

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

FACULTAD AGROFORESTAL

Memoria escrita en opción al Título Académico de

Máster en Ciencias Forestales

Mención Aprovechamiento Forestal

**Proceso de transformación mecánica de *Samanea saman* Jacq en el aserrío
Omar Ranedo de la Empresa Agroforestal Guantánamo**

Autor: Lic. Yaimé Leyva Ros

2020

Guantánamo

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

FACULTAD AGROFORESTAL

Memoria escrita en opción al Título Académico de

Máster en Ciencias Forestales

Mención Aprovechamiento Forestal

**Proceso de transformación mecánica de *Samanea saman* Jacq en el aserrío
Omar Ranedo de la Empresa Agroforestal Guantánamo**

Autor: Lic. Yaimé Leyva Ros

Tutor: Dr.C Yordan Lores Pérez

2020

Guantánamo

Pensamiento

Pensamiento

La tierra produce sin cesar... sí los que en ella viven quieren librarse de la miseria, cultívenla que en toda época produzca más de lo necesario para vivir. Así se basta a lo imprescindible, se previene a lo fortuito y cuando lo fortuito viene, recomienza el ahorro productivo que desarrolla la verdadera riqueza.

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria

Dedicatoria

A toda mi familia, en especial a mis padres por darme la alegría de existir y haberme ayudado en este camino que escogí, a mis hermanas por apoyarme y soportarme, a mi abuela, a mi tía Mimi, por haberme apoyado siempre en fin a todo el que siempre estuvo allí cuando lo necesité.

Agradecimientos

Agradecimientos

- ✓ *A mi tutor Yordan Lores Pérez y por estar siempre dispuestas a brindarme sus conocimientos, y ser una pieza clave en la realización de este trabajo.*
- ✓ *A todos mis compañeros del aula por haberme ayudado desinteresadamente.*
- ✓ *A los profesores de la carrera que me han apoyado en todo momento, en especial a Ibian Leyva Miguel, Yosbanis Osorio Bornot, Geiser Flores Galano, Yordanis Corona.*
- ✓ *A mis familiares y amigos.*

Resumen

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el aserrío Omar Ranedo perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo entre los meses de septiembre de 2018 a abril de 2019, con el objetivo evaluar el proceso de transformación mecánica del *Samanea saman* Jacq (Algarrobo del País) que conlleve al aumento del rendimiento y la calidad dimensional de la madera. Se caracterizó la materia prima utilizada, se determinó el modelo matemático de mejor ajuste para la construcción de la tabla de volumen comercial para luego determinar el rendimiento y la calidad dimensional de la madera aserrada. Las trozas evaluadas se caracterizan por tener un diámetro que varían desde 14cm de diámetro hasta 134cm, con una longitud que varía entre 2m hasta 8m. El grosor de corteza promedio es de 1,03cm y se puede estimar el diámetro sin corteza a partir de la siguiente ecuación $D_{sc} = -3,497 + 1,040d$. El modelo aritmético seleccionado para la construcción de la tabla de volumen fue el de doble entrada según Schumacher y Hall: $V = 0,000128 * d^{1,906} * L^{1,028}$. Se obtuvo un rendimiento de 52,8% y la madera se corta 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 que ocurren entre y dentro las piezas, por lo que se debe tener en cuenta debido a las condiciones técnicas de las maquinarias y a la habilidad del personal. La empresa sobrestima la producción en pesos por metros cúbicos de madera aserrada.

Palabras claves: rendimiento, calidad dimensional, tabla de volumen y modelo matemático.

ABSTRACT

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Omar Ranedo sawmill belonging to the Guantánamo Agroforestry Company between the months of September 2018 to April 2019, with the objective of evaluating the mechanical transformation process of *Samanea saman* Jacq (Algarrobo del País) that leads to the increase performance and dimensional quality of wood. The raw material used was characterized, the best fit mathematical model was determined for the construction of the commercial volume table to then determine the performance and dimensional quality of the sawn wood. The evaluated logs are characterized by having a diameter that varies from 14cm in diameter to 134cm, with a length that varies between 2m and 8m. The average bark thickness is 1,03cm and the diameter without bark can be estimated from the following equation $D_{sc} = -3.497 + 1.040d_{cc}$. The arithmetic model selected for the construction of the volume table was the double-entry model according to Schumacher and Hall: $V = 0,000128 * d^{1,906} * L^{1,028}$. A yield of 52,8% was obtained and the wood is cut above the pre-established dimensions, although not enough to compensate for the volume losses due to shrinkage and sawing variation that occur between and within the pieces, therefore It must be taken into account due to the technical conditions of the machinery and the skill of the personnel. The company overestimates the production in pesos per cubic meter of sawn wood.

Key words: performance, dimensional quality, volume table and mathematical model.

Índice

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA	5
2.1.	La madera	5
2.2.	Defectos de la madera	5
2.2.1.	Curvatura del fuste	5
2.2.2.	Conicidad	6
2.2.3.	Excentricidad.....	7
2.2.4.	Tableadura	7
2.2.5.	Nudos	8
2.2.6.	Fendas	8
2.2.7.	Fendas anulares o acebolladuras.....	9
2.3.	Aserraderos.....	9
2.4.	Sierras de Bandas.....	111
2.5.	Cubicación de la madera en bolo	122
2.6.	Tablas de volumen	144
2.6.1.	Modelos de perfil del fuste y tablas de surtidos	166
2.7.	Rendimiento	188
2.7.1.	Factores que inciden sobre el rendimiento volumétrico de la madera aserrada.....	188
2.8.	Calidad de la Madera	199
2.8.1	Control de la calidad de la madera aserrada	20
2.8.2	Control de dimensiones de madera aserrada	20
2.9.	Descripción de la especie Samanea Saman Jacq Merrill	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1.	Caracterización del área de trabajo	23
3.1.1.	Ubicación del área	23
3.2.	Caracterización de la materia prima	24
3.2.1.	Tamaño de la muestra	24
3.2.2.	Dimensiones de las trozas.....	24
3.2.3.	Defectos de las trozas	25
3.3.	Determinación del volumen de madera en bolo	26
3.4.	Modelos de regresión.....	27
3.4.1.	Selección del modelo	28
3.4.2.	Determinación del método más efectivo para determinar el volumen	31
3.5.	Determinación del rendimiento	31
3.5.1.	Estimación del rendimiento	31
3.6.	Determinación de la calidad dimensional de la madera aserrada	32
3.6.1.	Determinación del porcentaje de contracción	33
3.6.2.	Determinación del control de las dimensiones de madera aserrada	34
3.7.	Evaluación económica	35

IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	36
4.1.	Caracterización de la materia prima	36
4.1.1.	Tamaño de la muestra	36
4.1.2.	Estimación del diámetro sin corteza	36
4.2.	Defectos de las trozas	38
4.2.1.	Análisis de la conicidad	38
4.2.2.	Excentricidad del corazón	42
4.2.3.	Curvatura del fuste	43
4.2.4.	Tableadura	43
4.2.5.	Índice de fendas	45
4.2.6.	Presencia de nudos	46
4.3.	Cubicación de la madera en bolo	46
4.4.	Selección del modelo de mejor ajuste	47
4.4.1.	Análisis de correlación	47
4.4.2.	Ensayo de los modelos	47
4.4.3.	Relación entre el volumen estimado y el volumen real	50
4.4.4.	Tablas de volumen comercial para <i>Samanea saman</i>	51
4.5.	Determinación del rendimiento	51
4.5.1.	Estimación del rendimiento	52
4.6.	Análisis de la dimensión óptima de la madera aserrada	54
4.6.1.	Determinación del porcentaje de contracción	54
4.6.2.	Control de las dimensiones para el surtido de 25 mm	54
4.6.3.	Control de las dimensiones para el surtido de 50 mm	55
4.6.4.	Variación del proceso de aserrado del <i>Samanea saman</i> Jacq	56
4.7.	Análisis económico	58
IV.	CONCLUSIONES	60
V.	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍAS	
	ANEXOS	

Introducción

I. INTRODUCCIÓN

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, incluidas las que parten de programas de optimización de los aserraderos, hasta 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).

Los bosques a nivel mundial abarcan, según los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 3 999 mil millones de hectáreas y cubren casi 30,6% del área mundial. Cuba posee 4 093 miles de hectáreas, de ellas están cubiertos de bosques 3 241 miles de hectáreas, con 46% de protector, 31% de productor, 24% de conservación (Labrador *et al.*, 2017).

Según SEF (2016) Cuba se sitúa entre las naciones de mayor crecimiento de sus recursos forestales con una superficie cubierta de bosque de 13,4% ante de 1959, hasta alcanzar el 31,15% en el 2017 (Labrador *et al.*, 2017). Ella es considerada la isla de mayor número de especies a nivel mundial (Whittaker y Fernández, 2007).

Los estudios económicos y de ordenación forestal tienen por base el inventario del potencial forestal existente, a través de técnicas de muestreo y de biometría, donde la cubicación de árboles posibilita obtener el volumen sólido de los fustes, que asociados con las variables dendrométricas (d, h, forma) permiten generar modelos para estimar estos volúmenes, que podrán ser presentados en forma de tablas (Aldana, 2010).

Las dificultades señaladas han llevado a que los ingenieros forestales realicen la cubicación de los volúmenes de árboles ajustando modelos matemáticos preexistentes, los cuales permiten estimar el volumen comercial en función de

variables obtenidas mediante mediciones simples de una muestra de árboles (Prodan *et al.*, 1997; Cancino, 2006, Galán *et al.*, 2008 y Lores 2012).

La industria del aserrado en Cuba 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 contruidos en su mayoría en la década del 40, encontrándose equipos que poseen mambretes del siglo pasado. Los diseños son inadecuados salvo algunas excepciones (Álvarez *et al.*, 2005 y González, 2013). Por lo que en estos momentos, la industria forestal cubana desempeña un papel fundamental en torno a la solución de las necesidades de madera aserrada que exige el amplio plan constructivo (Rosete *et al.*, 2011).

Los pocos estudios realizados en Cuba en esta importante temática según Pacheco y Pacheco (1988) están relacionados solo con el análisis del comportamiento de las dimensiones de la madera aserrada mediante gráficos de control, empleando la metodología expuesta por García (1991), Álvarez *et al.* (2015) Leyva *et al.*, (2017), y no tienen en cuenta elementos tan importantes como la variación de aserrado.

El rendimiento de madera aserrada está determinado por una confusa interacción de diversas variables, como el diámetro de las trozas, su longitud, curvaturas, conicidad, calidad interna de la madera, la toma de decisiones por parte del personal del aserradero, la condición y mantenimiento del equipo de aserrío, los métodos de asierre, las dimensiones de las piezas aserradas y el tipo de especies procesadas (coníferas o latifoliadas) (Valério *et al.*, 2007 y Vital, 2008).

La eficiencia de estas industrias se evalúa a través de indicadores tales como coeficientes de rendimiento, productividad y rentabilidad (Minaya, 2006).

Para incrementar la eficiencia de conversión es el empleo de programas de control 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, cepillado y variación del corte en el aserrío (Zavala, 1991).

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 (Sundholm, 2015). Denig (1990) define que “el control de calidad no es solamente un ejercicio, sino un instrumento que une a los trabajadores de producción, los centros de máquinas, y la materia prima para aumentar las ganancias”. El análisis de la variación en grosor por medio de observaciones y mediciones periódicas se están adoptando rápidamente en la industria del aserrío (Young *et al.*, 2007).

Además el control de dimensiones al emplearse adecuadamente permite identificar y localizar problemas que se presentan en las distintas máquinas que conforman el flujo tecnológico del aserradero; así como en la operación de colocación de la troza en el carro de alimentación (Brown, 1986).

El aserrío Omar Ranedo presenta problemas como la decadencia de los equipos que allí se utilizan, la calidad de la materia prima que ingresa al local, la calidad de las hojas de sierra y los desperfectos presentes en el gramín debido al tiempo de uso de este, la cubicación de la madera en bolo; todo esto conlleva a las pérdidas de los rendimiento y mala calidad de la materia prima por lo que a través de esta investigación se propone el siguiente diseño:

Problema: ¿Cómo aumentar los rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en el proceso de transformación mecánica de *Samanea saman* Jacq (Algarrobo del país) en el aserrío Omar Ranedo, Empresa Agroforestal Guantánamo?

Objeto: Madera en bolo y madera aserrada aserrada del *Samanea saman* Jacq.

Hipótesis:

Al caracterizar la materia prima utilizada en la industria del aserrado, determinar el modelo matemático de mejor ajuste para la construcción de la tabla de volumen comercial, determinar el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada del *Samanea saman* y analizar su comportamiento económico de la industria se podría evaluar el proceso de transformación mecánica de esta especie en el aserrío Omar Ranedo.

Objetivo General:

Evaluar el proceso de transformación mecánica de *Samanea saman* Jacq que conlleve al aumento del rendimiento y la calidad dimensional de la madera en el aserrío Omar Ranedo de la Empresa Agroforestal Guantánamo.

Objetivos específicos:

1. Ensayar modelos matemáticos para la selección el de mejor ajuste para la construcción de la tabla de volumen comercial de la especie *Samanea saman*.
2. Determinar el rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada del *Samanea saman*.
3. Analizar el comportamiento económico de esta especie en la industria.

Revisión Bibliográfica

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA

2.1. La madera

Se denomina Madera al conjunto de tejidos del 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).

2.2. Defectos de la madera

Debemos considerar como defectos de la madera, todas las anormalidades de su estructura, textura y color que perjudiquen su utilización, pues en algunos casos estas anormalidades 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 (Días *et al.*, 2006 y 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 (Díaz *et al.*, 2006).

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 anormalidades (Álvarez *et al.*, 2013).

2.2.1. 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 cuyo origen puede obedecer a diferentes causas. 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.

Vignote y Jiménez (1997) y Álvarez *et al.* (2013) plantean que 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 hojosas. 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.

2.2.2. Conicidad

El fuste del árbol, como consecuencia de la superposición del crecimiento en altura y en grosor, posee una forma que simplificada se puede suponer cónica. La forma cónica del fuste, 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 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).

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 (Álvarez *et al.*, 2013).

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. 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 (Álvarez *et al.*, 2013)

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 (Vignote y Jiménez, 1997, Díaz *et al.*, 2006 y Álvarez *et al.*, 2013).

2.2.3. Excentricidad

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. 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).

2.2.4. Tableadura

La tableadura es un defecto en la forma de la sección del árbol, debida a la diferencia del diámetro en dos direcciones perpendiculares. El valor de la tableadura se expresa, según la norma ONE (1998), por la relación entre la diferencia de diámetros máximo y mínimo, expresado en porcentaje (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 (Vignote y Jiménez, 1997 y Álvarez *et al.*, 2013).

2.2.5. Nudos

Los nudos 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, éstas desprenden fibras próximas a los nudos y forman asperezas (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 (Díaz *et al.*, 2006 y Álvarez *et al.*, 2013).

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 y Álvarez *et al.*, 2013).

2.2.6. Fendas

Según Álvarez *et al.* (2013), son roturas locales de la madera, 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. Según sea el origen de los esfuerzos que inciden sobre la madera estas se clasifican en:

- Fendas de viento: Se producen cuando el árbol está vivo, causadas por esfuerzos externos del viento sobre la copa que se trasmite a través del fuste; se caracterizan por estar situadas en el lado donde sopla el viento en la parte más baja del árbol.
- Fendas de desecación: Se produce 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.

2.2.7. 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. 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).

2.3. Aserraderos

García *et al.* (2002) expresan 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.

El aserradero fue y sigue siendo la principal industria para la elaboración de la

madera redonda de grandes dimensiones (García, 2003). Ebnes (1984) plantea que: “En muchos países en vías de desarrollo juega un rol muy importante la industria forestal y particularmente el aserradero, debido a:

Los bajos costos de producción por unidad de producción.

La flexibilidad de la producción.

La relativa simplicidad de las operaciones.

El alto efecto de los empleos en las condiciones rurales.

Su habilidad para convertir diámetros relativamente pequeños de plantaciones, en productos comercializables.”

García *et al.* (2002) 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 %.

Los aserraderos fijos según Álvarez, *et al.* (2004) son aquellos que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea. Sus ciclos de producción suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

1. Tablón, en bruto
2. Tablón canteado y retestado
3. Tablón canteado, retestado y calibrado
4. Tablón canteado, retestado, calibrado y clasificado
5. 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 reaserrado intermedio (Álvarez *et al.*, 2004).

2.4. Sierras de Bandas

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 EEUU.

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

1. Mecanizado de la troza rápida, permitiendo acomodar su posición en función de los defectos y anomalías observadas.
2. La hoja se puede cambiar con relativa facilidad
3. Ocasiona una baja pérdida de madera debido al escaso ancho de la vía.
4. Produce aserrado de buena calidad.

Y los siguientes inconvenientes:

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

Características de la cinta

Según Álvarez *et al.* (2004) los ángulos del elemento de corte son:

- Ángulo de ataque γ . Ángulo comprendido entre la dirección del vector que define el avance de la madera y la cara de ataque del diente que penetra.
- Ángulo de afilado β . Ángulo comprendido entre las dos caras del diente.

- Ángulo de desahogo α . Ángulo comprendido entre la dirección del vector que define el movimiento de la hoja y la cara de desahogo del diente.
- La suma de $\alpha + \beta + \gamma$ es igual a 90°

2.5. Cubicación de la madera en bolo

Los métodos para la determinación del volumen de madera contenida en el tronco del árbol han sido objeto de estudio desde hace más de dos siglos (González, 1981).

Estos métodos se clasifican en dos grupos: de medición directa y de medición indirecta, ubicándose en los métodos directos los conocidos métodos de cubicación por secciones de Huber, Smalian y Newton (Carron, 1968); Loetsch, Zöhrer y Haller, 1973; Cailliez, 1980; González, 1981 y Husch, Miller y Beers, 1982).

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

Los métodos de medición indirecta comprenden los procedimientos que permiten estimar el volumen mediante el conocimiento de su relación con variables de más fácil medición, como el diámetro y la altura. Esta relación se conoce como tabla o tarifa de volumen y la misma es establecida gráfica o analíticamente (Carron, 1968; Cailliez, 1980 y Husch, Miller y Beers, 1982). Estos métodos son utilizados en la estimación del volumen de árboles en pie, ya sea aislados o en masa, dadas las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes en árboles en pie (Caballero, 1972).

Fórmula de Huber: la fórmula de Huber es la más sencilla y rápida Según Aldana (2010). Los errores serán más grandes cuando haya más diferencia entre la forma geométrica de la troza y la fórmula aplicada, lo que sucede generalmente, al aumentar el largo de la troza.

$$V = AB * L$$

Donde: V= volumen de la troza. L = largo de la troza. AB= área en la mitad del largo de la troza.

Fórmula de Smalian: Es una fórmula elaborada por el señor Smalian y utiliza los centímetros y el metro, por lo tanto el resultado será en m³. Según Muñoz (1999); Bermúdez y Tapia (2004); la cubicación de los árboles apeados de diferente longitud se recomienda hacerla con la fórmula de Smalian con una confiabilidad del 95% para una población infinita. Para medir el volumen se usa la siguiente fórmula:

$$V = 3,14/4 * (Dx)^2 * L$$

Donde:

V = Volumen en m³. L = Largo de la troza en metros. Dx = Diámetro promedio de la troza en metros.

Primero calculando los diámetros en cada lado (d1 y d2) luego se calcula el diámetro promedio de la troza con la siguiente fórmula:

$$Dx = (d1 + d2) / 2$$

Donde:

d1 = Diámetro mayor de la troza y d2 = Diámetro menor de la troza.

Medición de diámetros (mayor y menor) y longitud de la troza: los diámetros de la troza (mayor y menor) deben ser medidos en centímetros.

Fórmula de Newton: Esta es la fórmula del neiloide truncado Según Donald y Schumacher (1965) y Aldana (2010). Sobre estas fórmulas se puede decir que dan un resultado muy aproximado del volumen real de la troza. Se puede calcular según:

$$V = (AB_1 + 4AB + AB_2) / 6 * L$$

Donde:

V= volumen. AB= Área basal. 1. extremo fino, m medio, 2 Grueso y L= longitud.

2.6. Tablas de volumen

Los modelos son muy útiles para los gestores e investigadores forestales en muchos sentidos (Blanco, 2008). Para los investigadores forestales, los modelos prestan su máxima utilidad al servir de herramientas para investigar acerca de la dinámica forestal (Abellanas *et al.*, 2009). Con el progreso de la computación se hace más fácil manejar modelos cada vez más complejos y, de hecho, el uso de modelos a escala ingenieril ha ido disminuyendo, siendo reemplazados por modelos matemáticos que son más baratos y más flexibles. Los computadores han llegado a ser indispensables como herramientas para el desarrollo y uso de muchos modelos (García, 2010).

La cubicación de árboles posibilita obtener el volumen sólido de los fustes, que asociados con las variables dendrométricas (d, h, entre otras) permiten generar modelos para describir estos volúmenes, que podrán ser presentados en forma de tablas.

Universalmente, para la elaboración de las tablas de volumen, son más utilizados los métodos analíticos mediante la aplicación de las técnicas estadísticas de correlación y regresión, los cuales se emplean en:

- La determinación analítica de la relación empírica entre el volumen de

interés y las variables del árbol que serán medidas (ecuaciones de volumen).

- El cálculo del volumen mediante la reducción del volumen de un cilindro, de igual diámetro y altura, por un coeficiente de forma (fórmulas de coeficientes mórficos).
- La integración de la función que describe la forma del perfil del fuste, según

Fielder (1973) y Aldana *et al.* (2006):
$$V = \frac{\pi}{4} h \int_0^1 [f(x)]^2 dx$$

Las tablas de volumen se definen según Cailliez (1980) como una tabla, fórmula o gráfico, que da un estimado del volumen de un árbol o de un conjunto de árboles en función de variables llamadas entradas de la tabla. Estas se utilizan principalmente para estimar el volumen de un lote de árboles como la suma de volúmenes de los árboles individuales. Destaca a su vez, que las entradas de una tabla deben ser pocas y fáciles de medir, fuertemente correlacionadas con el volumen y débilmente correlacionadas entre sí.

Por su parte Aldana (2010) plantea que la tabla de volumen puede ser definida como una relación gráfica o numérica expresada por ecuaciones logarítmicas o aritméticas capaz de expresar el volumen total o parcial de un árbol en función de variables independientes como diámetro, altura, grosor de corteza, factor de forma; o también como la representación tabular del volumen individual de árboles enteros o en partes de ellos a través de variables de fácil medición. En general, las tablas presentan los volúmenes en metros cúbicos, pudiendo este volumen incluir o no la corteza del árbol. En la construcción de tablas de volúmenes deben ser obedecidos los siguientes criterios, a fin de obtenerse estimaciones fidedignas:

- Seleccionar un número de árboles de muestra buscando cubrir toda la variación de edad, espaciamiento y sitio para la misma especie forestal.
- Cubicar y medir las variables independientes para estimar la ecuación de volumen.

- Probar y comparar diferentes ecuaciones a fin de seleccionar la que mejor representa los datos.

Las tablas de cubicación terrestres se pueden clasificar en tablas de cubicación de árboles individuales, tablas de masas y tablas intermedias (Prieto y Hernando, 1995).

Loetsch, Zöhrer y Haller (1973), indican los principales modelos matemáticos utilizados en la construcción de tablas de volumen, agrupándolos por el número de variables independientes; estos autores valoran que las tablas de volumen en función del diámetro y la altura producen estimaciones más exactas y plantean que el gran número de fórmulas que se han producido indica que ninguna es de aplicación general a todas las especies y condiciones.

Los modelos matemáticos propuestos por Loetsch, Zöhrer y Haller (1973), han sido los más utilizados en todo el mundo. En Cuba se han elaborado tablas para la estimación del volumen en varias especies forestales.

Caballero (1972) reporta la utilización de la ecuación de regresión $V = a + b G + c G \bar{h} + d \bar{h}^2$, con buenos resultados para las tablas de volúmenes de rodales de pino y otras especies asociadas a estos donde: V= volumen del rodal, G= área basal del rodal $\bar{h}$ = altura media.

Las ventajas de las tablas de volumen en primer lugar, son sistemas simples de aplicar y relativamente precisos. En segundo lugar, una vez que se desarrolló una tabla de volumen estándar para una región y especie, teóricamente sirve para siempre (Egas *et al.*, 2001).

2.6.1. Modelos de perfil del fuste y tablas de surtidos

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

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

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

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

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

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

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

la estimación y del objetivo del modelo.

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

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

2.7. Rendimiento

Relación entre el volumen de producto elaborado y el volumen del producto forestal al estado natural, para el estudio de madera aserrada y madera rolliza (troza) respectivamente (IFFS – INRENA, 2008).

Egas (1998) expresa que existen un grupo de autores que consideran dos formas de expresar el rendimiento volumétrico: rendimiento volumétrico por surtidos y rendimiento volumétrico total. El primer indicador no es más que la relación entre el volumen de madera aserrada de un pedido específico o de una clase de calidad determinada y el volumen total de madera aserrada obtenida de una troza o grupo de trozas (ambos volúmenes en m³) expresado en porcentaje.

2.7.1. Factores que inciden sobre el rendimiento volumétrico de la madera aserrada

- **Diámetro de las trozas**

La opinión de los especialistas coinciden con diversas investigaciones realizadas por Fleming (1976), Woodfin (1978), Willits y Fahey (1991), Fahey y Sachet (1993) y Okay (2001) los cuales 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 las trozas; por lo que se apoya por diferentes autores la relación de las características de la superficie de las trozas y el rendimiento de la madera aserrada, para establecer normas para la clasificación de trozas (Álvarez *et al.*, 2004).

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 %.

2.8. 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).

2.8.1 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.

2.8.2 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, 1991). 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 (1991), 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.

2.9. Descripción de la especie Samanea Saman Jacq Merrill

Según Sablón (1988) se puede conocer de las siguientes maneras: *Mimosa saman* Jacq., *Acacia propinqua* A. Rich., *Calliandm saman* Griseb. y *Pithecellobium saman* Benth.

Nombres vulgares: algarrobo y algarrobo del país.

Árbol grande, inerme, que puede alcanzar hasta 30 m de altura, de 140 cm de D.A.P., de fuste generalmente corto, ramas fuertes y extendidas, copa amplia, crece rápidamente; corteza hendida longitudinalmente, bastante gruesa y de color pardo claro. Florece de marzo a mayo y sus frutos maduran de enero a marzo (Sablón, 1988).

En la madera la albura presenta un color castaño claro, mientras que el duramen muestra un color castaño rojizo, oscuro y vetado. Los anillos de crecimientos son visibles al corte transversal y los pequeños radios xilemáticos se notan al corte radial; la textura en general es gruesa y el grano, recto o a veces entremezclado, pesa alrededor de 55 1 kg/m³. La parte de la madera comercialmente más utilizada es el duramen y se recomienda para la fabricación de muebles, carpintería en general, forros, mostradores, interiores y pisos de vehículos (Sablón, 1988). La madera es clasificada como semidura (Oviedo, 2013).

Materialles y Métodos

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización del área de trabajo

El trabajo se realizó en el aserrío Omar Ranedo, Empresa Agroforestal Guantánamo, entre los meses de septiembre del 2018 a noviembre 2019, el establecimiento cuenta con: un área de almacenamiento de la madera en bolo y otra para la madera aserrada al aire libre y bajo techo, un carro transportador, un gúinche, una sierra de cinta, un péndulo y una canteadora.

3.1.1. Ubicación del área

El aserrío se encuentra ubicado en la avenida de los estudiantes (Figura 1) entre 6 y 7 este, municipio Guantánamo, provincia Guantánamo. El mismo cuenta con 33 trabajadores, de estos 23 vinculados de forma directa a la producción y 10 de forma indirecta.



Figura 1. Localización del área de estudio en la provincia de Guantánamo.

3.2. Caracterización de la materia prima

3.2.1. Tamaño de la muestra

La población de estudio estuvo conformada por las trozas existentes en el patio de acopio al momento de llevar a cabo el estudio. El tamaño de la muestra se calculó mediante la siguiente expresión matemática para poblaciones finitas indicada por CHOU (1985) y BENCARDINI (1999) citados por HUAYCAMA (2019):

$$N = \frac{Nt^2s_x^2}{NE^2 + t^2s_x^2}$$

Dónde:

n = Número de trozas necesarias para el cálculo del rendimiento

N = Número total de trozas existentes en el patio de acopio

Z = Valor tabular al 95% de confiabilidad = 1,96

CV = Coeficiente de varianza

E = Error permisible (5%)

Previo al cálculo del tamaño de muestra se realizó un muestreo piloto tomando como base una premuestra de 30 trozas en el patio de acopio.

3.2.2. Dimensiones de las trozas

Se realizó un análisis descriptivo donde se caracterizó la materia prima que entró en el aserrío mediante el uso del Software estadístico SPSS versión (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).

Diámetro sin corteza

Se determinó el diámetro sin corteza según Aldana (2010): **dsc=dcc-2e**

Donde: dsc: Diámetro sin corteza, dcc: Diámetro con corteza, e: grosor de corteza.

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

3.2.3. Defectos de las trozas

Se realizó un análisis de cada uno de los defectos encontrados en las trozas evaluadas según metodología (Las normas UNE 56511, 1985 y Álvarez *et al.*, 2013), para ello se utilizó el SPSS15.0, en el análisis de cada uno de los defectos.

Tableadura

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

Excentricidad

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

Conicidad

$$C = \frac{(D_2 - d)}{L}$$

Curvatura del fuste

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

Nudo

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

Fenda

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

Donde: C, conicidad (cm/m); Cf, curvatura del fuste; T, tableadura; Ex, Excentricidad (%); D₂, diámetro mayor de la troza (cm), d, diámetro menor de la troza (cm) y L, longitud de la troza (m); R, radio máximo desde la médula (m); f, distancia que comprende el punto máximo de la concavidad. Tn: Tamaño del nudo. (%); Dmn: Diámetro mayor del nudo, cm; Dmb: Diámetro menor del bolo, cm; IR: índice de fenda, %; a_i: abertura máxima de la fenda i (i=1,....., n), cm; C_i: longitud de la fenda, cm ; D : Diámetro, cm..

Se realizó un estudio sobre la conicidad, donde se clasificó en pequeña (menor de 1.5), mediana (1.5-3) y grande (Mayor que 3) (García, 2007). Además se hizo una correlación de Person para determinar los factores que influyen en la conicidad (Diámetro grueso (Dg), Diámetro fino (Df) y Longitud (L)) y se determinó un modelo para predecir la misma en función de los diámetros y la longitud.

Se clasificó la curvatura según García (2007) en pequeña (menor de 2), mediana (2 - 4) y grande (Mayor que 4).

3.3. Determinación del volumen de madera en bolo

Se realizaron mediciones a las trozas de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. cada 0,50 cm y a cada una de ellas se midió la longitud total como se muestra en la siguiente figura 2:

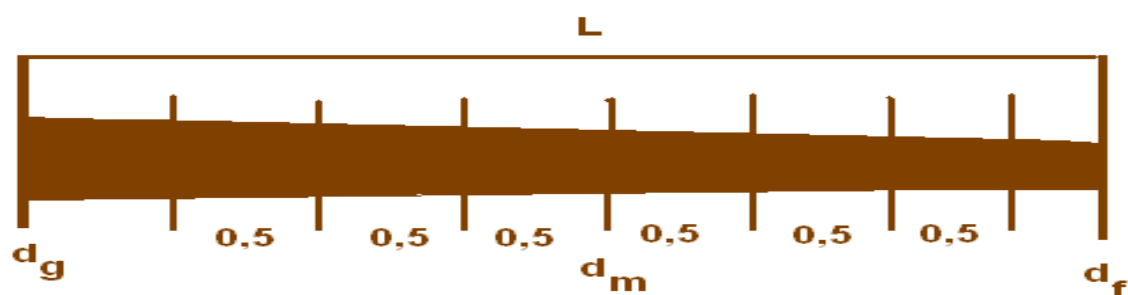


Figura 2: Medición de las trozas de *Samanea saman*

Se emplearon las tres fórmulas más usadas para determinar el volumen (Huber, Smalian y Newton) según Aldana (2010) y se realizó un Anova para ver si existían

diferencias significativas entre cada una y determinar la mejor. Se utilizó el Software estadístico SPSS versión. (21.0).

$$V_H = g_m * L_t \quad VS = \left(\frac{g_f + g_g}{2} \right) * L \quad VN = \left(\frac{g_f + 4gm + g_g}{6} \right) * L$$

Donde: V - volumen de la madera en bolo (m³), (H- Huber, S- Smalian, N- Newton), g- área basal (m²), (f- fina, m- media, g- gruesa) y l - longitud de la troza, (m).

3.4. Modelos de regresión

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

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen comercial con corteza se analizaron los 10 mejores modelos de regresión de volumen seleccionados por Lores (2012) para las especies *Calophyllum antillanum* Britton., *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. como se observa en la siguiente tabla. El volumen siempre fue la variable dependiente y el diámetro y longitud transformadas o no eran las variables independientes.

Tabla 1. Modelos matemáticos seleccionados para la estimación del volumen con y sin corteza.

No	Autor	Ecuación
1	Schumacher Hall	$v = b_0 d^{a_1} h^{a_2}$
2	Takata	$v = \frac{d^2 h}{b_0 + b_1 d}$

No	Autor	Ecuación
3	Ogaya 1	$v = d^2 (b_0 + b_1 h)$
4	Potencia $VrT=f(x)$	$\log(Vrt) = \log(b_0) + b_1 * \log(x)$
5	Honner	$v = \frac{d^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h_1}}$
6	Berkhout	$v = b_0 d^{b_1}$
7	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 \log d_i$
8	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(d_i dh)$
9	Schumacher Hall 1933	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$
10	Logarítmico Spurr 1952	$\log v = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$

3.4.1. Selección del modelo

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

a) **Cumplimiento de los supuestos teóricos.** Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión. La normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuales se verificó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov (Ostle, 1973), prueba de Levene (Ott y Longnecker, 2001), y test de Durbin y Watson (Canavos, 1988), respectivamente. La presencia de multicolinealidad entre las variables predictoras fue evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (VIF) (Maddala, 1996). Los modelos que no cumplieron con algunos de estos supuestos fueron eliminados de las siguientes etapas. La presencia de multicolinealidad se asumió para aquellas ecuaciones que

presentaron *VIF* mayores a 10 para alguna de sus variables independientes (Kozak, 1997).

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

c) **Capacidades predictivas.** Fueron evaluadas las capacidades predictivas, con el fin de comparar los modelos, en la totalidad de la muestra empleada para la validación de los modelos. Los estadísticos empleados son la raíz del error cuadrático medio (RECM) y la diferencia agregada (DA) (Prodan *et al.*, 1997). Debido al sesgo que se produce al transformar los valores estimados de modelos logarítmicos (*lnv m*³) a los valores aritméticos (*m*³); se empleó, previo al cálculo del RECM y DA, la corrección propuesta por Baskerville (1972) para los modelos que emplean logaritmos en la variable respuesta. Ambos estadísticos están expresados como una proporción de la media del grupo y son recomendados por su efectividad por Max y Burkart (1985); Real (1993); Rodríguez y Molina (2003); Novo *et al.* (2003); Barrio *et al.* (2007); Gezan *et al.* (2009) y Barrero (2010). Para estos estadísticos el mejor modelo corresponderá al que presente los valores más cercanos a cero. Ante dos valores iguales de error, el modelo que estimó con un menor (RECM) se consideró superior.

Estos estadísticos fueron determinados mediante las siguientes expresiones:

$$RECM\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \right]^{1/2}$$

$$DA\% = \frac{100}{\bar{y}_i} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i) \right]$$

Donde: y_i y $\hat{y}_i$ corresponden al valor observado y estimado de la medición i-ésima; $\bar{y}$ es el promedio y n el total de observaciones.

d) Análisis de capacidades predictivas dentro de clases de validación. Se calcularon la media y la desviación estándar del RECM y DA calculados para la validación de cada ecuación (Salas, 2002). En general, con esta metodología, se espera que un modelo con un buen comportamiento debiera presentar para el RECM una menor media (mayor exactitud) y una menor desviación. Para la DA la tendencia esperada es la misma, con la diferencia que para la obtención de la media y desviación estándar de la DA en las clases de validación se emplean valores absolutos. Este análisis es clasificado de acuerdo a Kozak (2003) como un análisis de falta de ajuste, el cual normalmente no es realizado en gran parte de los estudios que evalúan y comparan varios modelos.

La elección de la mejor ecuación estimadora de volumen, se efectuó a través de la asignación de puntajes a cada uno de los estadísticos (Cao *et al.* 1980) y (Salas, 2002). La clasificación de mejor ajuste fue asignado a la correspondiente ecuación ajustada que presentó el menor valor de RECM calculado para toda la muestra, el menor valor de la media y desviación estándar de la RECM en las clases de validación hasta completar la asignación de puntajes con el total de modelos. De igual manera se realizó con el análisis del sesgo; esto es, el mejor ajuste fue asignado a la ecuación que presentó la DA más cercana a cero, calculada para toda la muestra, el menor valor de la media en valor absoluto y desviación estándar de la DA en las clases de validación. Finalmente, se obtuvo la sumatoria de estos puntajes para cada modelo, donde los menores puntajes finales indican ecuaciones más exactas. En caso que hubiera ecuaciones con el mismo puntaje se optó por la expresión matemática más sencilla.

Luego de la selección de los mejores modelos para cada especie se ensayó un mejor modelo común para cada uno de los casos de las tres especies.

3.4.2. Determinación del método más efectivo para determinar el volumen

Se determinó si existe diferencias estadísticas significativas varianza según Duncan entre el volumen estimado por el modelo, el volumen real obtenido por la formula de Newton dividiendo la troza en diferentes secciones y el volumen que se obtiene a partir de la tabla de volumen según INDAF (1976) para varias especies de latifolias. Se realizó un análisis de regresión lineal entre estos dos métodos. Se utilizó el software estadístico SPSS versión. (21.0).

3.5. Determinación del rendimiento

Se determinó el rendimiento en madera aserrada (o porcentaje de aprovechamiento) según Valerio *et al.* (2007), Najera *et al.* (2011) siendo la relación entre el volumen de madera aserrada producido entre el volumen de la troza, expresado en porcentaje.

Volumen de Madera en Bolo	Volumen de madera aserrada	Rendimiento
$V_{mb} = \frac{g_1 + g_o}{2} * h$	$V_{ma} = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i)$	$R = \frac{V_{ma}}{V_{mb}} * 100$

Donde: Vmb, volumen de la madera en bolo (m³); Vma, volumen de la madera aserrada (m³); g₁, área basal en el extremo fino (m²); g_o, área basal en el extremo grueso (m²); l, longitud de la troza (m); g_j, Grosor de la pieza (m); a_j, Ancho de la pieza (m); l_j, longitud de la pieza (m) y n, Número de piezas aserradas en una troza; R, rendimiento (%).

3.5.1. Estimación del rendimiento

Se utilizaron los modelos matemáticos mostrados en la tabla 2 según (IFFS-INRENA, 2008) para predecir el rendimiento de la madera aserrada utilizando un análisis de regresión de un modelo lineal y otro cuadrático, utilizando el SPSS Ver. 15.0.

Tabla 2. Modelos matemáticos para estimar el rendimiento

No	Modelo
1	$R = a + b * D$
2	$R = a + b * 1/D^2$

3.6. Determinación de la calidad dimensional de la madera aserrada

Siguiendo lo indicado por Denig (1990), se tomaron muestras de las piezas de los surtidos de mayor demanda. En los surtidos de 25 y 50 mm de la madera del *S. saman* Jacq.

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, 1991), 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 volumende estos, sobre todo en el cómputo de las variaciones de grosor en el aserrío cuando se dispone de una muestra grande, fue necesario encontrar una herramienta ágil y factible para el procesamiento de los datos. Para ello se utilizó el software Control versión 5.1 propuesto por Álvarez *et al.* (2005), que permite determinar las dimensiones óptimas de aserrío y la variación del grosor; el cual se basa en la formulación planteada por Brown (1986) y retomada por Denig (1990) y Zavala (1991). La tolerancia por cepillado es de 0 y el porcentaje de piezas con dimensión inferior a las a un 5 %. El porcentaje de humedad que se utilizó fue según la clasificación del porcentaje de agua en la madera (Álvarez *et al.*, 2005).

3.6.1. Determinación del porcentaje de contracción

Para la obtención de la contracción tangencial (Tabla 3) 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).

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

Donde: V_h: Volumen húmedo, V_o: Volumen seco, β_{vh} : % de contracción.

Tabla 3. Clasificación del porcentaje de contracción.

Clase	Contracción Volumétrica Total (%)	Madera
Gran contracción	15 – 20	Grandes fendas de secado. Debe aserrarse en verde
Contracción media	10 – 15	Fendas medias. Puede emplearse en rollo para construcción y postes
Contracción pequeña	5 – 10	Fendas pequeñas. Puede secar

3.6.2. Determinación del control 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.

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

Donde:

$\%C$ – Tolerancia por contracción de la madera, %

$C.H_{final}$ – 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, %.

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).

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

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.

Dimensión crítica

Por otra parte debemos tener en cuenta la variable Dimensión crítica (D_c), 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. Evaluación económica

Para la evaluación económica se tuvo en cuenta el rendimiento real obtenido por la empresa y el obtenido en esta investigación. Analizando el volumen de madera aserrada producido diario, mensual y anual. Se utilizó el listado de precio de la madera aserrada según el Ministerio de Finanzas y Precios en su Resolución No. 372-2009 (Pedraza, 2009).

Resultados y Discusión

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la materia prima

4.1.1. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra para la caracterización de la materia prima fue de 76 trozas y se trabajó con 100 trozas lo que demuestra que el muestro realizado es representativo en el área de estudio, con un error absoluto (Ea) de 5,99 y un error relativo (Er) de 8,98, para un límite de error de un 5,98 %.

La tabla 4 muestra los máximos, mínimos, media, desviación típica y el error estándar de los diámetros finos (Df) y gruesos (Dg) y la longitud (L) donde los valores máximos son de 8m, 134cm, 127cm, 131cm y los mínimos 2m, 24,50cm, 14cm, 19cm, las desviación típica es de 1,46m, 26,36cm, 26,33cm, 26,42 cm, con una media de 4,20m, 62,34 cm, 55,77 cm 59,17cm y un error estándar de 0,14, 2,65, 2,64, respectivamente; estos resultados se asemejan con los planteados por La O (2016), teniendo en cuenta que en el aserrío se aprovechan las especies con menos de 20 cm de diámetro.

Tabla 4. Análisis descriptivo

Estadísticos	L (m)	DG (cm)	DF (cm)	DM (cm)
Media	4,21	62,35	55,76	59,18
Mínimo	2,00	24,50	14,00	19,00
Máximo	8,00	134,00	127,50	131,00
Error típico de la media	0,15	2,65	2,65	2,656
Desviación típica.	1,47	26,37	26,34	26,42
Varianza	2,15	695,23	693,73	698,23

4.1.2. Estimación del diámetro sin corteza

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para ver cuáles de las variables: grosor de corteza y diámetro con corteza se correlacionaba más con el diámetro sin corteza como muestra la tabla 5. Donde el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza tienen un alto mayor nivel de correlación (0,993) para un nivel de significación inferior a 0,01.

Tabla 5. Análisis de correlación del diámetro sin corteza con el grosor de corteza.

			dcc	e	dsc
dcc	Correlación de		1	-0,313	0,993(**)
	Pearson				
	Sig. (bilateral)			0,087	0,000
	N		31	31	31
e	Correlación de		-0,313	1	-0,422(*)
	Pearson				
	Sig. (bilateral)		0,087		0,018
	N		31	31	31
dsc	Correlación de		0,993(**)	-0,422(*)	1
	Pearson				
	Sig. (bilateral)		0,000	0,018	
	N		31	31	31

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

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Se observa en la figura 3 que existe una estrecha relación entre el diámetro con corteza y el diámetro sin corteza con un alto coeficiente de regresión, los datos se ajustan de forma lineal.

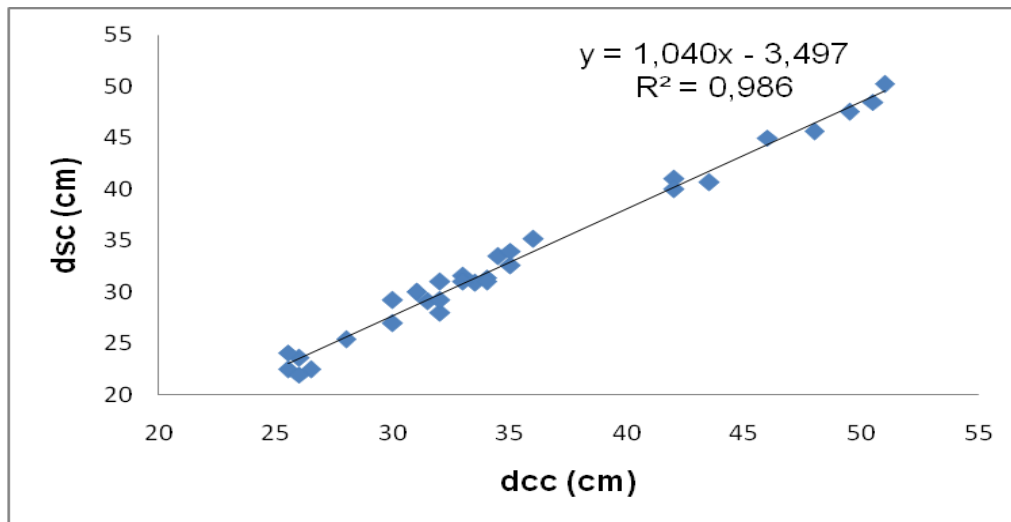


Figura 3. Relación entre el diámetro fino y grueso del *Samanea saman*

Para predecir el diámetro sin corteza a partir del diámetro con corteza se realizó un análisis de regresión siendo altamente significativo con un nivel de significación igual a 0,000, o sea menor de 0,05, el coeficiente de determinación (R^2) de 0,993 y un error típico de 0,9643. Se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$Dsc = -3,497 + 1,040dcc$$

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

4.2. Defectos de las trozas

4.2.1. Análisis de la conicidad

En la tabla 6 se puede apreciar las magnitudes de la conicidad; observando valores máximos de 11,90 cm/m, medios de 2,91 cm/m y mínimo de 0,3 cm/m del *Samanea saman* Jacq. Estos resultados se van muy por encima de 1.5 cm/m lo permitido en las normas internacionales lo que demuestra que tiene influencia en el rendimiento, con esto se demuestran la vigencia de lo planteado por Álvarez *et al.* (2013) donde refiere que la conicidad influye en la calidad de las trozas ya que la muestra seleccionada presenta una marcada

presencia de defectos.

Este defecto es el más importante que debemos tener en cuenta a la hora de trabajar la madera, ya que provoca pérdidas en los rendimientos de la madera en los procesos de aserrados, ya que sólo es aprovechable la sección correspondiente a la testa más pequeña del bolo, debido a las características de esta especie que proviene de lugares abiertos y cafetales, provocando con esto un aumento de la conicidad. Esto coincide con lo planteado por Serrano y Bermúdez (2006) que plantea que la utilización inadecuada de las trozas va a influir negativamente en la eficiencia económica de la producción de la madera aserrada.

Estos datos se van por encima a los obtenidos por Barceló (2010) para otras especies de latifolias como: *Taliparitis elatum* Frixell (sw.), *Calophyllum antillanum* Britt, *Tectona grandis* LF, entre otras en Baracoa.

Tabla 6. Resumen estadístico de la conicidad (cm/m)

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica (S_x)	E.E
2,91	0,3	11,90	2,95	0,295

Se observa en la figura 4 que la especie *S. saman* presenta un porcentaje de conicidad pequeña para un 45%, seguido de una mediana de 27% y por último grande de 28%. Este porcentaje de conicidad pequeña es muy importante debido a que disminuye la influencia de este factor en el rendimiento, pero no tiene gran incidencia debido a que más del 40% de los bolos presentan conicidad de mediana a grande.

Estos resultados difieren a los encontrados para especies de latifolia en la zona de Baracoa según Leyva *et al.*, (2015) donde solo el 12 % de las trozas presentan una conicidad mayor, pero esta diferencia está determinada por las condiciones de crecimiento según Álvarez *et al.*, (2013).

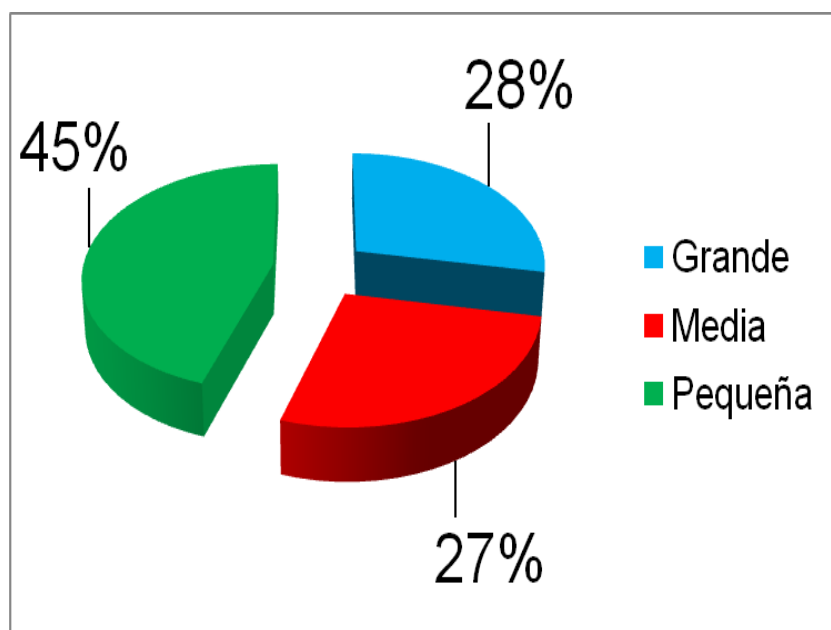


Figura 4. Porcentaje de conicidad de la especie *Samanea saman* Jacq

Si partimos de los planteamientos de Egas (1998), Egas *et al.* (2001) y Álvarez *et al.* (2013), donde refieren que la conicidad de las trozas es uno de las variables de mayor incidencia sobre los bajos rendimientos de madera aserrada, nos dimos a la tarea de realizar un análisis más profundo de esta variable; por lo que se obtuvo los siguientes resultados a partir del análisis de la información obtenida, ver tabla 7.

Tabla 7. Análisis de correlación de PEARSON de la conicidad en función de los diámetros y la longitud

	Conicidad (C)	Diámetro fino (Df)	Diámetro Grueso (Dg)	Longitud (L)
Conicidad (C)	1	0,193	0,454 ^(**)	-0,037
		0,054	0	0,717
	100	100	100	100

Diámetro fino (Df)	0,193 0,054 100	1 100	0,960 ^(**) 0 100	0,277 ^(**) 0,005 100
Diámetro Grueso (Dg)	0,454 ^(**) 0 100	0,960 ^(**) 0 100	1 100	0,279 ^(**) 0,005 100
Longitud (L)	-0,037 0,717 100	0,277 ^(**) 0,005 100	0,279 ^(**) 0,005 100	1 100

******La correlacion es significativa al nivel de 0,01 (bilateral)

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 (Dg); por ser esta la variable que de forma determinante influye sobre la configuración del perfil longitudinal del fuste coincidiendo con lo plantea por Egas (1998), Rojas (2015) y Leyva *et al.*, (2015).

En la tabla 1 y 2 (Anexo) se observan los análisis de varianza y de regresión múltiple siendo altamente significativo ya que la probabilidad es menor que 0.05.

Estimación de la conicidad

En la tabla 8 se observa el modelo obtenido para la especie en cuestión donde se puede predecir la conicidad en función de los diámetros y de la longitud; siendo altamente significativo según el coeficiente de regresión 0,98% y el error 0,37, resultados similares a los obtenidos por Barceló (2010) y Rojas (2015) para otras especies de latifolias.

Tabla 8. Modelos matemáticos para obtener la conicidad

Especies	Fórmula	R ² Ajust	E. E
<i>S. saman</i> Jacq	$C = 2,623 - 0,403d_1 + 0,407d_2 - 0,012L$	0,985	0,37

4.2.2. Excentricidad del corazón

Los mayores valores de excentricidad del corazón son de un máximo de 49,10 y un mínimo de 0,58, con una media de 15,16, desviación típica de 12,75 y un error estándar aceptable de 1,28, estos resultados son regulares debido a que este parámetro afecta directamente a la calidad de la madera. Resultados similares a los obtenidos por investigaciones realizadas por Leyva *et al.* (2015) para otra especie de latifolia en aserrío de Cayo Güin. Debido a que el 100% de las trozas evaluadas tenían excentricidad del corazón; este resultado pudo estar dado por la acción de las fuerzas del viento o de la gravedad (Tabla 9).

Tabla 9. Excentricidad del corazón

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica (S_x)	E.E
15,16	0,58	49,10	12,75	1,28

4.2.3. Curvatura del fuste

La curvatura del fuste (Tabla 10) con valores mínimos de 0%, medio de 5,94% y máximo de 25%. Los valores medios y máximos se van por encima de las normas internacionales y las consideraciones de Álvarez *et al.* (2005) y Díaz *et al.* (2006) ya que cuando la curvatura del fuste sobrepasa el 2,5% de la longitud del fuste. Estos defectos afectan el rendimiento y la calidad de la madera aserrada, aspecto de vital importancia en la actualidad en las industrias de transformación primaria y secundaria de la madera.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Leyva *et al.*, (2015) para otras especies de latifolias, debido a las condiciones de crecimiento, tratamientos recibidos y a las características de cada especie.

Tabla 10. Resumen estadístico para curvatura del fuste

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica (S_x)	E.E
5,94	0	25,00	5,195	0,52

En la Figura 5 se observa la clasificación de las curvaturas del fuste donde el 61% de las trozas presentan una curvatura menor de un 2 %, con una media de 23% y el 16% de las trozas posee una curvatura más grande.

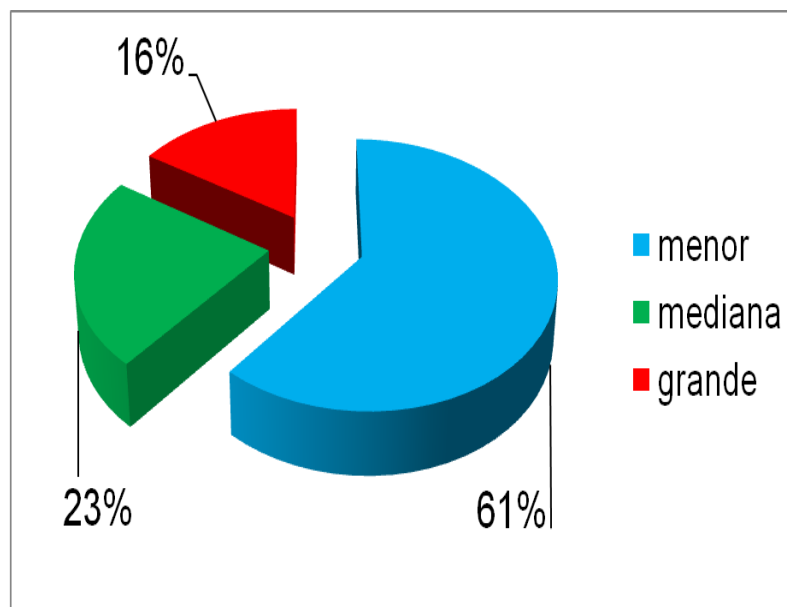


Figura 5. Clasificación de la curvatura de fuste de la especie *Samanea saman* Jacq.

4.2.4. Tableadura

Se observa en la tabla 11 los valores referente a el defecto de tableadura presentando un valor mínimo de 0,66 y uno mayor de 86,36, con una desviación típica de 18,28 y un error estándar de 1,83. Estos datos se van por encima de las normas internacionales y las consideraciones de Álvarez *et al.* (2005) debido a que se va por encima del 10%, además son superiores a los obtenidos por Leyva *et al.*, (2015). El efecto principal de este tipo de defecto está relacionado con la pérdida de productividad en los procesos de transformación en los aserraderos.

Tabla 11. Resumen estadístico para la tableadura

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica (SX)	E.E
19,52	0,66	86,36	18,28	1,83

4.2.5. Índice de fendas

Son roturas locales de la madera, 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. Se observa en la tabla 12 que una pequeña parte de las trozas presentan índice de fendas, en esta podemos observar que presenta un promedio de 0,16, un mínimo de 0, un máximo de 1,06 y una desviación estándar de 0,27. Esto está dado debido a que las piezas utilizadas no pasaron mucho tiempo en el patio del aserrío al igual que el tiempo en llegar a éste después de ser cortadas en el bosque, por lo que el producto no fue expuesto a una gran pérdida de agua ni al fenómeno de contracción e hinchazón y a las tensiones de crecimiento las maderas se agrietan.

Estos datos son inferiores a los obtenidos por Barceló (2010) para otras latifolias como: *Taliparitis elatum* Frixell (sw.), *Calophyllum antillanum* Britt, *Tectona grandis* LF, en Baracoa, ya que se encontraron pocas trozas con este tipo de defecto, Este índice de fenda presentado 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 proceso de aserrado (Álvarez *et al.*, 2005).

Tabla 12. Resumen estadístico del índice de fenda

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica S_x	E.E
0,16	0	1,06	0,27	0,03

4.2.6. Presencia de nudos

Se observa en la tabla 12 que los valores máximo y mínimo de los nudos se encuentra entre 0 y 67,57, con un error estándar de 1,50. Todos los nudos que se evaluaron estaban sanos, con presencia de moñones en su totalidad. Este defecto presenta serios inconvenientes para el empleo de la madera a la hora de aserrar y afecta la calidad de la madera aserrada. La madera con nudos es más difícil de trabajar, empleando cualquier tipo de herramientas. Estos datos son similares a los obtenidos por Barceló (2010) para otras especies de latifolias.

Si se utilizan máquinas éstas desprenden fibras próximas a los nudos y forman asperezas. Los nudos, además de producir un mal efecto visual, disminuyen la resistencia de la madera (Díaz *et al.*, 2006).

Tabla 12. Resumen estadístico de la presencia de nudos

Media $\bar{X}$	Mínimo	Máximo	Desviación típica S_x	E.E
8,58	0	67,57	14,98	1,50

4.3. Cubicación de la madera en bolo

Se realizó un Anova para ver si existía diferencia entre los tres métodos más usados para determinar el volumen de madera en bolo según Huber, Smalian y Newton, donde se obtuvo una probabilidad mayor de 0,05 por lo tanto no existe diferencia entre los diferentes métodos estudiados, una desviación típica inferior a 1,54 y un error típico inferior a 0,1541. Se puede utilizar cualquiera de los tres métodos para determinar el volumen, según Huber es de 1,4760 m³, Smalian 1,5193 m³ y Newton de 1,4760 m³ como se observa en la tabla 13.

Se seleccionó el método de Newton para la cubicación de la madera es el más riguroso; 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.

Tabla 13 Análisis de Anova para determinar el volumen por diferentes métodos

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Huber	1,4760	1,5337338	0,1541460
V Smalian	1,5193	1,5767064	0,1584650
V Newton	1,4760	1,5447722	0,1541460
Media	1,4952		
F	0,020		
Sig.	0,980		

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

Otro argumento por el cual también se decidió aplicar la fórmula de Newton es el planteado por Cailliez (1980) citado por Lores (2012) quienes hacen 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.

4.4. Selección del modelo de mejor ajuste

4.4.1. Análisis de correlación

Se realizó la matriz de correlación (Tabla 14) para el volumen con corteza según Newton (V_N) como variable dependiente respecto a las variables independientes: longitud (l), diámetro en la parte gruesa (dg), diámetro fino (df) y el diámetro medio (dm). Según muestran los valores de correlación de Pearson, existe correlación con todas las variables evaluadas, pero con el diámetro grueso tiene mayor nivel de significación con un 0,880.

Tabla 14. Análisis de correlación de las variables que más influyen en el volumen de la madera en bolo

		VN	L	dg	df	dm
Vn	Coorrelación de Pearson	1	0,543**	0,880**	0,848**	0,862**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	99	99	99	99	99
Longitud	Coorrelación de Pearson	0,543**	1	0,240*	0,140	0,179
	Sig. (bilateral)	0,000		0,017	0,165	0,076
	N	99	99	99	99	99
dg	Coorrelación de Pearson	0,880**	0,240*	1	0,990**	0,995**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,017		0,000	0,000
	N	99	99	99	99	99
df	Correlación de Pearson	0,848**	0,140	0,990**	1	0,997**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,165	0,000		0,000
	N	99	99	99	99	99
dm	Correlación de Pearson	0,862**	0,179	0,995**	0,997**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,076	0,000	0,000	
	N	99	99	99	99	99

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

Resultados similares a los obtenidos por Lores (2012), donde obtuvo valores significativos para el diámetro en la base para las tres especies evaluadas mencionadas anteriormente.

4.4.2 Ensayo de los modelos

En la tabla 15 se muestran todos los modelos que se evaluaron para el *Samanea saman* Jaq.Merill, teniendo en cuenta R, R², Sx, RECM, y DA. El mejor modelo estadísticamente es el logarítmico número 7. $\log v = -9,232 + 0,324 \log dg + 1,040 \log h + 1,619 \log dm$; el mismo presenta los mejores valores de R y R², pero desde el punto de vista práctico es un modelo de tripe entrada y de mayor complejidad, ya que se tiene en cuenta el diámetro grueso, el medio y la longitud.

El modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall $V=0,000128*d^{1,906}*L^{1,028}$, presenta valores altos y muy cercanos a uno de R².

Tabla 15. Modelos matemáticos evaluados para la especie *Samanea saman*

N ₀	R	R ²	Sx	Ecuación
1	0,997	0,995	0,037	$V=0,000128*d^{1,906}*L^{1,028}$
2	0,995	0,994	143,36	$v = \frac{dg^2 * L}{11576,433 + 0,001 * dg}$
3	0,995	0,991	0,4510	$v = d^2(-0,00000984 + (0,0000903 * h))$
4	0,918	0,843	0,4087	$\log(Vrt) = \log(-7,339) + 1,856 * \log(dg)$
5	0,768	0,876	107,50 5	$v = \frac{dg^2}{2303,233 + (-1,110 * \frac{1}{L})}$
6	0,746	0,864	0,143	$v = 0,001 * dg^{1,924}$
7	0,998	0,996	0,0665	$\log v = -9,232 + 0,324 \log dg + 1,040 \log h + 1,619 \log dm$
8	0,997	0,993	0,0844	$\log v = (-9,014 + 0,964) * \log(d_m * dg * h)$
9	0,996	0,992	0,0941	$\log v = (-8,749 + 1,810 * \log dg + 1,154 * \log L$

10	0,980	0,960	0,2049	$\log v = (-8,530 + 1,597) * \log(d^2 h)$
----	-------	-------	--------	---

La validación correspondiente a estos modelos se muestra en la tabla 7, donde se puede corroborar la calidad en los ajustes de acuerdo a los valores RECM y DA. Se observó en la validación el mismo modelo, como se puede observar el modelo indicado con el número 1: $V=0,000128*d^{1,906}*L^{1,028}$ presenta muy poca diferencia entre los valores de RECM y DA que su vez fue el de mejor ajuste en el ensayo general, este modelo es de doble entrada y resulta más práctico que el 7 por tanto se propone el modelo 1 para la construcción de la tabla de volumen y no el 16.

Tabla 16. Validación correspondiente a los mejores diez modelos para la especie *Samanea saman*

N ₀	RECM	DA	Ecuación
1	0,003	0,0072	$V=0,000128*d^{1,906}*L^{1,028}$
2	0,0190	0,1044	$v = \frac{dg^2 * L}{11576,433 + 0,001 * dg}$
3	0,0375	0,1011	$v = d^2(-0,00000984 + (0,0000903 * h))$
4	0,005	0,000	$\log(Vrt) = \log(-7,339) + 1,856 * \log(dg)$
5	0,1319	0,5458	$v = \frac{dg^2}{2303,233 + (-1,110 * \frac{1}{L})}$
6	0,0330	0,5963	$v = 0,001 * dg^{1,924}$
7	0,0000	0,0325	$\log v = -9,232 + 0,324 \log dg + 1,040 \log h + 1,619 \log dm$
8	0,0000	0,0425	$\log v = (-9,014 + 0,964) * \log(d_m * dg * h)$
9	0,0000	0,04608	$\log v = (-8,749 + 1,810 * \log dg + 1,154 * \log L$
10	0,0000	0,0614	$\log v = (-8,530 + 1,597) * \log(d^2 h)$

Resultados similares a los obtenidos por Lores (2012) para *Calophyllum antillanum* Britton, *Andira inermis* Sw y *Carapa guianensis* Aubl., donde el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall fue el mejor, aunque como es lógico con diferentes valores de los coeficientes, es decir. $v = 0,000166 d^{1,887} h^{0,526}$.

Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Padilla (1999) para la especie *Pinus tropicalis* donde seleccionaron los modelos logarítmicos los de mejor ajuste, debido a su mayor coeficiente de determinación y menor error típico de la estimación, siendo el siguiente modelo:

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

4.4.3. Relación entre el volumen estimado y el volumen real

En la tabla 17 se observa que no existe diferencia significativa entre el volumen estimado por el modelo y el volumen real con un nivel de significación de 0,982, mayor que 0,05, un error típico inferior a 0,1554 con una desviación típica inferior a 1,5458. Esto indica que es posible utilizar el volumen estimado por el modelo en el aserrío.

Tabla 17. Análisis de Anova para determinar la diferencia entre el volumen real y el volumen estimado

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Estimado	1,485375a	1,5458	0,1554
V Real	1,490436a	1,5447	0,1553
Media	1,485375a		
F	0,001		
Sig.	0,982		

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

En la figura 6 se representa el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto $V=0,0000563*d^{2,244}*L^{0,531}$ con un R^2 de 0,995. Esto indica que existe una alta correlación donde el volumen estimado se ajusta a una línea recta con respecto al volumen real de cada troza. Resultados similares a los obtenidos por Lores (2012) para las especies antes mencionadas y Rondón (2014).

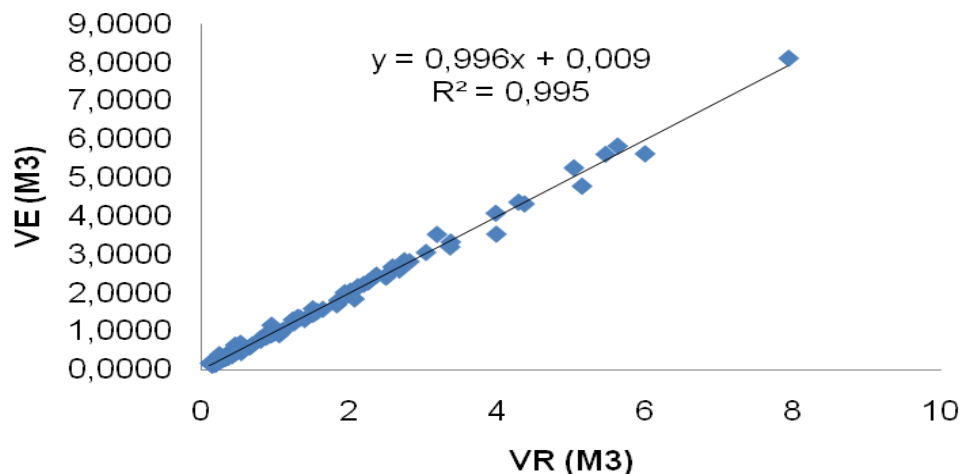


Figura 6. Relación entre el valor real y el estimado con el modelo de mejor ajuste

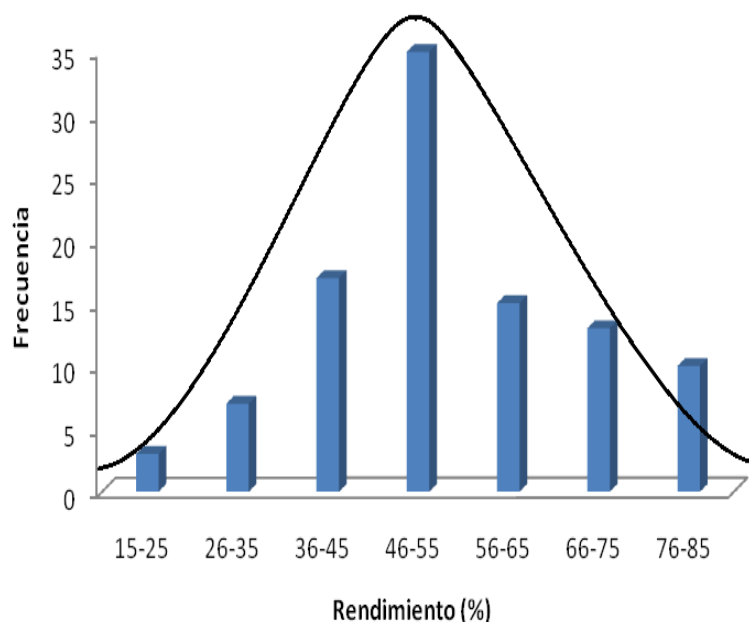
4.4.4. Tablas de volumen comercial para *Samanea saman*

La tabla de volumen comercial (Anexo 3) elaborada a partir del modelo de mejor ajuste sin lugar a duda será de vital importancia para la toma de decisiones en la Empresa Agroforestal de Guantánamo. Tiene aplicabilidad en el aserrío y las mediciones son más exactas para estimar el volumen y luego determinar el rendimiento de la madera aserrada. Los resultados son precisos y se puede asegurar que usando esta tabla los cálculos son más realistas que la cubicación por trozas.

4.5. Determinación del rendimiento

Al determinar el rendimiento del *S. saman* como se muestra en la figura 12 se obtuvieron valores del rendimiento que oscilan entre un 15% a un 85%, con valores promedios de 52,8%. La mayor frecuencia del rendimiento está entre

45% y 55%, coincidiendo con los valores medios. El rendimiento se comporta muy variable en las trozas pequeñas ya que estas presentan uno muy bajo, al igual que en las trozas más grande. Este rendimiento pudo ser mejor pero influyeron algunos factores como por ejemplo: la longitud, conicidad, diagrama de troceado, tipo de sierra, calidad de las trozas y el diámetro. Este último es



de gran influencia en el rendimiento según Mesa y Simón (2007) para trozas de diámetros pequeños este es menor pero a medida que la clase diamétrica aumenta los rendimientos son mayores y el rendimiento aumenta.

Figura 7. Histograma de frecuencia del rendimiento obtenido de *Samanea saman* Jacq en el aserrío Omar Ranedo.

4.5.1. Estimación del rendimiento

En la figura 8 podemos observar los modelos evaluados ya sean lineal o cuadrático para predecir el rendimiento del *Samanea saman* Jacq en función del diámetro donde el coeficiente de regresión (R^2) es de 0,34 en cada uno de los casos para un nivel de significación inferior a 0,05. A pesar de ser los modelos significativos es de destacar que no tienen una correlación fuerte al no seguir una línea de tendencia bien definida. Se escogió el modelo lineal ya que este es más sencillo. Suarez (2011) utilizó los mismos modelos para el *Pinus cubensis* Griseb donde obtuvo un R^2 entre 0,53 y 0,56; y Álvarez *et al.* (2004) lo

utilizó para el *Pinus caribaea* Morelet en los aserríos de R. Fuentes, A. Barba y F. Donatien encontrando con valores de R^2 de 0,47 y 0,53.

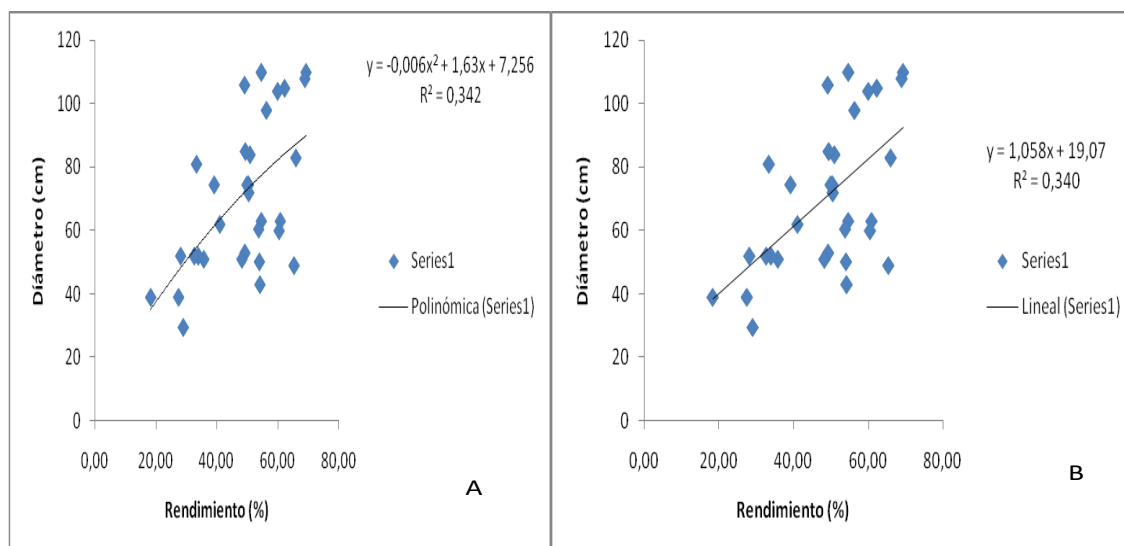


Figura 8. Estimación del rendimiento en función del diámetro con dos modelos estadístico (A) Cuadrático, (B) Lineal

El diámetro es uno de los factores que más afectan el rendimiento en la madera aserrada, ya que a medida que aumenta el diámetro el rendimiento también aumenta, por lo que tiene una influencia positiva, esto coincidió con la opinión de especialistas como Álvarez *et al.* (2004), Benítez (2014) y otros en diversas investigaciones realizadas donde indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío; demostrándose que en la medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío; por lo tanto el procedimiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos.

No obstante, el planteamiento de que las trozas de pequeñas dimensiones, en comparación con trozas mayores conduce a la reducción de los principales indicadores técnico-económicos de los aserraderos es sólo parcialmente válido, pues, realizando una óptima selección de la maquinaria y de los equipos es posible reducir la influencia negativa en los indicadores.

El efecto del diámetro sobre el rendimiento nos obliga a pensar en la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones y

trazar, además, una política que garantice en lo posible un mayor desarrollo de las existencias maderables con el objetivo de obtener trozas de grandes dimensiones y calidad destinadas a los aserraderos.

4.6. Análisis de la dimensión óptima de la madera aserrada

4.6.1. Determinación del porcentaje de contracción

La tabla 18 muestra el porcentaje de contracción para el *S. saman* es pequeña e igual a 3,11 resultados similares a los obtenidos por (Ibáñez *et al.*, 2007).

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

Tabla 18. Determinación del porcentaje de contracción

	Especies	% de contracción tangencial	Clasificación
1	<i>Samanea saman</i> Jacq	3,11	Pequeña

4.6.2. Control de las dimensiones para el surtido de 25 mm

Para el surtido de 25 mm del *Samanea saman* Jacq la madera se corta a 26,73 mm de grosor 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. No se tuvo en cuenta los 5 mm tolerancia según la Norma Ramal 43-17/1982. Teniendo en cuenta la dimensión óptima se debe de cortar a 29,94 mm para un 12 % de humedad y si se pudieran producir piezas sin variación de aserrado se debería de cortar a 25,47 mm (Figura 9).

Resultados similares a los obtenidos por Nájera *et al.* (2011) donde mostraron que la calidad dimensional de la madera producida en los aserraderos en la región de El Salto, Durango es baja, ya que las dimensiones a las que se asierra actualmente no permiten que la madera alcance una dimensión final.

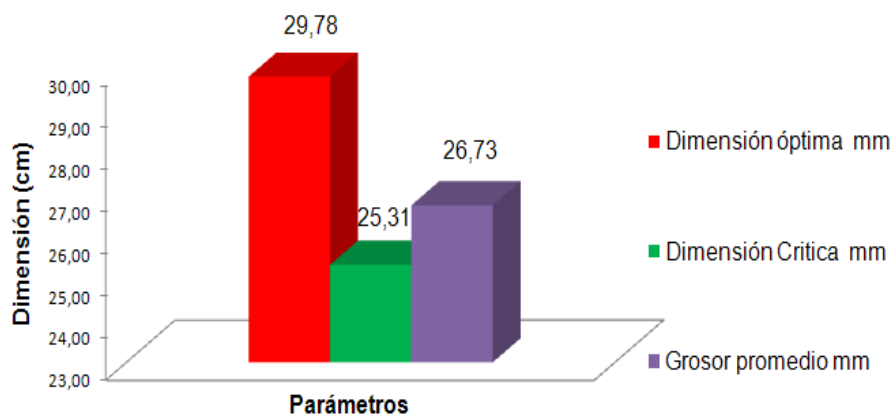


Figura 9. Dimensiones de la madera aserrada del *Samanea saman* Jacq del surtido de 25 mm

4.6.3. Control de las dimensiones para el surtido de 50 mm

Para el surtido de 50 mm del *Samanea saman* Jacq (Figura 10) la madera se corta a 51,59 mm 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. Teniendo en cuenta la dimensión óptima se debe de cortar a 60,12 mm para un 12 % de humedad, además no se tuvo en cuenta la Norma Ramal 43-17/1982 donde plantea que se debe cortar con una tolerancia de 7 mm.

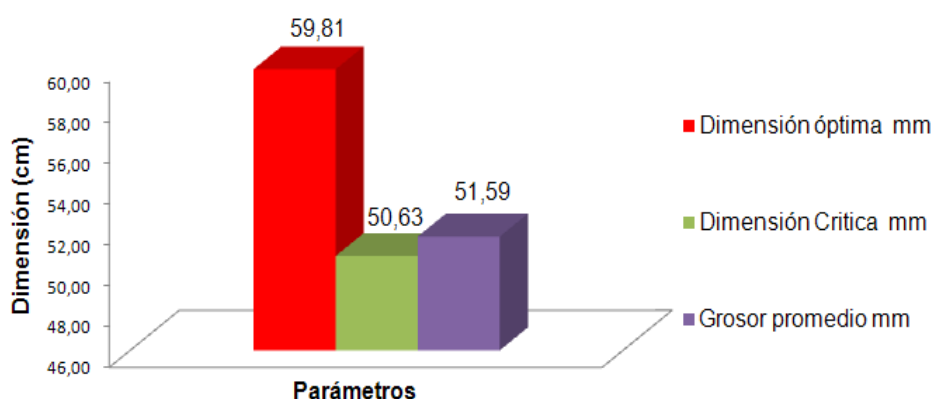


Figura 10. Dimensiones de la madera aserrada de *Samanea saman* Jacq del surtido de 50 mm.

Resultados similares fueron obtenidos por Álvarez *et al.* (2005) para los (surtidos 13; 50 y 100 cm.) en Rigo Fuentes; surtidos de 13; 50, 75 y 100 mm. en el Francisco Donatien. y surtidos de 75 y 100 mm en el Álvaro Barba.

Además Barrera *et al.* (2016) en la Empresa Agroforestal «Gran Piedra», Baconao, Santiago de Cuba plantea que en ninguno de los surtidos la madera verde se corta con tolerancias de volumen suficientes para satisfacer las dimensiones finales reglamentadas para el mercado en relación con la dimensión óptima para la especie.

4.6.4. Variación del proceso de aserrado del *Samanea saman* Jacq

En la tabla 19 se presentan los resultados relacionados con la variación total de aserrado para los surtidos de 25 y 50 mm en la especie con valores entre 2,71 y 5,56. Resultados similares a los obtenidos por Álvarez *et al.* (2005) para el establecimiento Rigo Fuentes valores que de cierta manera se acerca a los encontrados, pero sin embargo se encuentra por encima de los valores 1,14 – 1,75 mm reportados por Steele *et al.* (1992).

Como es lógico la gran variación de corte en el aserrío es resultado de las variaciones excesivamente grandes que ocurren dentro de las piezas y entre piezas. A este respecto, el análisis de los datos de cada surtido permite emitir dos consideraciones fundamentales:

1. La gran variación de grosor dentro de las piezas se debe a no solo a las desviaciones excesivas de la hoja de sierra respecto a su trayectoria normal, sino también 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 transportador le faltaba dos escuadras, siendo otra causa por la cual los surtidos no salen uniformes.
2. La gran variación de grosor que se observa entre piezas, se debe también 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 10 mm por encima o por debajo del grosor promedio.

Tabla 19. Variación del proceso de aserrado del *Samanea saman* Jacq

Parámetros	25 (mm)	50 (mm)
Desviación estándar dentro de las piezas, mm	1,62	2,42
Desviación estándar entre piezas, mm	2,16	5,01
Desviación estándar total del proceso, mm	2,71	5,56

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 el uso de modelos matemáticos son herramientas muy valiosas que todas las empresas forestales (aserraderos) 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.

4.7. Análisis económico

En la figura 11 se observa el rendimiento obtenido por la empresa de 54 % y el obtenido en este trabajo de 52,8 % con una diferencia 1,2 %, lo que indica que la empresa está sobreestimando el rendimiento, ya que muchas veces se trabaja mediante valores aproximados según la experiencia del trabajador y no existe un chequeador constante de trozas por trozas antes.

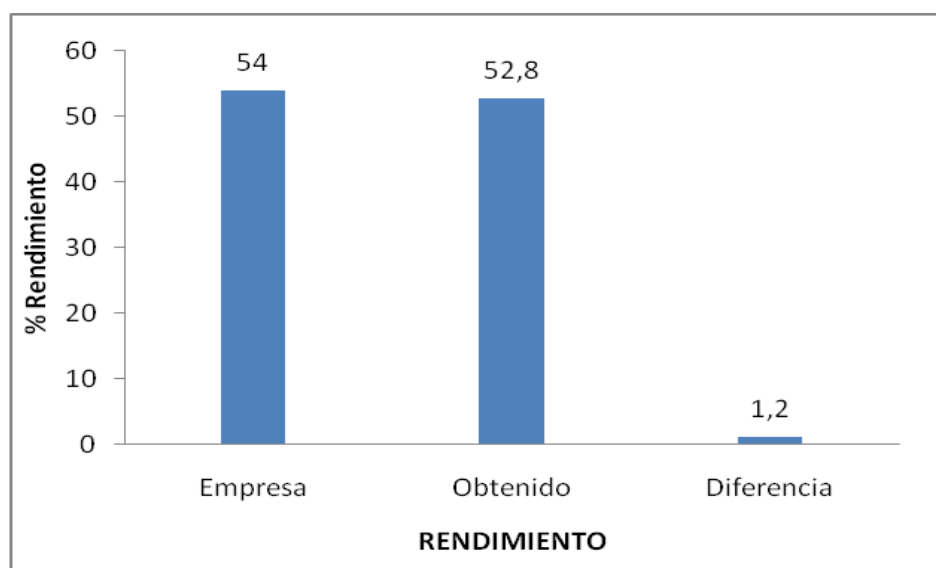


Figura 11. Rendimiento obtenido en la investigación y por la Empresa en el aserrío Omar Ranedo para *Samanea saman* Jacq

En la siguiente tabla se muestra el volumen de madera aserrada obtenido en este trabajo y el determinado por la empresa diario, mensual y anual. Donde la empresa sobrestima la producción en 44,8 m³ de madera aserrada en el año.

Tabla 20. Rendimiento y volumen de madera aserrada obtenido en la investigación y el de la empresa.

	Vma/diaria (m ³)	Vma/mensual (m ³)	Vma/annual (m ³)
R. Obtenido	6.8	164,27	1971,2
R. Empresa	7	168	2016
Diferencia	0,16	3,73	44,8

En la figura 12 se observan valores significativos de cómo se comporta el índice monetario de la empresa con respecto al obtenido donde se obtuvo una diferencia tanto en CUP como en CUC. La empresa sobrestima la producción en 1 555,31 CUP y 691,31 CUC al mes y 18 663,68 CUP y 8 303,12 CUC al año.

Estos datos son similares a los obtenidos por Fonseca (2014); La producción madera aserrada juega un papel fundamental en la economía nacional ya que sustituye importaciones para entidades de la economía nacional donde según OIMT (2014) los precios de la madera en bolo y aserrada en el en el mercado mundial han aumentado.

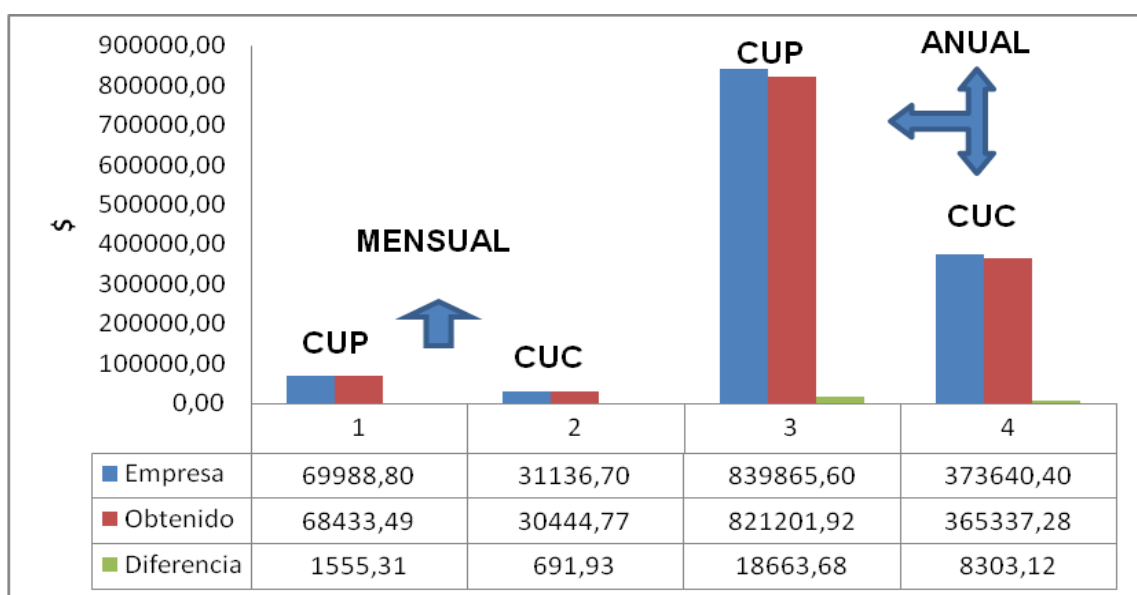


Figura 12. Valor de la madera aserrada en CUP y CUC anual del *Samanea saman* Jacq. en el aserrío Omar Ranedo

Se debe 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 idea real de la ficha de costo para la producción de los diferentes productos maderables; lo que posibilitará en su conjunto optimizar el proceso de producción.

Conclusiones

IV. CONCLUSIONES

- 1- Las trozas evaluadas de *Samanea saman* en el aserrío Omar Ranedo se caracterizan por tener un diámetro que varían desde 14 cm de diámetro hasta 134 cm, con una longitud que varía entre 2 m hasta 8 m. El grosor de corteza promedio es de 1,03 cm y se puede estimar el diámetro sin corteza a partir de la siguiente ecuación $D_{sc} = -3,497 + 1,040d_{cc}$.
- 2- Para construir la tabla de volumen comercial se seleccionó el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall: $V = 0,000128 * d^{1,906} * L^{1,028}$, ya que tiene un buen ajuste, con un R^2 de 0,996, un error cuadrático medio de 0,003 y una diferencia agregada de 0,0072..
- 3- Se obtuvo un rendimiento de 52,8% y la madera se corta 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 que ocurren entre y dentro las piezas, por lo que se debe tener en cuenta debido a las condiciones técnicas de las maquinarias y a la habilidad del personal.
- 4- La Empresa subestima la producción en pesos por metros cúbicos de madera aserrada con una diferencia de 1,2% de rendimiento entre lo obtenido en la investigación y lo valorado por la empresa, lo que representa una sobrestimación de la producción anual en 18 663,68 cup y 8 303,12 cuc al año.

Recomendaciones

V. RECOMENDACIONES

1. Continuar profundizando en el estudio de los defectos de la madera en bolo y su influencia en la calidad y el rendimiento de la madera aserrada.
2. Que se utilice por la Empresa Agroforestal de Guantánamo la tabla de volumen comercial para estimar el volumen de madera de las trozas de *Samanea Saman* (Jacq.) Merr. debido a que presenta resultados exactos y precisos.
3. Utilizar el software "Control" para incrementar la calidad dimensional de la madera aserrada a partir del análisis de las dimensiones promedio obtenidas y la variación del corte en diferentes surtidos.

Bibliografías

BIBLIOGRAFÍAS

- Akwasi, O. A. (2004). En busca de calidad. Actualidad Forestal Tropical. Volumen 12 (1). P 6.
- Álvarez L. D., Betancourt F. Y. Gonzales C. I. (2013). Tecnología de la madera. Editorial Félix Varela. España. P 159.
- Álvarez O. P. Az. (2007). Propuesta De Clasificación De Las Especies Maderables Para El Manejo Forestal Integral (Primera Parte). Revista Forestal Baracoa vol. 26 (2), diciembre 2007.
- 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, L. D.; Prades, C.; Jiménez, F. J.; Estevez, (2004). Eficiencia de los aserraderos. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/influencia-trozass-pinus-sp-rendimiento-madera-cuba/influencia-trozass-pinus-sp-rendimiento-madera-cuba2.shtml#ixzz4AQalHyea>. Consultado el 28/5/2016.
- Benítez O. L. (2014). La influencia de la calidad de las trozas sobre eficiencia de los procesos de transformación de las trozass de *pinus* sp. en la Empresa Forestal Integral Minas. SIMFOR 2014. Universidad de Pinar del Río.
- Bertrand I. & Prabhakar M. (1990). Control de calidad. Teoría y aplicaciones. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid. P 124.
- Bolerí T. D. (2007). Influencia de los defectos de la madera en bolo del *Calophyllum antillanum* en el rendimiento y calidad de la madera aserrada. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.
- Brown, T. D. (1986). Lumber size control. Forestry Business. College of Forestry. Oregon State University. USA. P 16.
- Castro A.; Molina F. R.; Rojo A. A.; Sánchez F. R. (2007). Manual de silvicultura 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 del sur. 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. PP 7-11.
- Ebnes, Cato. (1984). Circular Sawmill. Case study prepared for the FAO potfolio of small scale forest industries for developing countries. FAO, Roma, Mayo. Pág. 1
- 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.
- Fleming, T. (1976). Modifying a mill to fit today's logs. In proceedmys of the sixth sawmill climec. PP 73-85.
- Fonseca L. M. (2014). Control de la calidad dimensional en el aserrío de Cayo Güin EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.
- García D. J. M. (2007). Clasificador De Madera En Bolos. Norma Ramal NRAG 2007. Ministerio de la Agricultura. Pag 15
- 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; Guindeo, A; Peraza, C & De Palacios, P. (2002). La madera y su tecnología. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Multiprensa. AITIM. Madrid. 322 p.
- García, R. (1991). Normalización, metrología y control de la calidad para la industria ligera. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad Habana. 947 pp.
- Hernández C. G. (2009). Evaluación de las normas de clasificación de la madera en bolo de coníferas y latifolias en la EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 p.
- 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.
- Intenet 1: Defectos de la madera (2006): <http://www.interelectron.com/apuntes/madera.doc>. **14/5/10**
- Jay, C. P. (2014). Entrevista al Jefe de producción del aserrío Omar Ranedo de la EFI Guantánamo. 8/5/2014.
- Johnson H (1996). La Madera. Editorial BLUME, Barcelona. P 48.
- Mesa A, Simón D. (2007). Aserrío de trozas de diámetros menores. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 4(10).
- MINAYA, J. (2006). Términos de referencia para la elaboración de estudios de rendimiento de aserrío de madera. MINAG. INRENA. Lima-Perú.
- 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 43-17/ (1982). Clasificación de la madera aserrada. Especies coníferas. Vigente a partir de: Julio 1983.
- OIMT (2014). Tendencias del Mercado. Revista Actualidad Forestal Tropical. ISSN 1022-5439. 23.(2). 23-25P

- 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.
- ONE (1998). "Censo Nacional de Aserraderos", La Habana ONE. P 16.
- Oviedo P. R. y González L. O. (2015). Lista nacional de plantas invasoras y potencialmente invasoras en la República de Cuba – 2015. Revista Jardín Botánico Nacional. Bissea, ISSN 199-4189. 9(2). 93pp
- Oviedo R. P. (2013) Especies nativas de prioridad para intereses forestales a fortalecer su presencia y desarrollo en áreas bajo influencia del Proyecto: "Un enfoque paisajístico para conservar ecosistemas montañosos amenazados". Herbario Nacional de Cuba (HAC). Instituto de Ecología y Sistemática (IES). CITMA. 9 pp
- Pacheco, M. M y Pacheco, P. (1988). Análisis del comportamiento de la producción de madera aserrada en el establecimiento Alvaro Barba utilizando gráficos de control. Universidad de Pinar del Río. 80 pp.
- Pedraza, L. O. R. (2009). Resolución No. 372. Ministry of Finances and Prices. Dada en la ciudad de La Habana. Ratnasingan, T.
- Regalado L., González L. O., Fuentes I. y Oviedo R. (2012). Pas plantas invasoras en Cuba. Revista Jardín Botánico Nacional. Bissea, ISSN 1998-4189. 6(1). 132 pp
- Rojas R. A. (2015). Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la Provincia de Guantánamo. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 p.
- Rosete S. B., Pérez C. J, Ricardo N. N. y Sanchez R. O. (2011). Bosques de Cuba. Editorial Científico Técnico. La Habana, Cuba. 192pp.
- Sablón A. M. (1988) Dendrología. Ed. Pueblo y Educación, La Habana. 46-47P.
- Serrano M. J. R. Bermudez C. G. (2006). Costos de producción de madera aserrada de *Pinus oocarpa* (sp).
- Steele, P, H., T, El-Radi y S, H, Bullard. (1992). Direct comparison of

processing technology in hardwood and softwood sawmills. In: Proceedings of Structural Panels and Composites Lumber Symposium. USA. p 7.

Suárez B. N. (2011). Determinación de la calidad y el rendimiento de las trozas de madera de *Pinus cubensis* Grisesb en el aserrío del Toa de la EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.

Todoroki, C (1995). Log rotation effect on carriage sawing of sweep logs. New Zealand Journal of Forestry Science 25 (2): 246-255p.

Valério, A.F.; Watzlawick, L.F.; Dos Santos, R.T.; Brandelero, C.; Koehler, H.S., (2007). Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. Floresta, 37(3): 387-398.

Vignote, S. y Jiménez, P. F. J. (1997). Tecnología de la madera. Ed. MAPA-Mundi-Prensa. Madrid. P 242.

Vital, B.R. (2008). Planejamento e operação de serrarias. Viçosa, MG, Editora UFV. 211 p.

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.

Young, T. M., B. H Bond and J. Wiedenbec. (2007). Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. Forest Products Journal. 57(9): 54-62pp.

Zabala, D. (1991). Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo académico. 44. Universidad Autónoma Chapingo. México. 49 pp.

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-](http://www.monografias.com/trabajos89/control-calidad-procesos-transformacion-mecanica-madera/control-calidad-procesos-transformacion-mecanica-madera/)

- 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.
- Lores P.Y. 2012. Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. 169p.
- Leyva M. I., Rojas R. A. y Segurado G. Y. 2017. Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la provincia de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 5(3):340-35pp.
- SUNDHOLM, P. 2015. Statistical Process Control for the Sawmill Industry. Tesis de Maestría inédita. Department of Physics Umea University Sweden.
- Barrera B. A., Álvarez L. A., Peñalver R. A., Leckoundzou A., Ramírez L. A., Fernando F. A. 2016. Aplicación del proceso de control estadístico para incrementar la calidad de la madera aserrada de *Pinus maestrensis* Bisse en la Empresa Agroforestal «Gran Piedra», Baconao, Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(1):111-118pp. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/143>. Consultado 12 de enero 2018.
- IFFS – INRENA. 2008. Criterios básicos a ser considerados en las metodologías para estudios de rendimiento (propuesta): Metodología para determinar el coeficiente de rendimiento en el aserrío de madera rolliza. INRENA. Lima – Perú. 26 p.
- Huaycama P. W. 2019. "Rendimiento y costos de producción en la transformación de madera rolliza a madera aserrada de la especie

Yacushapana (*Terminalia oblonga*) en el aserradero Corporacion industrial forestal sac. Loreto–Perú”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Perú 74P.

Leyva M. I., Segurado G. Y., Gómez M. y La O M. Y. 2015. Evaluación de las normas de clasificación de la madera en bolo en aserríos. Revista Hombre, Ciencia y Tecnología 19 (4) pp. 25-31.

Barceló, R. H. (2010). Evaluación de la calidad de la madera en bolo en diferentes especies en el aserrío de Cayo Güín, EFI Baracoa. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 p.

Anexos

ANEXOS

Tabla 1. Análisis de regresión para la conicidad.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.992(a)	.985	.984	.36800

a Variables predictoras: (Constante), Df, L, Dg

Tabla 2. ANOVA para la conicidad.

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	850.345	3	283.448	2093.085	.000(a)
	Residual	13.000	96	.135		
	Total	863.345	99			

a Variables predictoras: (Constante), Df, L, Dg

b Variable dependiente: C