez *et al.* (2013) como una madera comercialmente seca.



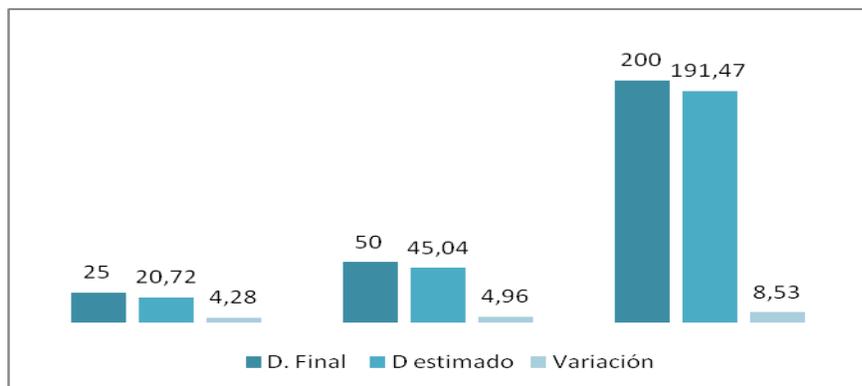
**Figura 25.** Variación del grosor del *Pinus cubensis* en diferentes surtidos

La madera al no aserrarse teniendo en cuenta la dimensión óptima, la empresa sobreestima la producción y está vendiendo un producto que no cumple con los estándares de calidad y obteniendo por cada metro cúbico \$ 414,09 para el surtido de 25 mm y \$ 176,24 para el surtido de 50 mm (Figura 26).



**Figura 26.** Eficiencia económica del *Pinus cubensis* a partir de la dimensión final.

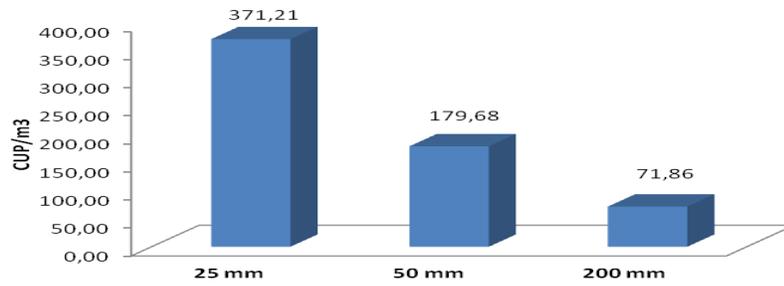
En la figura 27 se muestra la variación del grosor de *Calophyllum antillanun* para que pueda llegar a alcanzar 18 % de humedad. Esta calidad dimensional es de vital importancia para lograr una mayor eficiencia económica en la empresa. Porque el objetivo es obtener un producto con optima calidad dimensional que satisfaga las exigencias del cliente.



**Figura 27.** Variación del grosor del *Calophyllum antillanun* para los diferentes surtidos.

Al igual que el *Pinus cubensis* para la madera aserrada de *Calophyllum antillanun* al no aserrarse teniendo en cuenta la dimensión óptima, la empresa sobreestima la producción y está vendiendo un producto que no cumple con los estándares de calidad y obtiene por cada metro cúbico \$ 371,21 para el surtido de 25mm, \$ 179,68

para el surtido de 50mm y \$ 71,86 para el surtido de 200mm como se muestra en la figura 28.



**Figura 28.** Eficiencia económica de *Calophyllum antillanun*.

## V. CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo en el aserrío de Cayo Güin en el proceso de aserrado de las trozas de las especies *Calophyllum antillanum* y *Pinus cubensis* se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- ❖ Los principales defectos encontrados en la madera de ambas especies son, la conicidad, excentricidad, curvatura del fuste, tableadura, índice de fendas y nudos, los mismos afectan la calidad y el rendimiento de la madera aserrada, y no se tienen en cuenta en las normas de clasificación de la madera en bolo, ya que no se clasifica por categoría en A, B y C según la calidad de las trozas.
- ❖ Se obtuvo un rendimiento para *Calophyllum antillanum* de 58,2% y para *Pinus cubensis* 55,5%, donde la conicidad de las trozas es el defecto más influyente. Además el aserrado de las trozas se encuentra fuera de control, ya que los esquemas de cortes tienden a subdimensionar o a sobredimensionar los diferentes surtidos, no cumpliendo con la dimensión óptima de las maderas para compensar las pérdidas debido a la contracción de la madera y la variación total de proceso.
- ❖ Para las dos especies estudiadas la empresa sobreestima la producción en pesos y está vendiendo un producto que no cumple con los estándares de calidad dimensional de la madera aserrada.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Reestructurar las normas de clasificación de la madera en bolo, debido a la incidencia de los defectos de las trozas en la calidad y el rendimiento de la madera aserrada.
2. Realizar estudios que demuestren la influencia de la calidad de los árboles en pie en el rendimiento y calidad de la madera aserrada.
3. Realizar un análisis en el proceso de aserrado la calidad dimensional de la madera aserrada debido a la variación del proceso entre y dentro de las piezas.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Akwasi, O. A. 2004. En busca de calidad. Actualidad Forestal Tropical. Volumen 12 (1). P 6.
- Aldana, E. 2010. Medición Forestal. La Habana: Editorial: Félix Varela. ISBN: 978-959-07-1321-7.
- Álvarez L. D., Betancourt F. y Gonzales C. I. 2013. Tecnología de la madera. Editorial Félix Varela. España. P 159.
- Álvarez, D. L. Egas, A. F.; Cuador Q. G.; Domínguez A. G.; García J. M. D.G. y Hernández A. 2005. Control de la calidad en los aserraderos. Revista Baracoa. Volumen 24 (1). P 49.
- Álvarez, D; Egas, F. A, Estévez, I; García, J. M. 2003. Análisis matemático para elevar la eficiencia en los aserraderos. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. No. IX. PP 79-99.
- 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.
- Banco Mundial, 2016. Los bosques generan empleos e ingresos. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/forests/brief/forests-generate-jobs-and-incomes>. Consultado el 2 de febrero 2020.
- Bertrand I. & Prabhakar M. 1990. Control de calidad. Teoría y aplicaciones. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid. P 124.
- Betancourt, A. 1987. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Editorial Científico – Técnica. PP 280-289.
- Brown, T. D. 1986. Lumber size control. Forestry Business. College of Forestry. Oregon State University. USA. P 16.

- Cailliez, F. 1980. Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento V 22 (1). Estimación del Volumen. Estudio FAO. Montes. Roma. 91 p.
- Carpio, C. C. 2000: Producción y Consumo de los Productos Forestales en Cuba. Cuba Forestal. Volumen 1(1). P 19.
- Casado, M. M. 1997: Tecnología de las industrias forestales. Tomo I. Serie Forestal 26. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. P 191.
- Castillo H. N, Leyva M. I. y Lores P. Y. 2020. Tabla de volumen comercial para *Pinus cubensis* en el aserrío “Omar Ranedo, Empresa Agroforestal de Guantánamo. Revista Hombre, Ciencia y Tecnología. ISSN: 1028-0871 Vol. 24, No. 4, pp 66-73.
- Castro A.; Molina F. R.; Rojo A. A.; Sánchez F. R. 2007. Manual de selvicultura del Pino Radiata en Galicia, 2007: Disponible en <http://www.agrobyte.com/publicaciones/pinoradiata/indice.html>. consultado 28/5/2010
- Denig, J. 1990. Control de la calidad en aserraderos de *Pino* sp. del sur de North Carolina Cooperative Extension Service. 47 pp.
- 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.
- Egas, A, F. 1998. Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 100 pp.

- Egas, F. A, Álvarez, D Estévez, 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.
- Fahey, T. D. & Sachet, J. K. 1993 Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. 18 pp.
- 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 4de octubre 2019.
- Fleming, T. 1976. Modifying a mill to fit today's logs. In proceedmys of the sixth sawmill climec. PP 73-85.
- García Esteban, L.; A. Güindeo Casasús; C. Peraza Oramas y P. 2002. La madera y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa, ATIM, Madrid, 2002. P 272.
- García, Juan 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 M.Sc. Osmani González. Pinar del Río. P 125.
- García, L; Güindeo, A; Peraza, C & De Palacios, P. 2002. La madera y su tecnología. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Multiprensa. ATIM. Madrid. 322 p.
- González C. F. E. 2013. Evaluación de los indicadores de productividad de la línea de corte de trozas de grandes dimensiones de *Pinus caribaea* var *caribaea* en el Aserrío Álvaro Barba Machado perteneciente a la Empresa Forestal Integral Minas (EFI Minas). Tesis en opción al Título Académico de Master en Ciencias Forestales. Mención Aprovechamiento Forestal.

Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca" Facultad de Forestal y Agronomía. 91 P.

- González, Z. 2000: Dimensiones Económicas de los Rendimientos de la Industria del Aserrado en Cuba. Cuba Forestal. Volumen 1(1). PP 27-29. Google "Defectos de la madera" Disponible en <http://www.interelectron.com/apuntes/madera.doc>. Consultado el 20/3/05.
- Ibáñez D. A, Henry T. P. P, y García M. M. v. 2007. Estudio de las Propiedades Físicas- Mecánicas de cinco especies Maderables del Macizo Montañoso Sagua- Nipe- Baracoa. Revista Forestal Baracoa vol. 26(1). La Habana. pp 9-17.
- Johnson H 1996. La Madera. Editorial BLUME, Barcelona. P 48.
- Kastedt, P. y M. Mesa. 1972. Descripción anatómica del xilema de los cuatro pinos endémicos de Cuba". Baracoa, 5(3-4): 24-47.
- 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., Leyva M. I. y S. Gil. Y. 2020. Modelos matemáticos para determinar la Influencia de los defectos de la madera en bolo en el rendimiento del *Pinus cubensis* en la Empresa Agroforestal Baracoa. Revista *Hombre, Ciencia y Tecnología*. Vol. 24. No. Especial. ISSN: 1028-0871.
- Leckoundzou, A. 2008. Influencia de diferentes variables dendrométricas y calidad de árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Tesis inédita para optar por el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 2008.
- Leyva M. I., Álvarez L. D., La O M. Y., Céspedes C. G. y, Segurado G. Y. 2020. Rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Samanea*

saman Jacq. en el Aserradero de la Empresa Agroforestal Guantánamo. Rev cubana ciencias forestales, Pinar del Río, v. 8, n. 3, p. 507-518.

- Leyva M. I., Segurado G. Y., Gómez M. Y., y La O M. Y. 2015. Evaluación de las normas de clasificación de la madera en bolo en aserríos. Revista “Hombre, Ciencia y Tecnología” ISSN: 1028-0871 Vol. 19, No. 4. 25-31 pp.
- 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.
- Leyva R. Y. 2020. Proceso de transformación mecánica de *Samanea saman* Jacq en el aserrío Omar Ranedo de la Empresa Agroforestal Guantánamo. Memoria escrita en opción al título académico de Máster en Ciencias Forestales. Mención Aprovechamiento Forestal. Universidad de Guantánamo. 92P.
- Leyva R. Y., Leyva M. I. y Lores P. Y. 2019. Modelos matemáticos para estimar el volumen comercial de *Samanea Saman* (JACQ.) MERR. En el aserrío Omar Ranedo Empresa Agroforestal Guantánamo. Libro de Innovación Tecnológica, Vol. VIII, Cap. Ciencias de la Agricultura con ISBN: 978-959-7225-56-0. Y Obra completa en Opuntia Brava con ISBM: 978-959-7225-26-3.
- Manhica A. A.; Pereira Da Rocha, M, Timofeiczuk Junior, R. Rendimiento no desdoble de Pinus sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeño porte. Floresta, 2012. 42(2), 409-420.
- Matos G. R. 2019. Patrimonio de la Empresa Agroforestal de Baracoa. Guantánamo. Comunicación personal.
- Matos, Griselda. 2004. Clasificación de la madera en rollo de latifolias y su importancia en el proceso de transformación mecánica. Tesis presentada en

opción al Título Académico de Master en Ciencias Forestales. Mención de Aprovechamiento Forestal. Universidad de Pinar del Río. P 58.

- MINCEX, 1998. "Censo Nacional de Aserraderos", La Habana ONE. P 16.
- Ministerio de Finanzas y Precio. 2020. Nuevo Listado de Precio Madera Aserrada. Gaceta 70, Resolución 312. República de Cuba. 7P.
- 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.
- Norma Ramal 006. 1980. Especificaciones de calidad de la madera en bolo. Cuba.
- Norma Ramal 304-013. 1985. Especificaciones de calidad de la madera en bolo. Cuba.
- Norma Ramal 43-17. 1982. Clasificación de la madera aserrada. Especies coníferas. Vigente a partir de: Julio 1983.
- Okay, R. 2001. 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.
- Sablón, A 1987. Dendrología, Editorial Pueblo y Educación. La Habana. PP 100 -105.
- Servicio Estatal Forestal Nacional (SEF). 2016. Conferencia Sobre la Situación Forestal en Cuba. II Simposio Internacional. Pinar Del Río, Cuba.
- Servicio Estatal Forestal Nacional (SEF). 2021. Informe sobre la dinámica forestal 2020. Ministerio de la Agricultura. Guantánamo, Cuba.

- Steele, P, H. et al. Direct comparison of processing technology in hardwood and softwood sawmills. In: Proceedings of Structural Panels and Composites Lumber Symposium. USA. 1992.
- Todoroki, C 1995. Log rotation effect on carriage sawing of sweep logs. New Zealand Journal of Forestry Science 25 (2): 246-255
- 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 Cala, Y., González Pérez, M, M., Ramírez Cruz, Z., Muñoz González, R. 2018. El proceso de innovación en el sector forestal cubano y su contribución a la economía nacional. Revista cubana de Ciencias Forestales. Vol. 6(2): Disponible en <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/329/> Consultado 23 de Octubre 2020. pp 146-161.
- Vignote, S. e Isaac Ma. 2006. Tecnología de la Madera. Ediciones Mundi-Prensa, 678 p. ISBN: 84-8476-263-7
- Vignote, S. y Jiménez, P. F. J. 1997. Tecnología de la madera. Ed. MAPA-Mundi-Prensa. Madrid. P 242.
- Willits, S. Fahey, T.D. 1991. Sugar pine utilization. A30 year transition--USDA. P 14.
- Woofdin; R 1978. Ponderosa price lumbr recovery young growth in Northern California –USDA. Forest service Research paper PNW -237. Pacific Northwest research station. Portland. Oregon. P13.
- Zavala, D. 1981. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada.
- 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-transformacion-mecanica-madera/control-calidad-procesos-transformacion-mecanica-madera.shtml#ixzz46r9cFzMS>. 15/4/2016.