



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO  
FACULTAD AGROFORESTAL**

**MEMORIA ESCRITA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN  
CIENCIAS FORESTALES**

Mención: APROVECHAMIENTO FORESTAL

Modelos matemáticos que posibiliten la predicción en el rendimiento y calidad de la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos de árboles en pie de *Pinus cubensis* Griseb.

**Autora:** Ing. Dailyn Estremera Rivas

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO  
FACULTAD AGROFORESTAL**

**MEMORIA ESCRITA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN  
CIENCIAS FORESTALES**

Mención: APROVECHAMIENTO FORESTAL

Modelos matemáticos que posibiliten la predicción en el rendimiento y calidad de la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos de árboles en pie de *Pinus cubensis* Griseb.

**Autora:** Ing. Dailyn Estremera Rivas

**Tutor:** Dr. C. Daniel Álvarez Lazo

**Guantánamo, 2021**

**“Año 63 de la Revolución”**

# *Pensamiento*



# *Pensamiento*

La naturaleza inspira, cura, consuela, fortalece y prepara para la virtud del hombre. Y el hombre no se halla completo, ni se revela a sí mismo, ni ve lo invisible, si no en su íntima relación con la naturaleza.



**José Martí**

# *Dedicatorias*



# *Dedicatorias*

Este trabajo de diploma lo dedico en especial a:

- Mis padres Vicente Estremera Álvarez y Carmen Rivas Céspedes por apoyarme en todo el transcurso de superación ya que a pesar de todo siempre me han dado fuerzas para continuar superándome en la vida y me dieron la luz de la esperanza para hacer realidad este inolvidable e importante hecho.
- A mi hermana Danelis Estremera Rivas por su apoyo incondicional y estar presente en cada momento de mi vida. A la revolución cubana.

# *Agradecimientos*



# *Agradecimientos*

Para alcanzar un propósito, depende en gran medida de nuestro interés y esfuerzo para eso siempre habrá personas que contribuirán a que tus metas se cumplan y se hagan realidad, de este modo quisiera agradecer a aquellas personas que influenciaron con una actitud positiva en mi preparación como futuro profesional, los cuales recordaré y estaré eternamente agradecido.

- Ante todo, le doy gracias a Dios y a la Virgen por haberme dado la posibilidad de graduarme con la preparación que exige esta Revolución, que ha puesto en mis manos todos los recursos que he requerido con el simple interés de que sea un profesional competente y capaz de enfrentar cualquier obstáculo y que sirva como base de esta Revolución y de este modo le de continuidad a la misma.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi hermana y esposo por estar presente en todos los momentos de mi vida.
- A mi tutor Daniel Álvarez Lazos por todo su apoyo, comprensión y conocimientos brindados.
- A mis amigas Mariexy, Dayamí y Carmen y que siempre me han apoyado y han estado pendiente en la evolución y realización de este trabajo.
- Al colectivo de profesores del departamento de forestales principalmente al profesor Yordan Lores y Yuris Rodríguez Matos por su dedicación, entre otros que me han influenciado su pasión por la carrera.
- A Alexander Ramírez López por su apoyo y dedicación.



# *Resumen*



## RESUMEN

El trabajo se realizó en la Empresa Agroforestal “Sierra Cristal” del municipio “Segundo Frente”, provincia “Santiago de Cuba”, de febrero de 2019 a abril de 2021, con el objetivo de estimar modelos matemáticos que posibiliten la predicción en el rendimiento y calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dendrométricos de los árboles en pie de *Pinus cubensis* Griseb. Para ello se determinó el tamaño de la muestra e intensidad del muestreo, los índices dasométricos y dendrométricos, el volumen por hectárea y por clase diamétrica, además del número de árboles por hectárea, la conicidad y el rendimiento. Se realizó un análisis de los modelos de regresión de volumen y de modelos por clases diamétricas, incluyendo una modelación matemática de la influencia de los parámetros dendrométricos de los árboles en pie sobre los rendimientos de la madera aserrada y se evaluaron los resultados económicamente. El tamaño de muestra fue óptimo al ser representativo y suficiente para las tres variables de interés fundamentales, además se demostró que existe correlación entre ellas. Las trozas de dimensiones pequeñas son generalmente asociadas con un costo de conversión alto, reducción del rendimiento, baja estabilidad de las dimensiones y aumento del número de defectos, se aprecia que los rendimientos de madera aserrada van decreciendo desde la base hasta la rabiza; lo cual es consecuencia directa del aumento de la conicidad por el decrecimiento de los diámetros con la altura y se determinó que los modelos matemáticos muestran una mayor exactitud que las formulas convencionales.

Palabras claves: modelos matemáticos, rendimiento, calidad de madera y parámetros dendrométricos.

# *Abstract*



## **ABSTRACT**

The work was carried out in the Company Agroforestal "Sierra Glass" of the municipality "Second Front", county "Santiago from Cuba", of February of 2019 to April of 2021, with the objective of estimating mathematical models that facilitate the prediction in the yield and quality of the wood sawed starting from parameters dendrométricos of the trees in foot of *Pinus cubensis* Griseb. For it was determined it the size of the sample and intensity of the sampling, the index dasométricos and dendrométricos, the volume for hectare and for class diamétrica, besides the number of trees for hectare, the conicidad and the yield. He/she was carried out an analysis of the models of regression of volume and of models for classes diamétricas, including a mathematical modelación of the influence of the parameters dendrométricos of the trees in foot on the yields of the sawed wood and the results were evaluated economically. The sample size went good to the representative and enough being for the three fundamental variables of interest, it was also demonstrated that correlation exists among them. The trozas of small dimensions is generally associated with a high conversion cost, reduction of the yield, low stability of the dimensions and increase of the number of defects, are appreciated that the sawed wooden yields go falling from the base until the rabiza; that which is direct consequence of the increase of the conicidad for the decrecimiento of the diameters with the height and it was determined that the mathematical models show a bigger accuracy that you formulate them conventional.

Key words: mathematical models, yield, wooden quality and parameters dendrométricos.

# *Índice*



# Índice

<b>Índice</b>	<b>Pág</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1. Características de la especie <i>Pinus cubensis</i> Griseb	4
2.2. Estimación de la calidad y potencial productivo de las plantaciones forestales.	5
2.2.1. Como determinar la calidad de los árboles en pie	5
2.2.2. Calidad de cada troza o pieza comercial	6
2.2.3. Calidad del árbol en pie o completo	8
2.3. Industria del aserrío	8
2.3.1. Clasificación de los aserraderos	9
2.4. Factores que influyen sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada	9
2.4.1. La calidad de las trozas y algunos factores asociados a la silvicultura	10
2.5. Factores y propiedades que afectan la calidad de la madera	11
2.5.1. Variables dendrométricas que afectan el rendimiento de la madera aserrada	12
2.6. Análisis de los principales defectos de la madera	15
2.6.1. Defectos en la madera	15
2.7. Métodos estadísticos para el control de la calidad en los aserraderos	20
2.7.1. La estadística como herramienta	20

2.7.2. Proceso para el control estadístico de la calidad en la madera aserrada.	22
2.7.3. Control de la calidad	22
<b>III.MATERIALES Y METÓDOS</b>	<b>24</b>
3.1. Condiciones de trabajo	24
3.1.1. Características generales del territorio de la Empresa Agroforestal Sierra Cristal.	24
3.1.1.1. Características de las plantaciones de Pinus cubensis Griseb	26
3.2. Metodología utilizada	27
3.2.1. Determinación de tamaño de muestra e intensidad del muestreo	27
3.3. Índices dasométricos y dendrométricos	29
3.3.1. Determinación del volumen por hectárea y clase diamétrica	31
3.3.2. Determinación del número de árboles por hectárea	31
3.3.3. Conicidad	31
3.3.4. Rendimiento	32
3.4. Análisis de los modelos de regresión de volumen	33
3.4.1. Modelación matemática de la influencia de los parámetros dendrométricos de los árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada.	33
3.4.2. Selección del modelo	34
3.5. Análisis de los modelos por clases diamétricas	37
<b>IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
4.1. Influencia de los parámetros dendrométricos y la presencia de nudos en la madera aserrada a partir de la magnitud del diámetro a 1.30; diámetro de las ramas; conicidad y altura hasta la primera rama en la calidad de la madera en pie de Pinus cubensis Griseb.	39

4.1.1. Determinación del tamaño de la muestra (intensidad de muestreo)	39
4.1.2. Principales defectos que aparecen en la madera en troza de Pinus cubensis.	42
4.1.3. Clasificación de los árboles en pie.	44
4.1.4. Influencia de la posición de la troza en el árbol sobre los rendimientos de la madera aserrada.	46
4.2. Modelos para estimar el rendimiento de madera aserrada a partir de las variables dendrométricas.	50
4.2.1. Procesamiento de las informaciones de las parcelas (índices dasométricos)	50
4.2.2. Procesamiento de las informaciones de las parcelas (índices dendrométricos)	51
4.2.3. Ensayo de los modelos	51
4.2.4. Modelo de evaluación utilizando el análisis de elasticidad.	59
4.2.5. Interacción entre los factores.	62
4.3. Ensayo de los modelos Matemáticos por clases diamétricas.	63
<b>V.CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	



# *Introducción*



## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques son fuentes inagotables de una multiplicidad de bienes y servicios imprescindibles a la sociedad. Su carácter renovable, su potencial para generar empleo, sustituir importaciones, descentralizar y diversificar los mecanismos de producción e impulsar el desarrollo rural, le otorgan al recurso forestal un potencial particularmente valioso y estratégico para contribuir de forma sostenida y permanente a la estabilidad social de muchas naciones en desarrollo (Vlasov *et al.*, 1967).

En la nueva era de la globalización, la sostenibilidad de los procesos de producción en todo su contexto y las exigencias de los tratados y convenios internacionales, impone nuevos retos a las empresas e instituciones que requieren perfeccionar sus métodos de producción y poder ofertar al mercado un producto que satisfaga los intereses y demandas de la sociedad y principalmente que permita asegurar tanto a las generaciones presentes como futuras los bienes y servicios que proporcionan los bosques (Fahey *et al.*, 1993).

Los mismos autores explican que la industria de la elaboración primaria de la madera a escala mundial se encuentra frente al reto de mejorar los niveles y calidad de los productos y procesos, ya que la madera continúa siendo un producto muy apreciado, no solo por sus características que la hacen insustituible para algunos usos, sino también por su carácter multipropósito y que se obtiene de fuentes de materia prima renovable.

En Cuba las plantaciones de *Pinus* han ido incrementándose considerablemente, atendiendo a que por su versatilidad juegan un rol protagónico en los planes de reforestación del país (Herrero, 2004).

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

garantiza en su procesamiento ulterior madera aserrada con un máximo de calidad (Herrero, 2004).

La industria del aserrado en Cuba está muy alejada de los resultados de productividad medios anuales de una determinada cantidad de países, expresando que son muchas las causas que provocan esto, pero sin dudas la inadecuada infraestructura juega un papel predominante; lo cual ha sido expuesto por Levsque (2009).

Los cambios experimentados en la tecnología, y la tendencia de tratar de satisfacer las demandas de una población creciente, implican una mayor exactitud en la determinación de los volúmenes de madera así como en el rendimiento y calidad en los aserraderos (Álvarez *et al.*, 2003).

No obstante Álvarez *et al.* (2010), expresan que en los últimos años se han puesto en marcha aserríos más modernos, con una tecnología más avanzada que favorece la calidad de la madera obtenida, y permite elevar la productividad industrial y la eficiencia técnica y económica.

La predicción mediante modelos matemáticos son herramientas muy valiosas que todas las empresas forestales deberían implementar, para optimizar el rendimiento de madera aserrada. Estos modelos constituyen una necesidad para las empresas mejorar sus ingresos y tal vez lo más importante, disminuir la pérdida de madera (Leckoundzou, 2015).

La construcción de modelos matemáticos y su posterior validación son aspectos centrales del método científico para poder determinar o predecir los rendimientos y calidad de la madera aserrada que se obtendrán después de seleccionados los árboles que serán talados. Sí algo caracteriza a las ciencias modernas es el uso extensivo de modelos matemáticos, cuya precisión y capacidad predictiva son enormemente mayores que la de modelos de otro tipo (Leckoundzou, 2015).

En los aserraderos de la provincia Santiago de Cuba, existen bajos niveles de productividad y calidad en la madera aserrada, lo que implica la necesidad de una planificación por exceso de las necesidades reales de madera en bolo en los

aserraderos y con la implementación de tecnología viable se debe disminuir la extracción de madera de los bosques, ya que se trabajaría de forma integral desde el bosque hasta la industria, prediciendo los volúmenes y grosores de los árboles a talar para alcanzar los rendimientos deseados.

**Problema:** Cuál será el rendimiento y calidad de la madera aserrada a partir del ensayo de modelos matemáticos para su predicción que evite la sobreexplotación de la materia prima.

**Objeto:** modelos matemáticos para predecir la madera aserrada de *Pinus cubensis* Griseb.

**Hipótesis:** Si se estiman modelos matemáticos que posibiliten la predicción en el rendimiento y calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dendrométricos, así como los defectos de los árboles en pie, entonces se podrá conocer una planificación adecuada de las necesidades de madera en bolo para satisfacer la demanda establecida de *Pinus cubensis* Griseb.

**Objetivo general:** Estimar modelos matemáticos que posibiliten la predicción en el rendimiento y calidad de la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos de árboles en pie de *Pinus cubensis* Griseb.

**Objetivos específicos:**

1- Determinar la influencia de los parámetros dendrométricos y la presencia de nudos en la madera aserrada a partir de la magnitud del diámetro a 1.30 m; diámetro de las ramas, conicidad y altura hasta la primera rama en la calidad de la madera en pie.

2- Probar modelos matemáticos en función del rendimiento, calidad en la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos y defectos de la madera de los árboles en pie.

3. Ensayar modelos matemáticos por clases diamétricas para predecir rendimiento, calidad en la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos y defectos de la madera de los árboles en pie.

# *Revisión Bibliográfica*



## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Características de la especie *Pinus cubensis* Griseb

La especie *Pinus cubensis* Griseb, es de la familia Pinaceae que tiene como nombres comunes: pino de Mayarí, pino de Moa y pino de Baracoa, es una especie endémica de la región nororiental de Cuba, que se encuentra desde la Sierra de Nipe hasta el este de Baracoa, se puede encontrar hasta los 1000 msnm, con precipitaciones anuales que oscilan entre los 1500 y 3000 mm y temperaturas de 21 a 25 °C (Betancourt, 1987).

El mismo autor explica que es una especie heliófila que forma rodales puros de tamaño mediano, separados por fajas de especies latifoliadas, principalmente a lo largo de cursos de agua. Crece en suelos lateríticos muy permeables y con elevado contenido de hierro. También se encuentra en suelos de origen calizo, es una especie que soporta hasta 5 meses secos al año. Alcanza en su desarrollo alturas que están entre los 35 y 45 metros y diámetros de 50 – 100 cm de fuste cónico, con copa densa y ramas finas. Su floración se produce durante los meses de febrero a marzo y la cosecha de sus frutos es desde finales de junio a septiembre. Su madera de múltiples usos es utilizada para vigas, encofrados, acabados interiores y construcción en general.

Las plantaciones de *Pinus cubensis*, constituyen el principal renglón económico para la producción de madera de las empresas forestales que se encuentran en esta región del país, por lo que la silvicultura aplicada a estas plantaciones en la cantidad y el momento adecuado, así como su protección contra plagas y enfermedades definirá la calidad de la materia prima que se llevará a la industria (Echevarría, 1985), más adelante Vignote (1996) expresa lo importante de la realización oportuna de los tratamientos silviculturales es que previene la aparición de defectos en la madera como son los nudos y rectitud del fuste y los da como la mejor solución a los problemas que presenta la madera en su comercialización.

## **2.2. Estimación de la calidad y potencial productivo de las plantaciones forestales**

Las plantaciones forestales, técnicamente manejadas constituyen un valioso recurso natural renovable, con potencial para abastecer la industria forestal y mantener su producción en forma sostenida, sin que sea necesario sacrificar el hábitat silvestre y los majestuosos árboles del bosque natural. En comparación con muchas formaciones boscosas, estas plantaciones pueden producir más madera por unidad de superficie y en menor tiempo. En las mismas es posible aprovechar mejor la capacidad productiva de cada sitio al cultivar sólo una o un reducido número de especies maderables con propiedades aptas para fines de aserrío (Serrano, 2003).

Usualmente se estima el volumen total del bosque a partir de modelos biométricos (Martínez *et al.*, 1993 y Peri *et al.*, 1997), donde se le clasifica de acuerdo a diferentes parámetros estructurales (frecuencias diamétricas, fases de desarrollo, clases de copa, forma del fuste y sanidad del árbol). A partir de estas clasificaciones se estima un "volumen aprovechable" por rodal.

Los resultados que se obtienen son muy variables dependiendo de las estimaciones llevadas a cabo en el campo, siendo poco confiables y precisas, por lo que rara vez son utilizadas cuando se requiere una correcta planificación del manejo forestal. El carácter subjetivo, intrínseco a la estimación visual realizada, convierte a dicha estimación en un factor de distorsión en la evaluación de las existencias reales (Piterbarg, 1965).

### **2.2.1. Como determinar la calidad de los árboles en pie**

El principio se basa en la determinación de la calidad del árbol completo o de sus primeras 4 trozas comerciales (2,5 metros de largo), en 4 categorías: Calidad 1 o sobresaliente, Calidad 2 o aceptable, Calidad 3 o marginal y Calidad 4 o árbol no aserrable (Murillo, 2001).

Esta metodología ha tenido especial aplicación en la valoración y comercialización de madera en pie, para la toma de decisiones y priorización de la cosecha forestal,

planificación industrial, y principalmente para estimar a edad temprana si la plantación rendirá comercialmente lo esperado (Murillo y Camacho, 1997).

El principio de estimación de la calidad y potencial productivo se basa en un procedimiento de muestreo o inventario sistemático de la plantación, utilizando parcelas circulares de tamaño fijo, que se ubican equidistantes a lo largo de fajas de muestreo. Con los árboles que se incluyen en las parcelas de muestreo se procede a estimar la calidad del árbol completo o de sus primeras 4 trozas comerciales (de 2,5 metros de largo) (Murillo y Camacho, 1997).

Murillo (2000) explica que la asignación de la calidad se basa en variables cuantitativas y cualitativas, que se le examinan a cada individuo dentro de las parcelas circulares de muestreo, dependiendo de la especie se pueden adicionar algunas otras características cualitativas, que puedan afectar de forma importante la calidad y utilidad de la materia prima que producirán esos árboles.

El mismo autor explica que para la estimación de la calidad se han propuesto índices para poder contar con parámetros englobadores de calificación de la calidad de una plantación forestal, que conduzcan fácilmente a una interpretación de su calidad, y se pueda comparar con respecto a otras plantaciones. Es también de suma importancia, contar con algún parámetro que permita conocer el estado actual de la calidad y que permita a futuro una verificación de la mejoría del paquete silvicultural desarrollado con esa misma especie.

### **2.2.2. Calidad de cada troza o pieza comercial**

Amoah, M (2011) se refiere a la calidad de las primeras trozas en unidades de 2,5 m cada una, dejando 10 cm de tocón. Normalmente se evalúan las 3 o 4 primeras trozas del árbol, ya que son las de mayores dimensiones, mejores características físico mecánicas, y por ende, de mayor impacto económico. Para algunas especies, como los Pinos y algunos Eucaliptos, es perfectamente posible evaluar hasta 6 o más trozas, según proceda. Cada troza se deberá evaluar en forma independiente:

- **Para la calidad 1**



se requiere de trozas completamente rectas o muy levemente torcidas, que no posean presencia de plagas y enfermedades, heridas, nudos grandes, grano en espiral, rabo de zorro, la troza de calidad 1 es únicamente aquella que presenta no menos de 25 cm de diámetro con corteza en su cara menor y se presenta absolutamente libre de ramas. Por lo tanto, la sola presencia de ramas descalifica inmediatamente la troza de la calidad 1.

#### **- La troza de calidad 2**

requiere de un fuste aceptablemente recto o aserrable, con ramas que se insertan en el fuste en ángulo de 60°C. Presencia o evidencia de la existencia de ramas gruesas, presencia de muchas ramas y fuste levemente inclinado. Se sabe que, para la mayoría de las especies, las propiedades físico mecánicas disminuyen en relación con la altura del fuste.

En plantaciones maduras, se incluyen en esta categoría también, todas aquellas trozas que no alcanzan un diámetro de 20 cm, (este valor de diámetro está directamente relacionado con niveles más altos de productividad y rentabilidad en el procesamiento de la madera). También todas aquellas trozas que a pesar de sus excelentes características no alcancen los 25 cm de diámetro en su cara inferior. Este tipo de trozas son potencialmente calidad 1 pero en el momento presente deberán ser calificadas como de calidad 2. Aquí también se incluyen todas aquellas trozas que, por su sola presencia de alguna rama, ya no podrán producir madera de calidad 1 o totalmente libre de nudos.

#### **- En la calidad 3**

clasifican las trozas que presenta al menos una de las siguientes características o condiciones que le permiten un aserrado de tan solo un 50% del fuste: torceduras severas, grano o hilo en espiral, árbol muy inclinado, con bifurcaciones, ramas muy gruesas, abundantes o insertando en ángulo menor de 45 grados; heridas importantes en el fuste por podas, presencia de ramas viejas, o daños por plagas y enfermedades; con un diámetro sin corteza en su cara

menor cercano o ligeramente inferior a los 10 cm, y que no tiene las medidas mínimas de comercialización ( 2,5 metros de largo).

#### **- Calidad 4**

Son trozas totalmente no aserrables, tanto por sus características físicas como por sus dimensiones (menores a 10 cm de diámetro sin corteza).

#### **2.2.3. Calidad del árbol en pie o completo**

Se refiere a la evaluación de la calidad de un árbol en su totalidad, utilizando simplemente los mismos principios descritos para la evaluación de trozas en forma individual. Esta es una calificación relativamente más rápida y puede tener utilidad en muestreos con niveles de precisión menor u otros objetivos, pero también cuando se desee tener una estimación rápida del potencial de aserrío de una plantación. (Zhang et, al 2002)

El mismo autor explica que cuando se quiera obtener la calidad total del árbol a partir de la evaluación de sus trozas individuales, entonces se procede simplemente a asignarle al árbol la calificación menor obtenida en las primeras 2 trozas.

### **2.3. Industria del aserrío**

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales, el aserrado ha existido en formas sencillas desde hace siglos, aunque ha sido en estas últimas décadas cuando se han producido importantes avances tecnológicos con la mejora en el diseño de las sierras y la automatización de la clasificación y otras operaciones (Egas, 1998).

NMX-C-359 (1998) expresa que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos ya que los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos exclusivamente por sierras.

En las industria de transformación de la madera, se recomienda que las operaciones de aserrado se combinen con las tecnologías y procesos de secado de la madera,

pero no necesariamente estas operaciones tienen que estar aparejadas, ya que las producciones finales de los aserraderos: tablas, tablones, bloques, vigas y viguetas se venden con una humedad entre el 15 y 20% (González, 2008).

### **2.3.1. Clasificación de los aserraderos**

Estas instalaciones se pueden clasificar según su tiempo de permanencia en el área, en aserraderos permanentes y aserraderos móviles o portátiles. (Prestemon 2000).

(Prestemon 2000) explica que las instalaciones fijas son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a que sus ciclos de producción suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

- Tablón en bruto
- Tablón canteado y retestado
- Tablón canteado, retestado y calibrado
- Tablón canteado, retestado, calibrado y clasificado
- Tablón canteado, retestado, calibrado, secado y clasificado.
- Las instalaciones móviles, montadas sobre chasis pueden desplazarse hasta las mismas fuentes de abastecimiento de materias primas. Sus productos elaborados suelen ser generalmente tablones, tablas, viguetas y vigas en bruto.

### **2.4. Factores que influyen sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada**

En los últimos tiempos la adecuación de la calidad de la madera se basa en la búsqueda de las propiedades requeridas (Fernández, 2011), pero con el inicio de la silvicultura como ciencia, se ha ido trabajando en las mejoras fenotípicas de los árboles, aunque el impulso más importante ha sido en la búsqueda de la mejora en la producción más que en la mejora de la calidad.

El término rendimiento en la madera aserrada se refiere a la relación entre el volumen de madera rolliza (trozas) y el volumen resultante en productos aserrados. Este término también es conocido como coeficiente de aserrío o factor de

recuperación de madera aserrada “FRM” y constituye un indicador de la tasa de utilización en el proceso de aserríos (Quirós, 1990).

Los mismos problemas de estimación del rendimiento en el bosque, se presentan en la industria primaria. En los aserraderos se calcula el rendimiento a partir de un coeficiente entre una estimación del volumen de trozas que ingresa y el producto bruto de madera aserrada que egresa. Este porcentaje (como un valor constante) se utiliza posteriormente para la planificación y análisis económico de la empresa. Sin embargo, el diámetro, el largo, la forma y la sanidad de las trozas, la fase de desarrollo del árbol de donde provinieron y la posición de la troza en el fuste, influyen diferencialmente sobre el rendimiento del aserradero (Donoso y Caldentey, 1996).

Esto significa que es posible obtener diferentes rendimientos de acuerdo a los distintos tipos de trozas que el aserradero vaya a procesar. Por otra parte, la diferencia que se observa entre calidades de sitios influye significativamente sobre la estructura forestal y en consecuencia sobre la producción de trozas, tanto a nivel individual como de rodal (Martínez *et al.*, 1993) y posteriormente sobre los rendimientos del aserradero, además explican que los factores principales que afectan el rendimiento y calidad de la madera destacan el diámetro, forma y longitud de las trozas, volumen, clase de madera y su calidad, el patrón de corte y el tipo de sierra empleada para transformar la materia prima.

#### **2.4.1. La calidad de las trozas y algunos factores asociados a la silvicultura**

Monceau (1773), citado por Vignote *et al.* (2003) detalla la influencia de las condiciones ambientales, suelo, clima, orientación, espesura, situación dentro de la masa y edad del árbol en la calidad de la madera,

La calidad de la madera es una variable muy difícil de definir, pues esta puede cambiar en relación con el uso que se pretenda, donde una de las variables más utilizadas para evaluar la calidad de la madera es la densidad, dado que esta característica está muy relacionada con las características mecánicas, la dureza y el rendimiento en la producción (Schimleck y Clark, 2008).

La calidad de las trozas es uno de los factores a tener en cuenta, particularmente en la sierra principal para maximizar el volumen de madera aserrada. Por lo que se apoya por diferentes autores que el rendimiento de la madera aserrada bajo las prácticas corrientes del procesamiento, tienen una relación directa con las diferentes clases de calidad de trozas (Egas, 1998).

Todoroki (2001) explica que el efecto de la calidad de la troza, especialmente la incidencia de trozas torcidas en la calidad y volumen de la madera aserrada, el cual 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%.

Zhang y Lei (2006) explican que utilizan al diámetro, altura del árbol, y la conicidad del árbol como variables predictoras a los rendimientos en valor del árbol obtenido a partir de estudios reales en los aserríos, además plantean que el diámetro de las trozas tiene un efecto directo en la calidad y cantidad de madera aserrada, además Bailey (1973), deja claro que al aumentar el diámetro por lo general se reducen los defectos de la madera.

## 2.5. Factores y propiedades que afectan la calidad de la madera

Bailléres y Durand (2000) plantean que existen varios factores y calidad de la calidad de la madera tabla 1.

Tabla 1. Factores y propiedades que afectan la calidad de la madera.

Factores de calidad de la madera	Propiedades de la madera
Factores físicos	1 - Densidad
	2 - Coeficiente de contracción volumétrica
	3 - Relación entre contracciones
	4 - Higroscopicidad

	5 - Dureza (Escala Monnin)
Factores dendrométricos y estructurales	1 - Diámetro del fuste
	2 - Forma del fuste
	3 - Tamaño y frecuencia de los nudos
	4 - Orientación de la fibra
	5 - Proporción de duramen y albura
	6 - Altura del árbol
Factores estéticos	1 - Color
	2 - Grano
	3 - Textura
	4 - Veta
Factores biológicos	1 - Resistencia a pudriciones y termitas
Otros factores	1 - Relación resistencia, madera adulta, madera juvenil
	2 - Tensiones de crecimiento
	3 - Bolsas de resina, gomas, aceites esenciales, depósitos
	4 - Coloraciones
	5 - Irregularidades de la anchura de los anillos de crecimientos.

### 2.5.1. Variables dendrométricas que afectan el rendimiento de la madera aserrada.

La conicidad tiene su origen en la superposición del crecimiento en altura y el crecimiento en grosor que tiene el árbol y que simplificado le da una forma

cónica. Dhote *et al.* (1994), señalan que tiene una gran influencia sobre los procesos mecánicos de transformación de la madera, de la misma forma, Fernández - Golfín *et al.* (1999) define que esta es una de las propiedades que se utilizan para la evaluación de la calidad de la madera en bolo y en el rendimiento mediante operaciones de aserrado.

Dobie (1966), plantea que cuando incrementa la conicidad de las trozas el coeficiente de aserrío disminuye y el tiempo de asierre aumenta, por lo que las trozas con conicidad acentuada requieren 12% más tiempo de asierre y generan 5,7% menos madera que las trozas cilíndricas.

El efecto más importante que provoca la conicidad es la pérdida de rendimiento de la madera en los procesos de aserrado, desenrollo y chapa, ya que sólo es aprovechable la sección correspondiente a la testa más pequeña (Dobie 1966). En los casos de valores del factor de conicidad muy grande, los aserrados presentan defectos de inclinación de la fibra Figura 1.

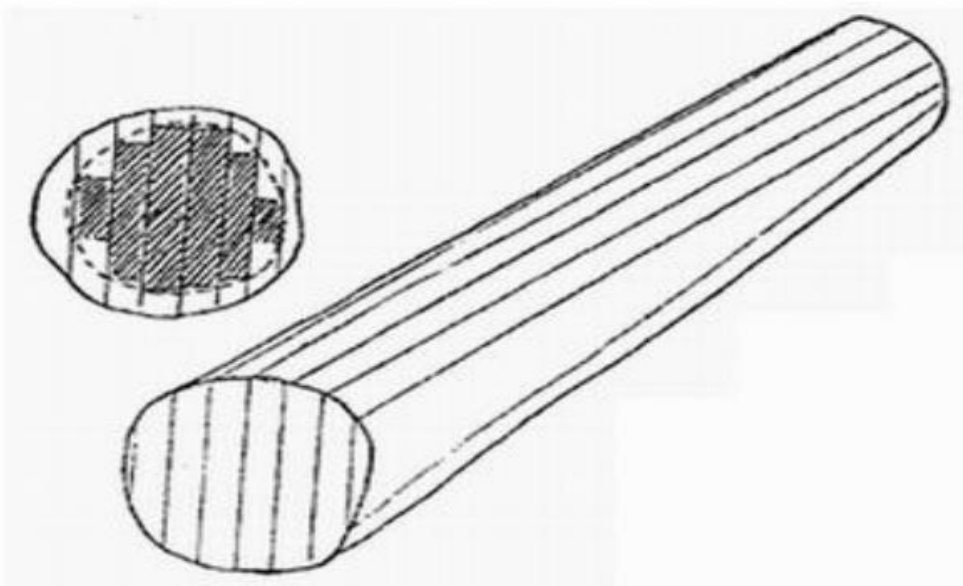


Figura 1. Conicidad en los árboles con o sin podar. Echevarría (1959).

Aunque parte de la conicidad del fuste es intrínseca a la especie y procedencia del árbol, otra parte importante es debida a la silvicultura figura 2.

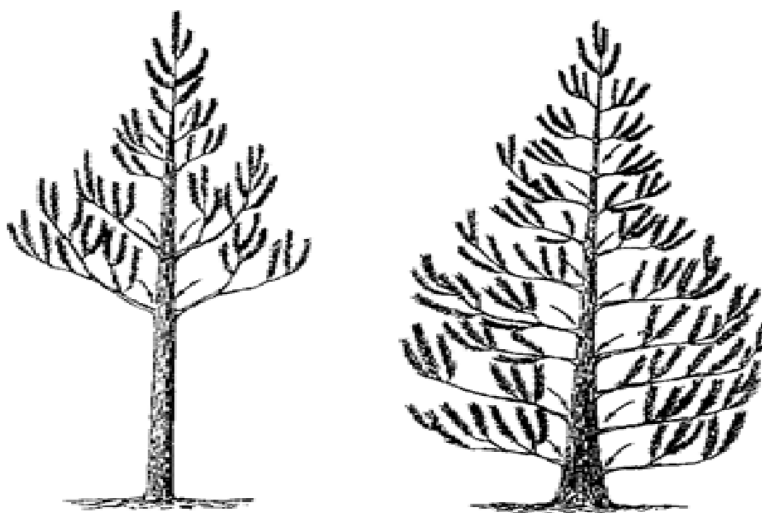


Figura 2. Efectos de la poda sobre la conicidad de los árboles.

Es evidente que el principal efecto que tiene la poda es buscar que una vez ocluida la herida producida, la madera que produzca el árbol no tenga nudos. Es por ello por lo que la poda debe realizarse a edad temprana, tanto por el tamaño de la herida, como por reducir los efectos de los nudos. Haciendo referencia a Hevia (2012). Señala que los árboles podados tienen una conformación más cilíndrica que los no podados, siendo explicado este efecto por la modificación de la distribución del crecimiento a lo largo del tronco tras la poda, con un mayor reparto del crecimiento en las zonas superiores del fuste, dando lugar así a troncos de conformaciones más cilíndricas.

Para el pronóstico de la producción forestal es muy importante saber la expresión matemática que permita relacionar las variables que van a influir sobre el rendimiento y valor de la madera aserrada, que se obtendrán de la materia prima (García, 1984 y Petrobskii, 1970).

Dobie (1966) plantea que el rendimiento de la madera aserrada va a estar determinado principalmente por la calidad de las trozas, otros autores plantean que el espaciamiento de las plantaciones tiene una influencia directa en rendimiento volumétrico y la calidad de las trozas provenientes de esta, lo que manifiesta que si



no se realiza una silvicultura con las intenciones de obtener los resultados para lo cual fue plantado el bosque, al final del turno se encontrara que las plantaciones no cumplieron su objetivo.

También es conocida la marcada influencia que ejerce el espaciamiento sobre la poda natural, ya que "En árboles en espesura, las ramas bajas quedan rápidamente sin luz, por lo que su crecimiento se hace más lento hasta que las mismas mueren. Las ramas de árboles o plantaciones con espaciamientos pequeños alcanzan menores grosores que si el árbol vive aislado, sin competencia lateral." Echavarría (1959) y De Champs (1989), y por consiguiente como se explica anteriormente estos árboles tienen menos coeficientes de conicidad que los que crecen con mayor espaciamiento y más probabilidad de presentar mejores rendimientos de madera aserrada.

## **2.6. Análisis de los principales defectos de la madera**

El concepto de defecto, aplicado a la madera, se refiere a cualquier anomalía o irregularidad que disminuya su valor comercial debido a que:

- a) Disminuya su resistencia y durabilidad.
- b) Afecte adversamente su trabajabilidad,
- c) sus cualidades de acabado o
- d) su apariencia.

### **2.6.1. Defectos en la madera**

Los defectos de la madera suelen surgir durante los procesos de Crecimiento del árbol, Secado de la madera aserrada y Maquinado de la madera.

Durante el crecimiento pueden aparecer imperfecciones en la madera de árboles vivos, originados por la forma cómo crecen o por anomalías en su desarrollo, es la etapa del árbol donde se producen defectos como el Grano desviado, los Nudos y la Madera de reacción figura 3 y 4 (Álvarez 2011).



Figura 3. Grano desviado en la madera. Figura 4. Grano desviado (En espiral).

- **Grano desviado:** existen varios tipos de defectos del Grano desviado, por ejemplo, Grano en espiral, Grano diagonal, Grano entrecruzado.

Este defecto ocurre cuando el alineamiento de las fibras en una pieza de madera no coincide con el eje longitudinal de la pieza, reduciendo la resistencia mecánica de la madera.

- **Los nudos**, no son más que la parte de la rama que queda incorporada en el tronco del árbol o de una rama mayor. En las normas de calidad se clasifican como

- Sanos, insano, podrido, adherente o encajado.

**Según el tamaño se clasifican en:**

- Diminutos, pequeños, medianos y grandes.

La presencia de nudos provoca la pérdida de valor en la madera dañando su imagen y afectando sus propiedades de resistencia y trabajabilidad.

Álvarez *et al.* (2011) plantea que las pérdidas ocasionadas por la presencia de los nudos en la madera se pueden minimizar mediante los tratamientos silvícolas adecuados y oportunos figura 5, 6 y 7.



Figura 5. Nudos en la madera. (Nudo sano)



Figura 6. Nudo en racimo



Figura 7. Nudo suelto o hueco.

- **Madera de reacción:** este término se aplica al tipo de madera que es producida sobre uno de los lados de tal excentricidad en la sección transversal, es la madera desarrollada en los tallos encorvados, en las ramas, y en las zonas en que se vuelven a enderezar figura 8 y 9.



Figura 8. Madera de reacción.

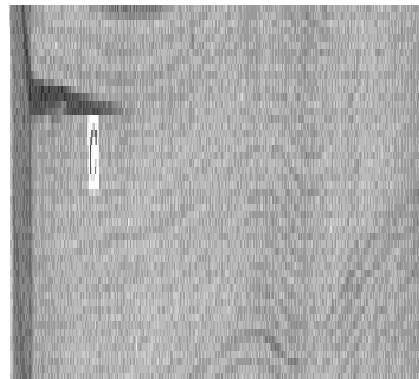


Figura 9. Madera de reacción (compresión).

Las piezas que contienen madera de compresión sufren curvaturas y alabeos, con frecuencia rajaduras entre la madera de compresión y la madera normal; en ellas también se causan tensiones transversales que producen roturas para formar bandas en la madera de compresión.

**- Defectos relacionados con el secado:**

A través de este proceso pueden aparecer defectos como Fendas o rajaduras, Nudo agrietado o Nudo saltadizo, Alabeo, Endurecimiento superficial, Colapso y Apanalado.

Las fendas o rajaduras son rupturas en la madera a lo largo del grano que se desarrollan durante el secado figura 10 y 11.



Figura 10. Fendas o rajaduras

Figura 11. Nudo agrietado o saltadizo

**- El alabeo:** no es más que cualquier distorsión del plano verdadero que pueda presentarse en una pieza de madera durante el secado figura 12.



Figura 12. Tipos de Alabeo.

- El endurecimiento superficial es la condición que se presenta en las maderas cuando, debido al secado, las capas exteriores se encuentran sometidas a esfuerzos de compresión, mientras que las interiores lo están a esfuerzos de tracción figura 13.



Figura 13. Ejemplo de endurecimiento superficial.

### - Colapso

Es un defecto que se desarrolla cuando el duramen muy húmedo de ciertas especies es sometido a secado figura 14.



**Ejemplo de agrietamiento interno y colapso en madera de Cedro (Cedrela sp.)**

Figura 14. Ejemplo Madera con defecto de Colapso.

## - Defectos ocasionados por el maquinado de la madera

Son una serie de defectos que pueden o no estar relacionados con un secado o almacenamiento inapropiados, pero que se vuelven evidentes durante el proceso de maquinado de la madera. Ejemplo, Grano levantado, Grano suelto, Grano lanoso, Grano astillado y Grano desgarrado figura 15 y 16.



Figuras 15. (Grano levantado).



Figura 16. (Grano suelto).

## 2.7. Métodos estadísticos para el control de la calidad en los aserraderos

### 2.7.1 La estadística como herramienta

La estadística es la herramienta básica que se usa en la vida cotidiana, los métodos estadísticos permiten describir las características de una población, por medio de valores tales como la media, desviación estándar y los llamados valores estadísticos .Stevenson (2001).

Stevenson (2001) afirma que el "objetivo del control de calidad es asegurar que los procesos están teniendo un desempeño aceptable", y para ello, controlar la salida del proceso utilizando métodos estadísticos, y seguimiento antes y después de la producción implica procedimientos muestreo de aceptación. El seguimiento durante el proceso de producción se conoce como control de proceso estadístico (SPC).

**La población**, no es más que el conjunto de unidades o elementos de la misma naturaleza cuya definición debe ser claramente expresada. Un bosque se considera como un conjunto de un número finito de parcelas de igual o desigual tamaño, o como el conjunto de todos los árboles que viven en el bosque. Toledo. (2002).

- **El valor estadístico:** (descriptivo), es el valor calculado, que representa ciertas características y que se llama parámetro cuando se toma o calcula de la población se llama estadístico. López. (2003).
- **Herramientas estadísticas para el control de la calidad**

Todos los procesos de una instalación productiva están continuamente generando información, número de productos fabricados, defectos en cada uno, paradas repentinas, etc. Mejorar la calidad muchas veces pasa por recoger y analizar toda esta información.

Existen múltiples técnicas estadísticas para el análisis de información, algunas de ellas muy sofisticadas y complejas. Sin embargo, hay otras muy sencillas que pueden ser aplicadas por cualquiera sin demasiado entrenamiento previo. En este sentido se han hecho populares las 7 herramientas básicas para el control de la calidad promulgadas por Kaoru Ishikawa.

Estas herramientas están dirigidas a controlar los procesos, principalmente relacionados con datos numéricos.

#### **Herramientas para el control estadístico:**

- **Diagrama de flujo:** es la representación de la secuencia de las actividades y procesos, muestra el flujo de estas acciones y permite la identificación de problemas y su origen (Lagrasen, 2005; Ahmed; Hassan, 2003; Johansson *et al*, 2006; citado por RIBEIRO, 2010).
- - **Histograma:** es una representación gráfica de las figuras, a menudo agrupados en clases y se utiliza para comprobar la forma de la distribución, el valor central y de dispersión de los datos. El histograma muestra la variación de los datos en forma visual.
- **Diagrama de Pareto:** es un gráfico de barras verticales, de manera generalizada presenta horizontal - diversas clases de problemas o causas que desea comparar; - Verticalmente - columnas con una altura definida por la frecuencia

de ocurrencia de cada clase de problema o pregunta; - Una curva que representa el porcentaje acumulado de casos con valores indicados en un eje vertical, que se coloca a la derecha de las columnas.

- **Lista de Verificación:** se utilizan para señalar el dibujo o el marcado de elementos de una lista de control, se observan condiciones especiales y deben ser analizadas con más detalle en un producto o material determinado.
- **Diagrama Causa - Efecto:** también conocido como "espina de pescado" gráfico o diagrama de Ishikawa.
- **Diagramas de dispersión:** según Scholtes (1992), con los diagramas vamos a ver cómo se comporta cierto punto en relación con dos variables medibles en una serie de ensayos o en un número de casos.
- **Cuadros de control:** para Slack (1999) "son los gráficos que se utilizan para verificar que el proceso sigue siendo un rendimiento predecible (o estable), o son acciones necesarias en ella." Ragazzi (1999) define las funciones de gráficos de control.

### **2.7.2. Proceso para el control estadístico de la calidad en la madera aserrada**

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.

Según Toledo (1987), el gráfico de control y el gráfico Shewhart "constituye una técnica preventiva cuyo objetivo principal es determinar a través de datos estadísticos, los cambios que se están produciendo en el proceso de producción de la naturaleza tan aleatorio como la naturaleza determinable, proporcionando evidencia para el seguimiento y proceso de corrección.

### **2.7.3. Control de la calidad**

Los pocos estudios realizados en Cuba en esta importante temática (Pacheco, 1988, Segura y Londres, 1990), 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 *et al.* (2004) no tienen en cuenta elementos tan importantes como la variación de aserrado Citado por Alvares (2007).

La función del control de la calidad es analizar, buscar y prevenir la aparición de defectos, y que la prevención es su objetivo principal (Paladini, 2000) y, para ello, hay que planificar todas las acciones que se activan en el proceso y comparar con los estándares de calidad o parámetros preestablecidos.

**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 en un proceso productivo podría ser una actividad de control de calidad Bertrand y Prabhakar (1990), citado por Leckoundzou (2015)

La escasa práctica a la hora de realizar controles de calidad en las industrias del sector forestal condiciona la complejidad de los mecanismos de control que se deben plantear. Teniendo eso siempre en cuenta, se pueden proponer algunas metodologías muy sencillas como son los gráficos de control.

Soares (2003) explica que existen varios criterios utilizados para clasificar los gráficos de control, como, por ejemplo, cuando en un número de líneas de control los gráficos se distinguen entre gráficos de controles unilaterales o bilaterales. Dependiendo de los cálculos de límites de control en volumen o especificaciones técnicas, los gráficos de control de Shewhart son clasificados en clásicos o modificados, respectivamente.

La planificación de un gráfico de control se centra principalmente en la elección adecuada del tamaño de la muestra, el intervalo de tiempo entre muestras consecutivas y la especificación de los límites de control, y en su caso, los límites de aviso; Durante la fase de planificación de un gráfico de control, las pruebas escritas y las consideraciones económicas son importantes (Woodall, 1985 citado por Soares, 2003).

# *Materiales y Métodos*



### III. MATERIALES Y METÓDOS

#### 3. 1. Condiciones de trabajo

##### 3. 1. 1. Características Generales Del Territorio De La Empresa Agroforestal Sierra Cristal

Esta empresa en su inicio se denominó Empresa Forestal Sierra Cristal, posteriormente, se le dio el nombres de Empresa Forestal Integral Sierra Cristal por la Resolución No.281/97 del 26 de junio del 1997 emitida el Ministro de la Agricultura. Actualmente, según la Resolución No.127 del Ministerio de Economía y Planificación de 13/07/2015 en el resuelvo décimo séptimo, cambió su denominación de “Empresa Forestal Integral Sierra Cristal” a “Empresa Agroforestal Sierra Cristal”, adscrita al “Grupo Empresarial Agroindustrial”. Dicha Resolución fue firmada por Marino Murillo Jorge, Ministro de Economía y Planificación en ese momento Lores *et al.* (2021).

El trabajo se realizó en la Empresa Agroforestal Sierra Cristal (E.A.F Sierra Cristal), de febrero de 2019 a abril de 2021 y se localiza en la región oriental de Cuba – en la provincia de Santiago de Cuba, enclavada en el municipio segundo Frente, el cual Limita al norte con la provincia Holguín, al este con la provincia Guantánamo, al Oeste con Holguín y el municipio San Luis de Santiago de Cuba y al sur con el Municipio Songo La Maya. El municipio Segundo Frente tiene una extensión de 536 km<sup>2</sup> por lo que el patrimonio de la empresa representa el 23, 57% del área del municipio (Figura 17) Lores *et al.* (2021).

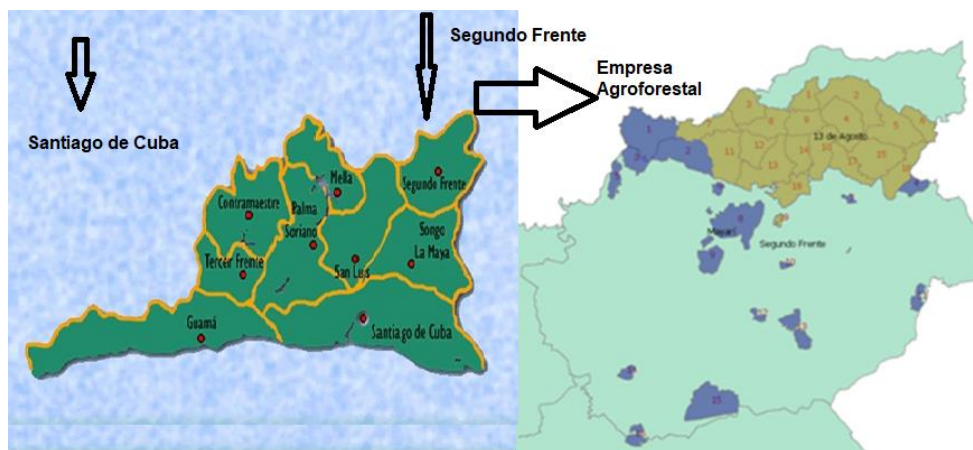


Figura 17. Localización geográfica de la Empresa Agroforestal Sierra Cristal.

De igual manera se han realizado cambios en la estructura de la empresa, el número de Unidades Silvícolas ha variado, de las 3 Unidades Silvícolas existentes en el último periodo de ordenación (2005-2014), actualmente según la nueva ordenación existen 2, tabla 2.

Tabla 2. Superficie total de la EAF y de las UEB Silvícola.

<b>UEB Silvícola</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Por Ciento</b>
UEB Silvícola Mayarí	3902,1	30,4
UEB Silvícola 13 de Agosto	8943,3	69,6
<b>Total empresa</b>	<b>12 845,4</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Lores *et al.* (2021) Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal de EAF Sierra Cristal para el decenio (2021-2030).

Su relieve es fundamentalmente montañoso, representando el 89% del territorio, formado por el Macizo Montañoso de la Sierra Cristal, en su interior está la elevación más alta conocida como Pico Cristal con 1240 MSNM.

Este territorio montañoso se caracteriza por su ecosistema frágil, con grandes pendientes donde se desarrollan fundamentalmente el fomento de especies forestales como *Pinus cubensis* y *Cedrela odorata*, *Swetenia macrophylla*, *Swetenia mahagoni*, *Hibiscus elatus*, *Cordia gerascanthus*, *Eucaliptus* sp., entre otras; además del cultivo del Café que es el principal renglón económico del territorio.

El estado cubano, en aras de proteger el medio ambiente y los recursos naturales del país, ha otorgado gran prioridad al Programa de Desarrollo Sostenible de las Cuencas Hidrográficas de interés nacional, dentro del cual se inserta la cuenca del Río Mayarí como río principal. El sistema hidrográfico lo constituye, además del Río Miguel y los ríos levisa, y Manzano, ríos principales de la Unidad Empresarial de Base 13 de Agosto y además del río Mayarí, los ríos Jarahueca y Cortadera correspondientes a la unidad empresarial de base Mayarí, entre otros afluentes y arroyos.

El municipio Segundo Frente tiene dentro de su cuenca 383,1 Km<sup>2</sup>, donde la empresa ejecuta labores de reforestación, tratamientos silviculturales, construcción y mantenimiento de trochas, medidas de conservación de suelos entre otros.

El territorio que comprende la empresa Sierra Cristal es rico en corrientes fluviales (Figura 18).



Figura 18. Sistema de ríos y cañadas que caracterizan la red hidrográfica de la empresa Agroforestal Sierra Cristal (en verde Patrimonio de la Empresa). (Fuente, SIFOMAP 4.1)

### 3.1.1.1 Características de las plantaciones de *Pinus cubensis* Griseb

Al concluir el proyecto de Ordenación Forestal para el periodo 2005 – 2014, la presencia del *Pinus cubensis* Griseb. en el patrimonio de la empresa estaba representado por 10360.9 ha representando el 52,3% del total del área cubierta con un volumen aprovechable de 495 648,12 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta su representatividad en cuanto a área y volumen dentro de todas las especies que conforman el patrimonio y por su versatilidad la especie *Pinus cubensis* tiene una gran influencia en los planes de producción de la entidad donde se realiza el estudio, ocupando este el 55% de toda la madera en bolo a extraer y procesar en la industria anualmente.

## 3.2 Metodología utilizada

### 3.2.1 Determinación del tamaño de la muestra e intensidad del muestreo

Aldana *et al.* (2010) plantearon que el muestreo aleatorio simple es el proceso fundamental de selección a partir del cual se derivaron todos los demás procedimientos de muestreo, buscando aumentar la precisión de las estimaciones y reducir los costos del levantamiento.

Los datos fueron tomados en una población de 1706,6 hectáreas de plantaciones de *Pinus cubensis* con que cuenta la Unidad Empresarial de Base (UEB) Silvícola 13 de Agosto según el nuevo inventario para el periodo de ordenación 2021 -2030, donde se levantaron en todo el área un total de 70 unidades de muestreo como muestreo piloto tomadas del inventario par el proyecto de ordenación,utilizándose como variable de interés el número de árboles por hectárea de las tres especies y se distribuyeron las parcelas mediante el muestreo aleatorio estratificado. Para ello se dividió la población en cuatro estratos: el estrato 1 comprende desde 0 hasta 60 árboles por hectárea, el estrato 2 desde 61 hasta 160, el estrato 3 desde 161 hasta 340 y el estrato 4 más de 341 como se muestra en la Tabla 2.1.

Para calcular el tamaño de la muestra, primeramente, fue necesario determinar el tamaño de la población que corresponde al área de la 1 706,6 ha de plantaciones de *Pinus cubensis* donde se realizó la investigación, es decir, el número total de parcelas de 0,05 ha que hay en el área de investigación, para lo cual se empleó la fórmula:

$$N = \frac{A}{a}$$

Donde:  $A$  = área total de la población (1 706,6 ha) y  $a$  = área de la parcela de muestreo (0,05 ha).

Tabla 2.1. Número de parcelas por estrato con su respectivo número de árboles por hectárea en el inventario piloto.

Parcelas (n <sub>h</sub> )	Estrato1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
1	40	100	280	360
2	0	80	200	420
3	60	160	220	400
4	0	100	180	420
5	60	140	300	540
6	20	160	340	660
7	60	80	240	380
8	0	140	180	360
9	20	160	240	640
10	0	120	200	360
11	0	160	300	540
12	0	100	280	580
13	0	160	320	1000
14	0	80	260	540
15	40		200	400
16	0		180	
17	0		220	
18	0		300	
19	0		200	
20	0		340	
21	0			

Para la selección de la fórmula con vista al cálculo del tamaño de la muestra, se determinó si la población objeto de investigación era finita o infinita mediante el cumplimiento de las siguientes hipótesis:

- a) Si  $1 - f \geq 0,98$  la población es infinita y la fórmula a emplear será:  $n = \frac{t^2 \sum_{h=1}^L W_h s_h^2}{E^2}$
- b) Si  $1 - f < 0,98$  la población es finita y entonces la fórmula a emplear será:

$$n = \frac{t^2 \sum_{h=1}^L W_h s_h^2}{E^2 + t^2 \sum_{h=1}^L \frac{W_h s_h^2}{N}}; \text{ donde: } E = \frac{LE\%}{100} * \bar{x}_{st}$$

Donde:  $f = \frac{n}{N}$  = fracción de muestreo de la población;  $L$  = número de estratos;  $h$  =

estrato;  $N_h$  = número potencial de unidades del estrato  $h$  en la población;  $W_h = \frac{N_h}{N}$  =

proporción del estrato  $h$  en la población;  $s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (X_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$  = varianza por estrato;  $E$  =

error o la precisión deseada;  $t$  = valor de  $t$  de Student para 95% de probabilidad

Además se calcularon otras variables estadísticas o estadígrafos, tales como:

Media por estrato:  $\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} X_{ih}}{n_h}$ ; Media estratificada:  $\bar{x}_{st} = \frac{\sum_{h=1}^L n_h \bar{x}_h}{n} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{x}_h$

Varianza estratificada:  $s_{st}^2 = \sum_{h=1}^L W_h s_h^2$ ; Error estándar:  $s_{\bar{x}(st)} = \sqrt{\sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{s_h^2}{n_h} (1 - f_n)}$

Error de muestreo: a) Absoluto:  $E_a = \pm t s_{\bar{x}(st)}$ ; b) Relativo:  $E_r = \pm \frac{t s_{\bar{x}(st)}}{\bar{x}_{st}} * 100$

Intensidad de muestreo por estrato:  $n_h = \frac{N_h}{N} * n = W_h * n$

En cuanto al total de árboles tipo para el ensayo de los modelos Prodan *et al.* (1997), plantean que, contrariamente a lo que ocurre cuando se desea seleccionar una muestra para estimar un parámetro determinado, no existe en el caso de las regresiones una expresión explícita para determinar el tamaño de la muestra de árboles tipos necesarios con vistas a obtener una precisión dada. Cuanto mayor sea el número más precisa será la estimación, por tanto en esta investigación se seleccionaron todos los arboles con diámetros mayores a 24 cm en cada parcela teniendo en cuenta que a partir de esta dimensión se considera madera en bolo.

### 3.3. Índices dasométricos y dendrométricos

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, Zöhler y Haller, 1973; Cailliez, 1980; González, 1981 y Husch, Miller y Beers, 1982).

Para evaluar el comportamiento de los Índices dasométricos y dendrométricos de la especie, en cada una de las parcelas se midió el diámetro a la altura de 1.30 m del suelo, con la cinta diamétrica, así mismo se estimaron las alturas de los árboles, para esto se levantaron 10 parcelas de 400 m<sup>2</sup> (20 m \* 20 m), 5 en cada rodal.

También se determinaron y agruparon los índices dasométricos por clases diamétricas, en rango de 2 cm, según se muestra en la tabla 3. Entre los principales índices dasométricos registrados por clase diamétricas están: altura promedio ( $\bar{h}$ ), diámetro promedio ( $\bar{d}$ ), altura comercial promedio ( $\bar{h}_c$ ), área basal total por hectárea (G/ha), volumen total por hectárea (V<sub>t</sub>/ha), volumen comercial por hectárea (V<sub>c</sub>/ha) y número de árboles por hectárea (N/ha).

**Tabla 3. Rangos correspondientes a cada clase diamétrica.**

CD	Rango	CD	Rango
2	1,1 - 3	42	41,1 - 43
4	3,1 - 5	44	43,1 - 45
6	5,1 - 7	46	45,1 - 47
8	7,1 - 9	48	47,1 - 49
10	9,1 - 11	50	49,1 - 51
12	11,1 - 13	52	51,1 - 53
14	13,1 - 15	54	53,1 - 55
16	15,1 - 17	56	55,1 - 57
18	17,1 - 19	58	57,1 - 59
20	19,1 - 21	60	59,1 - 61
22	21,1 - 23	62	61,1 - 63
24	23,1 - 25	64	63,1 - 65
26	25,1 - 27	66	65,1 - 67
28	27,1 - 29	68	67,1 - 69
30	29,1 - 31	70	69,1 - 71
32	31,1 - 33	72	71,1 - 73
34	33,1 - 35	74	73,1 - 75
36	35,1 - 37	76	75,1 - 77
38	37,1 - 39	78	77,1 - 79
40	39,1 - 41	80	79,1 - 81

### 3.3.1. Determinación del volumen por hectárea y por clase diamétrica

Para el cálculo del volumen por hectárea ( $V/ha$ ) se empleó la fórmula:

$$V/ha = F\left(\sum_{i=1}^m v_i\right) \text{ ó } V/ha = F\left(\sum_{i=1}^m \frac{\pi}{4} d_i^2 * h_i * f_i\right) = F\left(\sum_{i=1}^m g_i * h_i * f_i\right)$$

Donde:  $v_i$  = volumen de cada árbol;  $h_i$  = altura estimada de cada árbol y  $f$  = factor volumétrico de cada árbol.

Como ( $f_i$ ) no se conoce exactamente para las especies investigadas, se empleó entonces, para la estimación del volumen ( $v_i$ ) la tabla de coeficientes móricos empíricos ( $f_e$ ) y la fórmula, recomendada en el Manual para la Ordenación de Montes en Cuba, o sea:  $v_i = g_i * (h_i + 3) * f_e$  y también  $v_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 * (h_i + 3) * f_e$ .

El cálculo del volumen por clase diamétrica se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$V_i = \left[ \frac{\pi}{4} \bar{d}_i^2 * (\bar{h}_i + 3) * f_e \right] * n_i$$

Donde:  $V_i$  = volumen de la clase diamétrica;  $\bar{d}_i$  = diámetro medio de la clase diamétrica,  $\bar{h}_i$  = altura promedio de la clase diamétrica y  $n_i$  = número de árboles en la clase diamétrica.

### 3.3.2. Determinación del número de árboles por hectárea

El número de árboles por hectárea ( $N/ha$ ) se obtuvo por el conteo del número de árboles dentro de la parcela ( $m$ ) y multiplicado por el factor de proporcionalidad ( $F$ ), o sea:  $N/ha = mF$

### 3.3.3. Conicidad

Para determinar la conicidad de las trozas de madera se aplicó la fórmula utilizada por Henry *et al.*, (2010) y Álvarez *et al.* (2010c):

$$Con = \frac{D_2 - D_1}{L} \quad (9)$$

Donde:

Con = conicidad, cm /m; D<sub>1</sub>= Diámetro menor de la troza, (cm); D<sub>2</sub>= Diámetro mayor de la troza, (cm); L = Longitud de la troza, (m).

### 3.3.4. Rendimiento

De acuerdo con diferentes estudios realizados por Kellog y Waren (1984); Aubry *et al.* (1998); Beauregard *et al.* (2002); Zhang *et al.* (2005), se asume que los rendimientos en valores de la madera aserrada están influenciados por la calidad de la materia prima utilizada, en este caso, trozas obtenidas a partir de árboles individuales. Para obtener el rendimiento en porcentaje se empleó la relación siguiente (Álvarez *et al.*, 2010a):

$$R_v = \left( \frac{Vma}{Vt} \right) * 100 \quad (11)$$

Donde:

R<sub>v</sub> - Rendimiento volumétrico total, %

V<sub>ma</sub>- Volumen de madera aserrada, m<sup>3</sup>

V<sub>t</sub>- Volumen de madera en trozas, m<sup>3</sup>

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determina sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación.

$$Vma = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (12)$$

Donde

V<sub>ma</sub> - Volumen de madera aserrada de una troza, m<sup>3</sup>

$a_i, g_i, l_i$  - ancho, grueso y longitud de la pieza  $i$  obtenida de una troza o grupo de troza, m

$n$ - Número de piezas aserradas de una troza

El cómputo del volumen en bruto de cada troza se efectuó a través del método del centroide para trozas de la base (Wiant *et al.*, 1992).

### 3.4. Análisis de los modelos de regresión de volumen

#### 3.4.1. Modelación matemática de la influencia de los parámetros dendrométricos de los árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada

Para realizar la estimación del rendimiento de la madera aserrada se utilizó una muestra de 106 árboles, que se emplearon en la obtención del modelo matemático y el resto en la validación.

Para el ajuste de los modelos de estimación del rendimiento de la madera aserrada se empleó la regresión lineal simple, múltiple y por pasos, seleccionaron los modelos que se muestran a continuación propuestos por Leckoundzou (2015):

$$l_n(\text{Rend}) = b_0 + b_1 \times l_n(d_{1,30}) \quad (13)$$

$$l_n(\text{Rend}) = b_0 + b_1 \times l_n(d_{1,30}) + b_2 \times l_{n_{\text{con}}} \quad (14)$$

$$l_n(\text{Rend}) = l_n(b_0) + (b_1 \times l_n(d_{1,30})) \quad (15)$$

$$l_n(\text{Rend}) = l_n(b_0) + (l_n(b_1) \times d_{1,30}) \quad (16)$$

Como variables independientes o predictoras se utilizaron diámetros a la altura de 1.30m ( $d_{1,30}$ ), la altura del fuste (comercial) y la conicidad y se utilizó como variable de respuesta o dependiente el rendimiento de la madera aserrada en correspondencia con los trabajos realizados por Egas *et al.*,(2001) y Aranzeta *et al.*,(2004).

En la determinación de la calidad de los modelos planteados se tuvieron en cuenta las siguientes etapas:

Supuestos teóricos: normalidad, homocedasticidad, e independencia serial de los residuos mediante el test de Durbin y Watson. La presencia de multicolinealidad entre las variables predictoras, fue evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (VIF) Maddala (1996) asumiéndose para aquellas ecuaciones que presentaron un VIF mayor a 10 para alguna de sus variables independientes (Kozak, 1997).

Bondad de ajuste: coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{adj}$ ), el error estándar de la estimación ( $S_x$ ) y la significancia estadística de los coeficientes de regresión ajustados. Aquellos modelos que presentaron al menos un parámetro no significativamente distinto de cero fueron eliminados.

Capacidades predictivas; se analizó la desviación global, la desviación agregada, el sesgo, el error medio cuadrático, así como el comportamiento de la tendencia gráfica de estos.

Análisis de las capacidades predictivas para la validación a partir de la selección de una muestra independiente: Se analizó una muestra independiente de 36 árboles en la cual se emplea el mismo procedimiento para la muestra ajustada en el modelo obtenido.

Siguiendo el procedimiento desarrollado por Pimentel y García (1993); Aldana *et al.* (1994); Guevara (1997); Aruda *et al.* (1998); Hair *et al.* (1999); Gujarati y Henry (1999); Wendling *et al.* (2000); Benítez (2001); Vidal *et al.* (2002 y 2004) y Barrero (2010).

El cumplimiento de estas etapas garantizan que los resultados obtenidos sean verdaderamente eficientes, cualquier incumplimiento debe detectarse y corregirse si es posible.

Hair *et al.* (1999) plantean que el análisis de los residuos, bien con los gráficos de residuos o bien con test estadísticos, proporciona un conjunto simple pero potente de instrumentos analíticos para examinar la conveniencia del modelo de regresión.

### **3.4.2. Selección del modelo**

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen del fuste en pie y las trozas derribadas, se analizaron 11 modelos, todos de simple entrada; de ellos 3 son aritméticos y 8 logarítmicos y fueron ensayados por estimación curvilínea y se ensayaron con todas las variables independientes que se correlacionaron fuertemente según el análisis de correlación de las variable dependientes, volumen de madera en bolo (Vmb), volumen de madera aserrada (Vmas), rendimiento (R) y conicidad (C).

Para el procesamiento matemático-estadístico de los resultados se empleó el paquete estadístico SPSS versión 15.0 mediante el cual se realizó un análisis de regresión del volumen real total con las variables correlacionadas, para todos los casos.

Para la determinación de un modelo único en cada caso, primeramente fue necesario construir una base de datos única, en cada caso, con los datos de la especie, luego se realizó un análisis de los mejores tres modelos ajustados individualmente para cada una de las variables dependientes y después se ajustaron para la base de datos común en cada caso. La precisión de la ecuación de volumen se comprobó mediante el error estándar de la estimación, el coeficiente de correlación y de determinación respectivamente y se realizó un análisis de las capacidades predictivas para definir el modelo de mejor ajuste en cada uno de los casos.

La selección de la ecuación de volumen se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Salas (2002) y 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 (validación independiente. Los estadísticos empleados son la raíz del error cuadrático medio (RECM) y la diferencia agregada (DA) (Prodan *et al.*, 1997).

Debido al sesgo que se produce al transformar los valores estimados de modelos logarítmicos ( $\ln m^3$ ) a los valores aritméticos ( $m^3$ ); se empleó, previo al cálculo del RECM y DA, la corrección propuesta por Baskerville (1972) para los modelos que emplean logaritmos en la variable respuesta.

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:

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

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

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 (1997) 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 (Chacko, 1965) 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.

### **3.5. Análisis de los modelos por clases diamétricas**

Los modelos de mejor ajuste para cada caso fueron ensayados por clases diamétricas distribuidas de 5x5 como se observa en la tabla 4, se correlacionaron las variables por clases diamétricas y los modelos se ensayaron con las variables que más fuerte se correlacionaron en cada caso.



Tabla 4. Rangos correspondientes a cada clase diamétrica.

<b>Clases Diamétricas</b>	<b>Rangos</b>
<b>20</b>	<b>17,5 - 22,4</b>
<b>25</b>	<b>22,5 - 27,4</b>
<b>30</b>	<b>27,5 - 32,4</b>
<b>35</b>	<b>32,5 - 37,4</b>

# *Resultados y Discusión*



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Influencia de los parámetros dendrométricos y la presencia de nudos en la madera aserrada a partir de la magnitud del diámetro a 1.30 m; diámetro de las ramas, conicidad y altura hasta la primera rama en la calidad de la madera en pie de *Pinus cubensis* Griseb

#### 4.1.1. Determinación del tamaño de la muestra (intensidad del muestreo)

Se procesaron los datos de las 70 parcelas del inventario piloto de la Tabla 2.1 y se determinó el tamaño de la muestra total para toda el área, de categorías de bosques productores y protectores de las agua y los suelos, y por estrato de la formación de bosques pinar (plantaciones) cuya superficie es de 1 706,6 ha.

Lo primero que se determinó fue el tamaño de la población (N), o sea el número total de parcelas o unidades de muestreo de 0,05 ha.  $N = \frac{1706.6.ha}{0,05.ha} = 341320$  parcelas.

Después se determinó la intensidad de muestreo o fracción de muestreo ( $f$ ) del inventario piloto que, según Chacko (1965), es la razón entre el número de unidades de la muestra ( $n$ ) y el número total de unidades de la población ( $N$ ). Por tanto:

$$f = \frac{70}{341320} = 0,00021$$

Como se cumple la hipótesis de que  $1 - f = 1 - 0,00021 = 0,9998 > 0,98$ , entonces la población es infinita y por tanto, la fórmula a emplear para calcular el tamaño de la muestra es la correspondiente a una población infinita.

Se aplicó para el cálculo de los diferentes estadísticos el procedimiento propio para un muestreo estratificado, ya explicado en el capítulo de materiales y métodos, considerándose el número de árboles por hectárea de las tres especies como variable de interés. En la Tabla 5 se muestran los resultados de los estadísticos por cada estrato.

Tabla 5. Principales valores estadísticos por estrato necesarios para el cálculo del tamaño de la muestra.

Estratos	$n_h$	$N_h$	$W_h$	$A_h$	$\bar{x}_h$	$s_h^2$	$W_h * s_h^2$
I	21	91922	0,3000	575	14,27	525,71	157,7
II	14	91282	0,2000	328	124,29	1 118,68	223,7
III	20	90314	0,2856	375	249	3 009,47	859,8
IV	15	67802	0,2143	428,6	506,69	29 409,52	6 302,5
Total	70	341320	1	1 706,6			7 543,71

Además se calculó la media estratificada  $\bar{x}_{st} = 208,86$  árboles y la varianza estratificada  $s_{h(st)}^2 = 7543,71$  árboles.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se consideró obtener un límite de error de muestreo de  $\pm 10\%$  para una probabilidad de 95%. Como el límite de error está en por ciento, se convirtió a valor absoluto:  $E = 20,886$ .

Como  $n = 70$ , entonces el valor de  $(t)$  para 95% de probabilidad será:  $t_{(0,05;69)} = 1,995$ .

Por tanto el tamaño de la muestra para el inventario definitivo

$$\text{es: } n_1 = \frac{(1,995)^2 * 7543,7}{(20,86)^2} = 69 \text{ parcelas; } t_{(0,05;68)} = 1,995 \quad n_2 = \frac{(1,995)^2 * 7543,7}{(20,86)^2} = 69 \text{ parcelas; lo}$$

que indica que las 70 parcelas que se levantaron son representativas y suficientes para alcanzar la precisión deseada.

Finalmente se comprobó la cantidad de parcelas que deben levantarse por estrato (intensidad de muestreo por estrato), correspondiéndose el número de parcela ( $n_h$ )

representativa por estrato con las que se levantaron en el inventario piloto, según se muestra en la Tabla 5.1.

En la Tabla 5.1 están indicados también los diferentes estadísticos para calcular el error estándar.

Tabla 5.1. Valores estadísticos para calcular el error de muestreo.

Estratos	$n_h$	$N_h$	$W_h$	$W_h * n$	$W_h^2$	$s_h^2$	$\frac{s_h^2}{n_h}$	$W_h^2 * \frac{s_h^2}{n_h}$
I	21	91922	0,3000	20,7	0,09	525,71	25,03	2,3
II	14	91282	0,2000	13,8	0,04	1 118,68	79,91	3,2
III	20	90314	0,2856	19,7	0,08	3 009,47	150,47	12,3
IV	15	67802	0,2143	14,8	0,05	29 409,5	1 960,7	90,0
Total	70	341320	1	69	1			107,8

Como la población es infinita el término  $(1 - f_n)$  se elimina, ya que  $(f_n)$  tiende a cero. Por tanto el error estándar es  $\pm 10,38$  árboles/hectárea y como  $t = 1,997$ , el error absoluto es:  $E_a = \pm 20,7$  y el error relativo es:  $E_r = \pm 9,91\%$ , por debajo del  $\pm 10\%$  deseado, por lo que los cálculos realizados están dentro del límite propuesto.

Se determinó la intensidad de muestreo o fracción de muestreo ( $f$ ) del inventario piloto para los árboles tipo mediante la razón entre el número de unidades de la muestra ( $n$ ) y el número total de unidades de la población ( $N$ ) para cada una de las especies investigadas.

Por tanto:

$$f = 0,0000590 \quad 1 - f = 1 - 0,0000590 = 0,9999 > 0,98 \quad P. cubensis$$

Entonces la población es infinita para las tres especies. Se aplicó para el cálculo de los diferentes estadísticos el procedimiento propio para un muestreo aleatorio simple, considerándose los coeficientes mórficos de las tres especies como variable de interés, se determinó también la media y la varianza para cada especie y los resultados se muestran a continuación.

$$\bar{x} = 0,4268m^3 / 0,05ha; s_x^2 = 0,0098m^3 / 0,05ha \text{ } P. cubensis$$

Para el cálculo del tamaño de la muestra se consideró obtener un límite de error de muestreo de  $\pm 10\%$  para una probabilidad de 95%. Como el límite de error está en por ciento, se convirtió a valor absoluto:  $E = 0,0427 \text{ } P.cubensis$ ; Como  $n = 91$  entonces el valor de  $(t)$  para 95% de probabilidad será:  $t_{(0,05;90)} = 1,987$  , ,. Por tanto el tamaño de la muestra para el inventario definitivo es:

$$n_3 = \frac{(2,069)^2 * 0,0098}{(0,0427)^2} = 23 (P. cubensis);$$

Los resultados indican que los individuos cubicados por cada especie son representativos para alcanzar la precisión deseada.

#### **4.1. 2. Principales defectos que aparecen en la madera en troza de *Pinus cubensis***

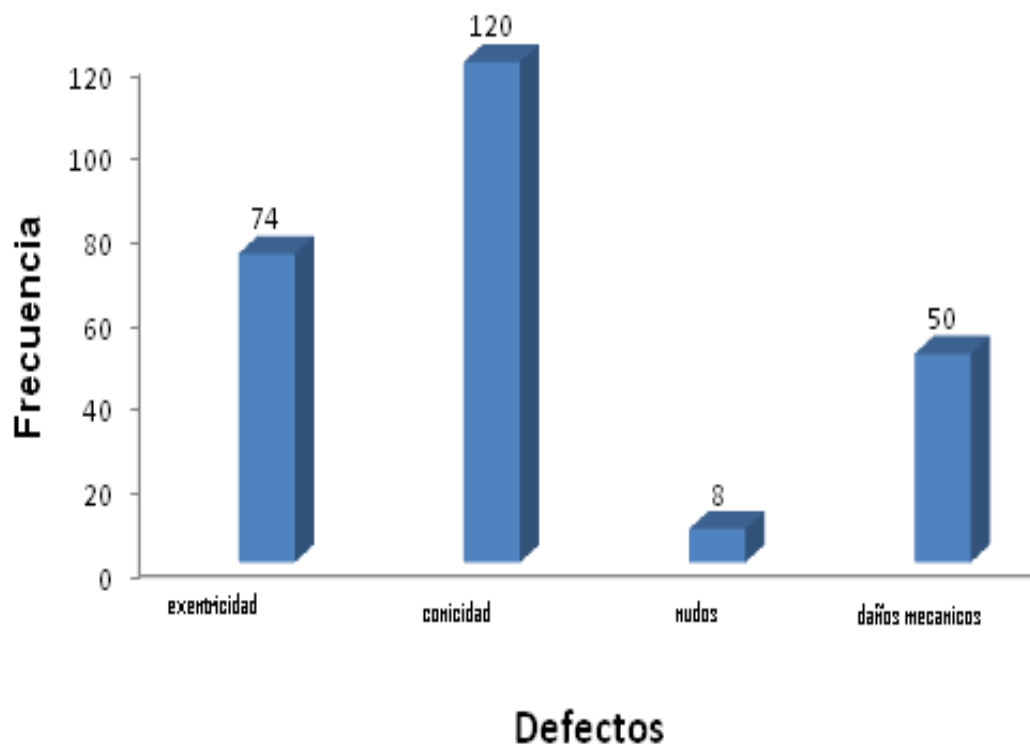
Durante la conversión tanto el diámetro, la conicidad como la longitud de la troza tienen un impacto muy significativo en el rendimiento. Las trozas de dimensiones pequeñas son generalmente asociadas con un costo de conversión alto, reducción del rendimiento, baja estabilidad de las dimensiones y aumento del número de defectos (Zhang *et al.*, 1998 y Álvarez, 2010a). En la tabla 6 se observan los defectos de la madera en rollo y sus magnitudes así como la media y la desviación estándar aspectos estos que coinciden con los resultados obtenidos por Verkassalo *et al.* (2001), Helvoigt y Grosskopf (2005), Buksnowitz *et al.* (2010), Leckoundzou (2015) y Martínez (2018), aunque en caso de la conicidad difiere en el valor con Martínez (2018) quien realizó estudios en esta unidad pero solo en dos lotes y para todos los diámetros y en nuestro caso solo se tienen en cuenta los diámetros mayores de 22 cm de diámetros.

Tabla 6. Resultados relacionados con los defectos de la madera en la UEB silvícola 13 de Agosto para la especie *Pinus cubensis* Griseb.

Defectos	Max	Min	Media	Std
Nudos	10	0	1,45	2,7088
Excentricidad, %	1,61	18,18	6,75	4,2743
Conicidad, cm/m	4,00	0,60	1,44	0,2779
Daño mecánico	2	1	1,76	0,4292

En la figura 18, se aprecian los principales defectos que inciden sobre la calidad de la madera en rollo (bolo), se considera además la incidencia de los mismos; aspectos estos que coinciden con los resultados obtenidos por Verkassalo *et al.* (2001), Helvoigt y Grosskopf (2005), así como Buksnowitz *et al.* (2010) y Leckoundzou (2015) este último para la especie *Pinus caribaea* var *carivaea* Morelet.

Figura 18. Frecuencia de aparición de los defectos.



Lo anterior corrobora lo planteado por Álvarez *et al.*, (2003) que señalan que las dimensiones y el volumen de la madera aserrada bajo las prácticas corrientes del procesamiento tienen una relación directa con las diferentes clases de calidad de trozas; por lo que se apoya en diferentes autores la relación de las características de la superficie de las trozas y el rendimiento de madera aserrada para, establecer normas para la clasificación de trozas; coincidiendo con Verkassalo *et al.* (2001).

Casado (1997), confirma el efecto de las trozas torcidas sobre la calidad y magnitud del volumen de madera aserrada producida; aspecto este que no se aprecia en las trozas de *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea* Barret y Golfari analizadas en esta investigación.

Se determinó el número de defectos por superficie m<sup>2</sup> de trozas con un valor de 4, valor superior a lo obtenido por Thomas y Parresol (1998) con la especie de *Pinus strobus* y Rojas y Morillo (2000) en plantación de *Pinus radiata* con un valor de 3 y similar a los resultados de (Leckoundzou, 2015) para *Pinus caribaea* en Pinar de Rio y (Martínez, 2018) en el mismo área de estudio.

Todoroki (2001), 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%.

#### **4.1.3. Clasificación de los árboles en pie**

Se puede definir y coincidir con Ratnasingam y Scholz (2011), que plantea que la forma del árbol es un buen indicador del rendimiento potencial de madera de calidad y teniendo como resultado la clasificación de los árboles con la metodología australiana, se representa este comportamiento en la Figura 19.

Calidad del árbol completo, se refiere a la evaluación de la calidad de un árbol en su totalidad, utilizando simplemente los mismos principios descritos para la evaluación de trozas en forma individual. Esta es una calificación relativamente más rápida.

Cuando se quiere obtener la calidad total del árbol a partir de la evaluación de sus trozas individuales, entonces se procede simplemente a asignarle al árbol la clasificación menor obtenida en las primeras 2 trozas (Anexo 1).



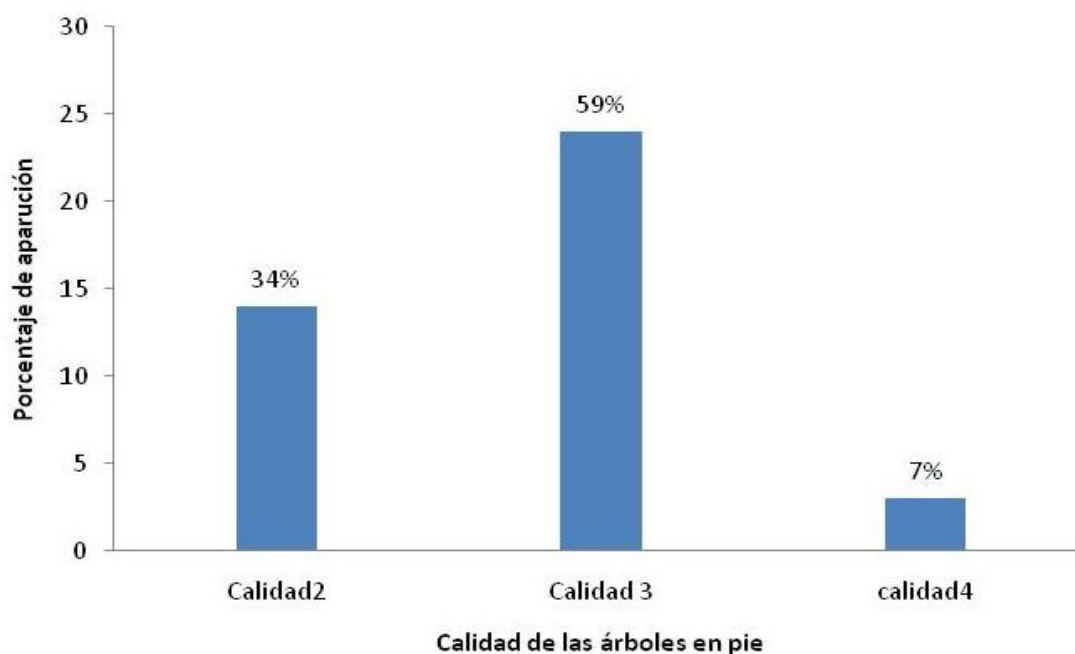


Figura 19. Porcentaje de las calidades de los árboles en pie.

Los resultados de la clasificación de la calidad de los árboles en pie, utilizando la metodología australiana se puede observar en la figura 10 donde el mayor porcentaje de las trozas muestreadas corresponden a la calidad 3 con 59%, posteriormente la calidad 2 con el 34% y la calidad 4 con el 7% estos resultados son similares a los obtenidos por Fahey y Ayer-Sachet (1993) para la especie *Pinus radiata* con valores de 60,1% para la calidad 3 y 37% para la calidad 2.

De este predominio de árboles de calidad 3 se infiere que sea debido a las condiciones de desarrollo en particular de cada árbol tales como: la exposición, pendiente, efecto de borde así como a la selección de los individuos a extraer en los raleos implementados.

Es bien conocido que el total de madera aserrada obtenida del árbol o del rodal depende en ambos casos de la geometría exterior del árbol y de las características interiores de la madera o defectos (Steele *et al.*, 1994); (Guddanti y Chang, 1998) y (Rikala, 2003).

#### 4.1.4. Influencia de la posición de la troza en el árbol sobre los rendimientos de madera aserrada

En la Figura 20 se aprecia que los rendimientos de madera aserrada van decreciendo desde la base hasta la rabiza; lo cual es consecuencia directa del aumento de la conicidad por el decrecimiento de los diámetros con la altura; coincidiendo con los resultados obtenidos por Price *et al.* (2002).

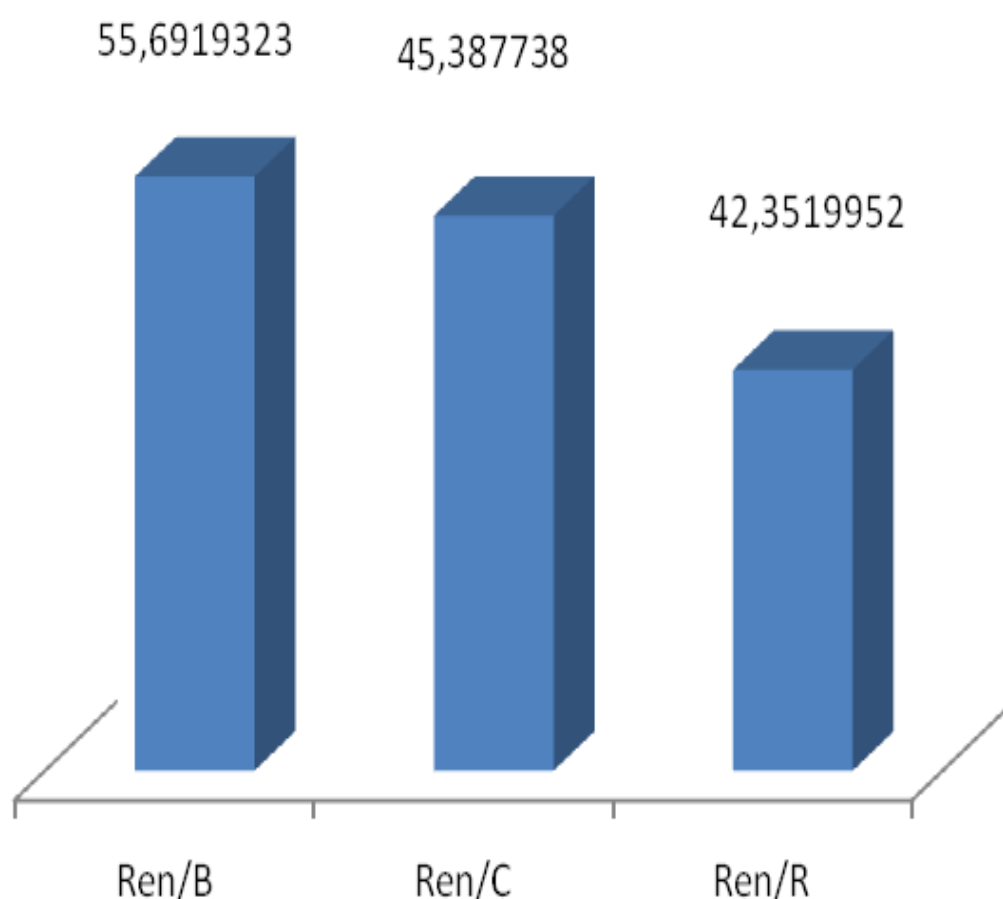


Figura 20. Frecuencia del rendimiento en diferentes posiciones del árbol.

Los resultados antes expuestos demuestran que el diámetro es una variable dendrométrica que presenta una relación directa con los rendimientos de madera aserrada coincidiendo entre otros autores con lo expresado por Egas (1998); Egas *et al.*

(2001); así como Álvarez, *et al.* (2010<sub>b</sub>); lo cual se demuestra al realizar el análisis del comportamiento del diámetro en la sección longitudinal del árbol (Figura 21).

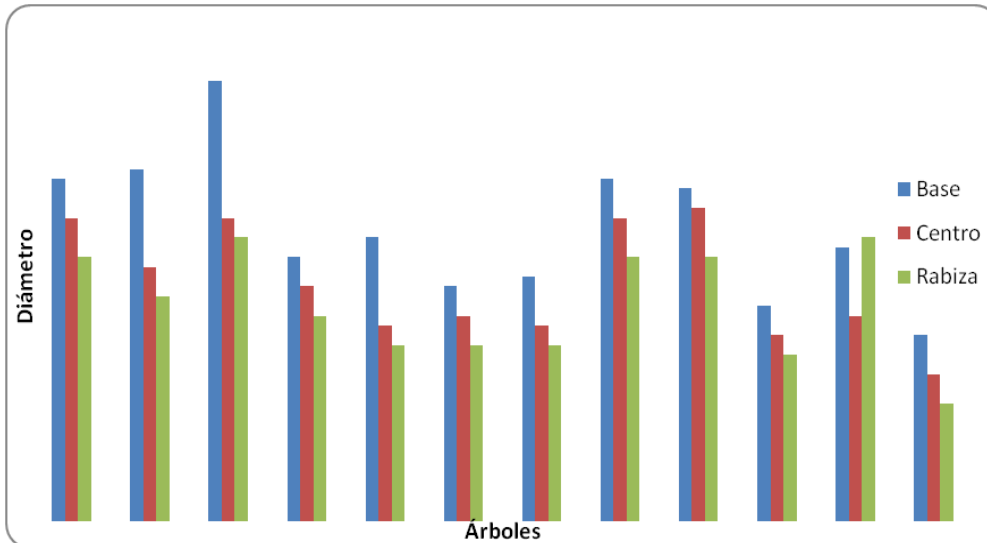


Figura 21. Comportamiento del diámetro de las trozas en dependencia de su posición en el árbol.

En la Figura 22, se corrobora la influencia del diámetro sobre el rendimiento de la madera aserrada en el aserrío Combate las Tenerías donde el aumento del diámetro genera un aumento del rendimiento de madera aserrada.

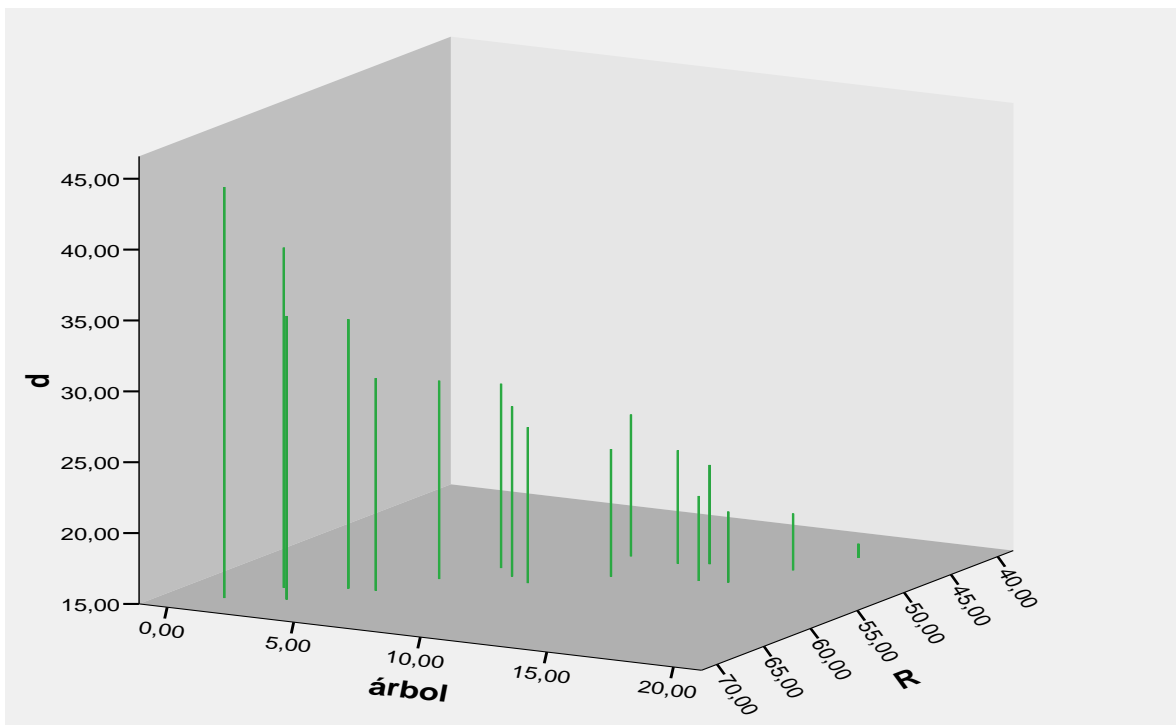


Figura 22. Comportamiento del diámetro sobre el rendimiento de madera aserrada.

Estos resultados coinciden con los trabajos desarrollados por Funck *et al.*, (2002), Zhang *et al.*, (2005); Tong y Zhang, (2006) y Zhang *et al.*; (2006), así como Moberg y Nordmark (2006), Valencia *et al.*, (2010) y (Leckoundzou, 2015) .

Sucede lo mismo con los resultados obtenidos por Binagorov (1984); Plank (1985); Willits y Fahey (1991); Fahey y Ayer-Sachet (1993) que han demostrado que en la medida que el diámetro aumenta, también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrado. Lo que implica en el procesamiento de madera de pequeñas dimensiones, bajos niveles de rendimiento y menos ganancia para el aserradero (Ayessa *et al.*, 2010). No obstante, de acuerdo con Vlasov *et al.* (1967), el planteamiento de que las trozas de pequeñas dimensiones, en comparación con trozas de grandes dimensiones, conducen a la reducción de los principales indicadores técnico-económicos de los aserraderos es solo parcialmente válida pues, haciendo una selección de la máquina y los equipos, por ejemplo el uso de la sierra circular con una alimentación continua de trozas pequeñas, o la sierra de banda de vía de corte estrecho y con gran velocidad, es posible reducir la influencia negativa en los indicadores, causada por el empleo de trozas de pequeños diámetros.

Es significativo exponer la necesidad de una correcta clasificación de la madera en rollo en el aserradero Combate de las Tenerías de Guane, teniendo en consideración las diferentes normas de clasificación existentes.

En la Figura 23. Se puede apreciar que los diámetros de mayor frecuencia son los que se ubican en el rango 26 – 30 cm.

Todo ello impone la necesidad de una correcta clasificación de las trozas de *Pinus cubensis* Griseb., con la finalidad de cuantificar con mayor precisión la eficiencia del proceso de aserrado. Conociendo además que en dichas trozas aparece un

determinado número de defectos, que inciden sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada.

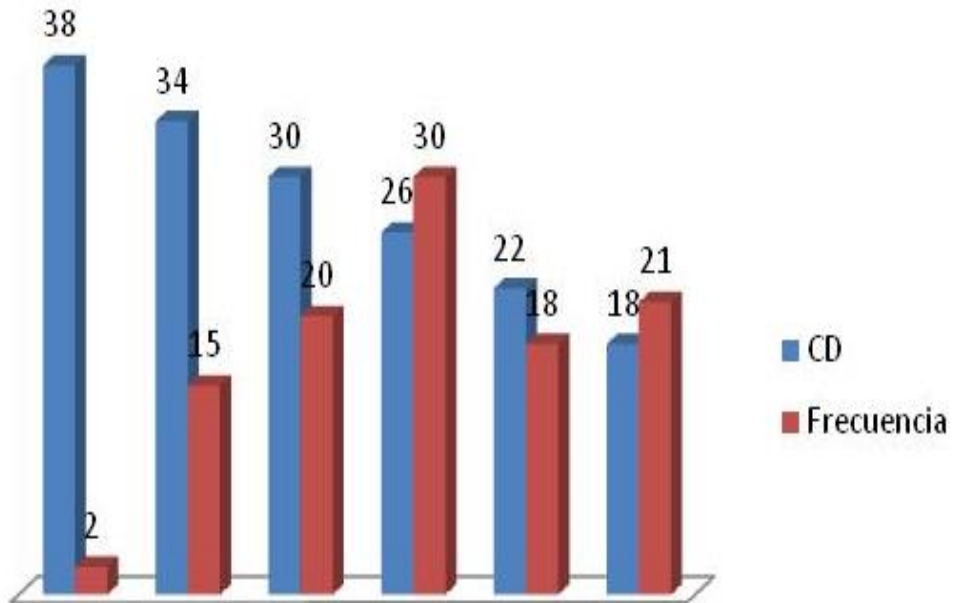


Figura 23. Frecuencia de los diámetros.

La madera de alta clasificación tiene menos defectos y más áreas de corte clara y limpia que la de baja clasificación.

Las trozas o bolos de madera se clasifican en función de sus dimensiones (ancho, grosor y largo) y de su calidad. Para ello existen patrones que asignan un nivel en función del número y tipo de defecto que puede presentar una pieza aserrada (Confemadera, 2005).

La medición de la forma durante la clasificación en un aserradero es útil para la predicción de la clasificación de la madera aserrada (Grace, 1994); (Jappinen, 2000); (Lundgren, 2000) y (Oja *et al.*, 2003).

La madera como materia prima representa aproximadamente 2/3 del costo total del aserradero, el nivel de eficiencia utilizando la misma obviamente tiene un gran impacto en los resultados económicos, se pueden obtener económicamente ganancias mayores si es seleccionada la materia prima adecuada y procesándola inteligentemente teniendo en cuenta el conocimiento de las estructuras internas de los nudos de árboles y trozas (Steele *et al.*, 1994); (Gronlund, 1995) y (Todoroki, 2001).

## 4.2. Modelos para estimar el rendimiento de madera aserrada a partir de las variables dendrométricas.

### 4.2.1. Procesamiento de las informaciones de las parcelas (índices dasométricos)

Para ensayar modelos matemáticos se hace necesario el estudio de las masas forestales, mediante la utilización del Microsoft Excel 2003 se realizaron los cálculos de las principales variables dasométricas para la especie investigada, tales como: altura media en m, diámetro medio a 1,30 en cm, altura comercial en (m), área basal en ( $m^2/ha$ ), volumen total en ( $m^3/ha$ ), volumen comercial en ( $m^3/ha$ ) y el número de árboles por hectárea (N/ha), conforme se muestra en la Tabla 7, estos valores son promedio de las 10 parcelas que se levantaron en el área de estudio ya explicadas anteriormente en el capítulo de materiales y métodos.

Tabla 7. Índices dasométricos total para la especie en área de estudio.

<b>Especie</b>	$\bar{D}_{1,30}$ (cm)	$\bar{H}_t$ (m)	$\bar{H}_c$ (m)	$\bar{G}$ ( $m^2 / ha$ )	$\bar{V}_t$ ( $m^3 / ha$ )	$\bar{V}_c$ ( $m^3 / ha$ )	$N / ha$
<i>Pinus cubensis</i>	29,5	23,3	15,5	33,96	508,94	474,46	775

Como se puede observar el diámetro promedio del área de estudio es de 29,5 cm, la altura total de 23,3 lo que demuestra que los rodales donde se realizó el estudio están aptos para aprovechar, con un área basal promedio de 33,96 y un volumen total de

508,94 m<sup>3</sup>/ha y un volumen comercial de 474,46 m<sup>3</sup>/ha y en el área existe como promedio 775 árboles por hectáreas lo que demuestra que se han realizado los raleos correspondientes, estos resultados son similares a los expuestos por Pérez y Ramírez, (2015) al final de la etapa del último año del proyecto de ordenación que terminó en 2014.

#### 4.2.2. Procesamiento de las informaciones de los árboles derribados (índices dendrométricos)

En el área de estudio se derribaron 106 árboles, utilizando la parte más comercial de cada árbol (la primera troza) a las cuales se les midió el diámetro a 1.30 m del corte ( $d_{1.30}$ ), el diámetro en la parte más fina ( $d_{pf}$ ) y el diámetro en la mitad de cada troza ( $d_{1/2}$ ) y la longitud de la troza comercial ( $h_c$ ), así como la longitud total de cada árbol ( $h_t$ ), con estos índices se calculó el volumen de madera en bolo, y su equivalente en madera aserrada, así como el rendimiento y la conicidad de cada árbol, en el anexo 2 se muestran estos índices para cada árbol, la tabla 8 muestra los promedios de estos índices. Durante la conversión tanto el diámetro, la conicidad como la longitud de la troza tienen un impacto muy significativo en el rendimiento. Las trozas de dimensiones pequeñas son generalmente asociadas con un costo de conversión alto, reducción del rendimiento, baja estabilidad de las dimensiones y aumento del número de defectos (Zhang *et al.*, 1998, Álvarez, 2010<sub>a</sub> y Leckoundzou, 2015).

Tabla 8. Índices dendrométricos promedios total para la especie en área de estudio.

<b>Especie</b>	$\bar{d}_{1,30}$ (cm)	$\bar{d}_{pf}$ (cm)	$\bar{d}_{1/2}$ (cm)	$\bar{h}_f$ (m)	$\bar{h}_{cf}$ (m)	$\bar{V}_{mb}$ (m <sup>3</sup> )	$\bar{V}_{mas}$ (m <sup>3</sup> )	$\bar{R}$ (%)	$\bar{C}$
<i>Pinus cubensis</i>	27,14	21,78	24,5	13,34	7,06	1,038	0,602	55,93	0,4 27

#### 4.2.3. Ensayo de los modelos

Es muy importante la determinación del efecto de las características del árbol sobre los valores de madera aserrada, con la finalidad de proveer información para la selección de los modelos (Zhang y Liu, 2006).

El análisis de la componente principal (PCA), conduce a determinar qué característica del árbol tiene el mayor impacto sobre el rendimiento en valor de la madera aserrada (Monison 1976).

Con la utilización del método descriptivo de extracción, el análisis por componentes principales; se seleccionaron 2 factores con autovalores mayores que 1, los cuales explican el 87,42% de la varianza total (Tabla 9).

Tabla 9. Porcentajes de varianza explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,324	66,478	66,478	3,324	66,478	66,478	2,480	49,598	49,598
2	1,047	20,944	87,422	1,047	20,944	87,422	1,891	37,824	87,422
3	,290	5,803	93,225						
4	,247	4,938	98,163						
5	,092	1,837	100,000						

La obtención de la matriz de componentes (Tabla 10) contiene las saturaciones de las variables en los factores no rotados, en los que se ven claramente dos componentes uno relacionado con el diámetro del árbol ( $d_{1.30m}$ ), altura del fuste y el rendimiento.



Tabla 10. Matriz de componentes.

Variables	Componentes	
Variables	1	2
d <sub>1,30m</sub>	0,959	0,038
Hf	0,896	-0,153
Rend	0,884	0,150
Ht	0,684	-0,638
Con	0,587	0,767

A partir del análisis de los factores de búsquedas (datos de entradas) del d<sub>1,30m</sub> contribuye en el componente principal 1; seguido por la altura, donde la conicidad contribuye menos.

Es evidente que el d<sub>1,30m</sub> es la variable más importante que afecta el rendimiento en valor de la madera aserrada entre todas las características del árbol (Figura 24)

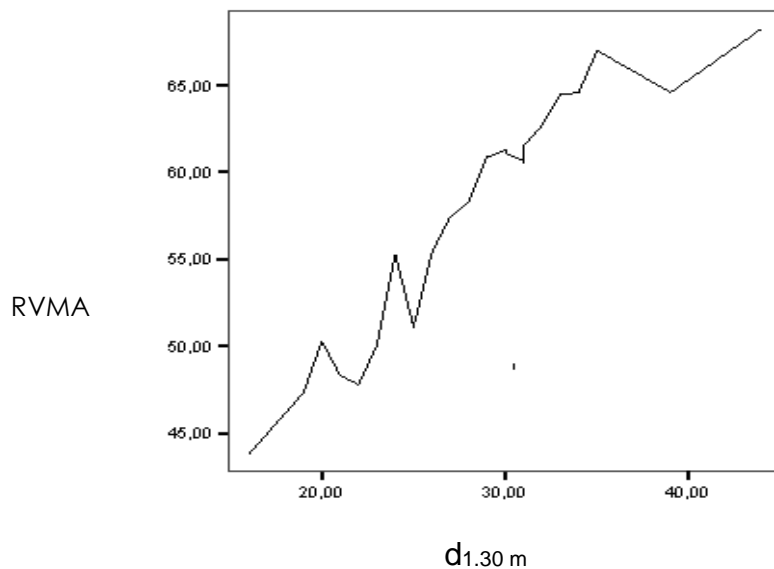


Figura 24. Influencia del d<sub>1.30 m</sub> sobre los rendimientos en valores de la madera aserrada de *Pinus cubensis*.

La base para la estimación de todas las relaciones de regresión es la correlación.

Por esta razón para poder determinar relaciones funcionales entre dos o más variables es necesario conocer a través del coeficiente de correlación si estas tienen algún grado de asociación o relación. Este coeficiente se encuentra dentro del rango de 1 a -1 y a medida que se encuentra más próximo a estos valores (Sotolongo, 2008).

Para determinar el grado de esta relación entre las variables empleadas y sus transformaciones en la estimación de los rendimientos de madera aserrada se construyó la matriz de correlación que se muestra en la tabla 11.

Como se aprecia en la Tabla 11 los coeficientes de correlación de las variables empleadas en la estimación del rendimiento de madera son significativos, lo cual demuestra el alto grado de relación existente entre estas. Las variables con transformación logarítmica poseen los mayores coeficientes respecto al rendimiento de madera aserrada.

Tabla 11. Matriz de correlación paramétrica de Pearson.

	<b>d<sub>1,30m</sub></b>	<b>Hf</b>	<b>Rend</b>	<b>Con</b>	<b>Ind<sub>1,30m</sub></b>	<b>In Hf</b>	<b>In Rend</b>	<b>In Con</b>
<b>d<sub>1,30m</sub></b>	1							
<b>Hf</b>	0,843**	1						
<b>Rend</b>	0,804**	0,689**	1					
<b>Con</b>	0,588**	0,392**	0,560**	1				
<b>Ind<sub>1,30m</sub></b>	0,993**	0,862**	0,809**	0,571**	1			
<b>In Hf</b>	0,828**	0,988**	0,686**	0,352**	0,856**	1		
<b>In Rend</b>	0,802**	0,698**	0,997**	0,552**	0,811**	0,697**	1	
<b>In Con</b>	0,603**	0,406**	0,579**	0,996**	0,589**	0,366**	0,572**	1

Donde:  $d_{1,30m}$ : diámetro a 1,30m; hf: altura del fuste; Rend: rendimiento; Con: conicidad;  $l_n d_{1,30m}$ : logaritmo neperiano del diámetro;  $l_n hf$ : logaritmo neperiano del fuste;  $l_n$  rend: logaritmo neperiano del rendimiento;  $l_n Con$ : logaritmo neperiano de la conicidad

El éxito de cualquier técnica multivariante, incluyendo las regresiones múltiples, comienza con la selección de las variables que se van a utilizar en el análisis. Dado que la regresión múltiple muestra una relación de dependencia, se debe especificar qué variable se usa como criterio y qué variables se usan como predictoras. La selección de ambos tipos de variables deberá basarse principalmente en fundamentos conceptuales o teóricos (Hair *et al.*, 1999). Las transformaciones de los datos proporcionan un medio de modificar las variables con la finalidad de mejorar la correlación entre las variables (Hair *et al.*, 1999).

Utilizando las variables independientes de mayor relación con la variable dependiente y de respuesta se obtuvieron ecuaciones de estimación del rendimiento de madera aserrada, los modelos comparados se observan en la Tabla 12, con sus respectivos coeficientes de correlación R, determinación ( $R^2$ ) y error estándar de estimación (S).

Tabla 12. Modelos para determinar el rendimiento de la madera en árboles en pie.

Modelos de regresión	R	R <sup>2</sup>	S
$l_n(\text{rend}) = 1,113 + 0,549 \times l_n d_{1,30}$	0,911	0,829	0,032
$l_n(\text{rend}) = 1,094 + 0,467 \times l_n d_{1,30} - 0,130 l_n Con$	0,919	0,845	0,031
$l_n(\text{Rend}) = l_n(7,28119601) + (1,02803964 \times l_n(d_{1,30}))$	0,811	0,654	0,11
$l_n(\text{Rend}) = l_n(0,26089255) + (l_n(1,3660825) \times d_{1,30})$	0,905	0,819	0,11

Las 4 ecuaciones construidas para determinar el rendimiento de la madera aserrada tienen aceptables coeficientes de correlación, determinación y bajos errores estándar de estimación. Sin embargo el mejor comportamiento lo posee el modelo  $I_n(\text{rend}) = 1,094 + 0,467 \times I_n d_{1,30} - 0,130 I_n \text{Con}$  que tiene mejor ajuste (las variables independientes explican el 67 % y el menor valor del error estándar de estimación.

Tabla 11.

El coeficiente de determinación del modelo seleccionado para determinar el rendimiento es mayor al obtenido por (Aranzeta *et al.*, 2004) para *Pinus radiata*, González (1989) en *Quercus pyrenaica* y Merino *et al.* (2003) en *Pinus radiata*. Jara (2001), por su parte obtuvo modelos para el mismo fin con coeficientes de ( $R^2= 0,69$ ) para *Cupressus lusitanica*, ( $R^2= 0,76$ ) para *Pinus patula*, ( $R^2= 0,76$ ) para *Eucalyptus spp.*

Como se conoce la determinación del volumen total de la madera aserrada a partir del árbol en pie es muy difícil, se cometen errores importantes y posee un elevado costo según Mariot (1988). La estimación de este es muy necesaria por ser una variable independiente importante en la determinación del rendimiento de madera en el árbol, (Corvalán, 1998). Para la determinación de los modelos de regresión en la estimación del rendimiento de madera aserrada se partió de la correlación existente entre las variables medidas.

El modelo cumplió además la etapa de los supuestos de independencia de Durbin-Watson con un valor de 2,038 la homogeneidad de varianza (Figuras 25, 26 y 27) y el supuesto de multicolinealidad con una tolerancia de 0,308, valor de entrada y sigue una distribución normal, en correspondencia con lo reportado en la literatura por Zhang *et al.*, (1998). Según Sotolongo (2008) una variable solo pasa a formar parte del modelo si su nivel de tolerancia es mayor que 0,01. Los factores de inflación de varianza (VIF) obtenidos tienen un valor 1,53, lo que no representa problema. Neter *et al.* (1990) plantean que el mínimo valor posible que debe tomar la VIF es 1 y los mayores que 10 pueden indicar un problema de colinealidad.

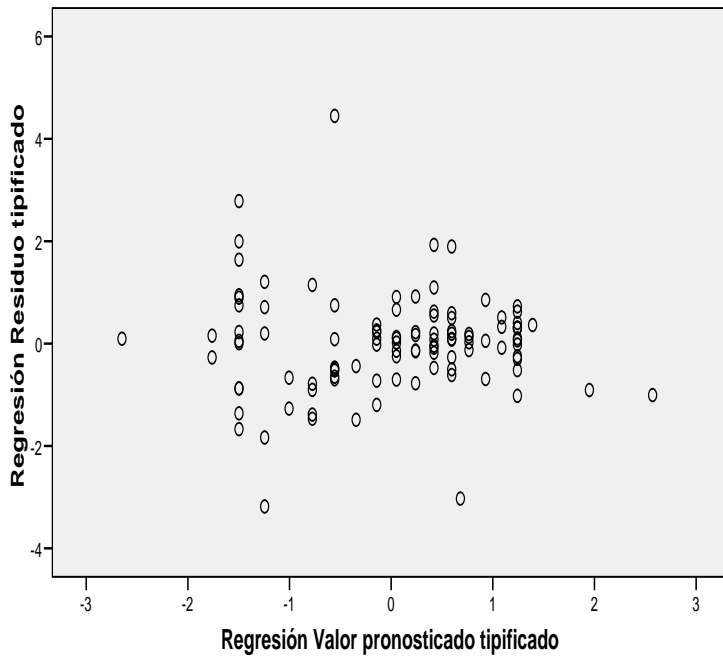


Figura 25. Dispersión de los residuos modelo 1

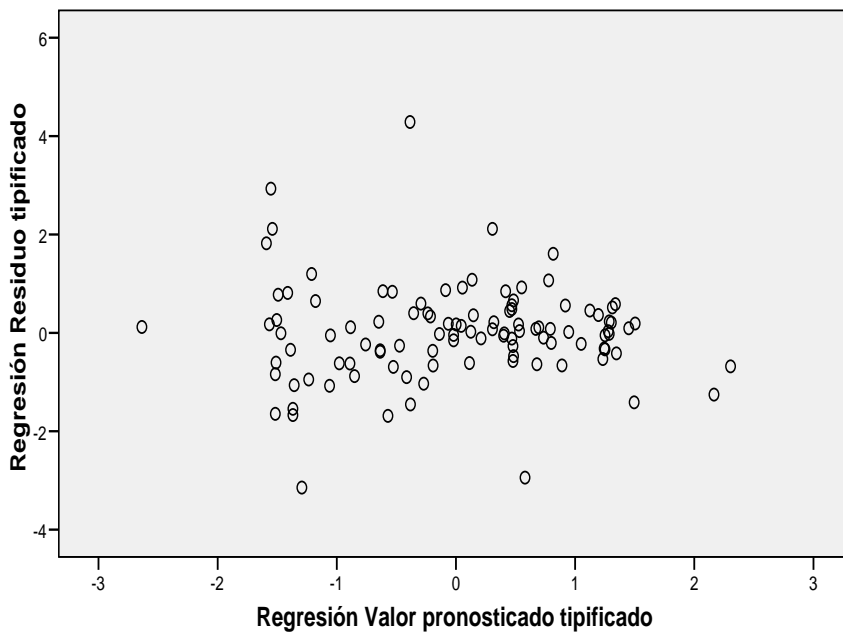


Figura 26. Dispersión de los residuos modelo 2

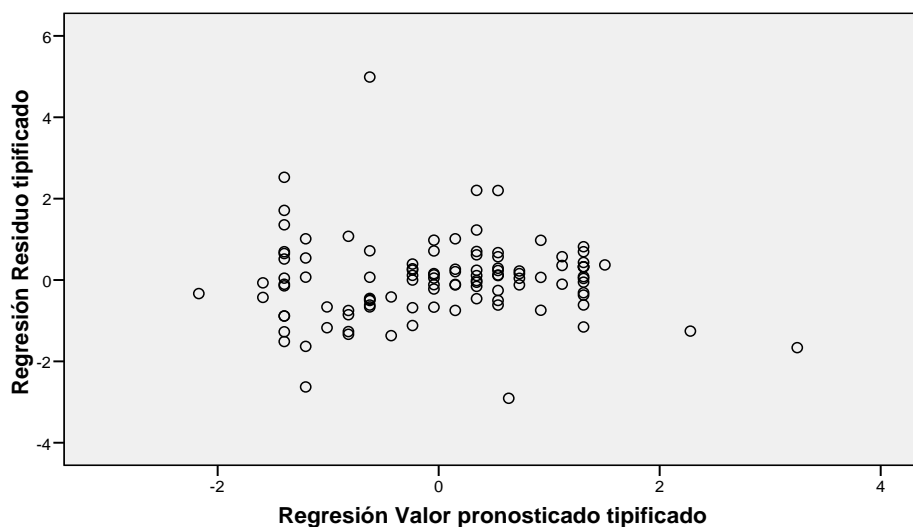


Figura 27. Dispersión de los residuos modelo 3

Analizando las capacidades predictivas de los modelos en la Tabla 13, tanto para el ajuste de los datos como para la validación resultó el modelo

$l_n(\text{rend}) = 1,094 + 0,467 \times l_n d_{1,30} - 0,130 l_n \text{Con}$  el de mejor comportamiento con los valores menores de los estadísticos error cuadrático medio (ECM), sesgo  $\bar{E}$  y desviación estándar de residuo  $S_x$ .

Tabla 13. Capacidad predictiva de los modelos analizados.

Modelo	Ajuste			Validación		
	EMC	$\bar{E}$	$S_y$	EMC	$\bar{E}$	$S_x$
$l_n(\text{rend}) = 1,013 + 0,519 \times l_n d_{1,30}$	0,000 98	0,0000002	0,032	0,001	0,408	0,0315
$l_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1,30} - 0,120 l_n \text{Con}$	0,000 94	$-1,211033^{-18}$	0,031	0,001	0,004	0,0310

El modelo de mejor comportamiento del ajuste y predicción se corresponde con lo reportado por (Husch *et al.*, 1993); (Andenmatten y Letourneau, 1998); (Corvalán,

1998); (Nebel *et al.*, 2000); (Sánchez *et al.*, 2003); (López *et al.*, 2003) y (Barrio *et al.*, 2004) en modelos de rendimiento de los árboles en diversas especies forestales.

Según Barrero (2010), de forma general para muchas especies del género *Pinus* de amplia distribución, se reconoce la existencia de procedencias y su influencia en variables relativas al crecimiento como es el caso de *Pinus pinaster* reportado por (Rodríguez, 1998), el caso de *Pinus sylvestris* reportado (Gra y Báez, 1989). Sin embargo para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari estudios recientes de ensayos progenie-procedencia realizados por (García, 2002), para estas variables no mostraron diferencias significativas.

El resultado obtenido se ajusta a lo planteado por Husch (1993) citado por Corvalán (1998) quien expresa que la relación funcional entre el rendimiento y el diámetro no es lineal, sino exponencial, logarítmico, exponencial asintótica o parabólica.

#### **4. 2.4. Modelo de evaluación utilizando el análisis de elasticidad**

Las relaciones derivadas de los modelos de regresión se pueden utilizar para caracterizar algunas propiedades entre las que se destacan las elasticidades y la interacción entre las variables dependientes e independientes (Liu *et al.*, 1989).

La elasticidad de los resultados y la elasticidad de la escala se derivan de los modelos de función que asumen la primera derivada de los resultados en relación con las variables de entrada o predictoras.

La elasticidad de los resultados con respecto a las variables predictoras posibilita medir la contribución de cada variable predictora sobre el valor de la variable predictiva. Esto se puede interpolar como el porcentaje de variación o cambio en función de 1% de cambio en los niveles de salida.

En el modelo (41) Tabla 13 que posee las dos variables (entradas) independientes, explican el 67% de la variabilidad total del rendimiento, donde se tiene un ejemplo de la cuantificación del impacto de un incremento de los valores de entrada (variables predictoras) sobre los valores de salida.

Las elasticidades de las salidas en el modelo

$l_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1,30} - 0,120 l_n \text{Con}$  en el caso de madera aserrada se ilustran de la siguiente manera:

Para  $d_{1,30}$  m

$$E = (Rend, d_{1,30}) = \left( \frac{\partial Rend}{\partial d_{1,30}} \right) \left( \frac{d_{1,30}}{Rend} \right) = b_1 = 0,464 \quad (44)$$

Para la conicidad

$$E(Rend, Con) = \left( \frac{\partial Rend}{\partial Con} \right) \left( \frac{Con}{Rend} \right) = b_3 = -0,120 \quad (45)$$

La elasticidad de las variables dependientes está influenciada por las condiciones ambientales de crecimiento del árbol y del tiempo de evolución. En general el crecimiento relativo del árbol decrece con la edad.

En este estudio todos los árboles tienen la misma edad; por lo que el impacto de la edad sobre el valor del producto es ignorado.

La contribución de las variables predictoras sobre el rendimiento de la madera aserrada fue:

0,464 para  $d_{1,30}$  m

-0,120 para la conicidad

Esto indica que el  $d_{1,30}$  m es el factor de mayor significación e influencia sobre el volumen de madera aserrada producida, así como de los valores de la misma.

El valor de la elasticidad del  $d_{1,30}$  m de los árboles es positivo indicando que el rendimiento en valor de la madera aserrada aumenta con el  $d_{1,30}$  m.

Por otra parte la conicidad tiene un efecto negativo sobre el valor de la madera aserrada, lo cual significa que el rendimiento en valor de la madera aserrada decrece



cuando aumenta la conicidad.; coincidiendo con (Egas, 1998); (Egas *et al* 2001), (Álvarez *et al.*, 2010 c).

El valor relativo de la madera aserrada tiene un incremento en función del  $d_{1.30}$

Este incremento se determinó como:

$$\left(\frac{\partial Rend}{Rend}\right) = 0,464 \left(\frac{\partial Rend}{\partial d_{1.30}}\right) \quad (46)$$

Esto indica que el incremento en un 1% del  $d_{1.30}$  m puede ocasionar un incremento aproximadamente del 0,464% del rendimiento en valor de la madera aserrada

Todo lo cual corrobora los planteamientos de Liu *et al.* (2007), Tong y Zhang (2006) y Zhang *et al.* (2006), que establecen que la contribución del  $d_{1.30}$  m sobre la magnitud del valor de la madera aserrada.

La conicidad tiene un efecto inverso.

$\frac{\partial Rend}{Rend} = -0,120 \left(\frac{\partial Rend}{\partial Con}\right)$  ; lo cual establece que el incremento en 1% de la conicidad provoca un efecto negativo o reducción del valor de los rendimientos en valores de la madera aserrada en - 0,120 %.

La elasticidad de escala se corresponde con todas las elasticidades de las variables de salida en relación a todas las variables de entrada o variable dependientes.

Para dos o más variables de entrada o dependiente, la elasticidad de escala es la suma de la elasticidad de salida de cada variable de entrada o variable dependiente.

En este estudio, la elasticidad de la escala se describe como:

$$E = E(Rend, d_{1.30}) + E(Rend, Con) = 0,344(47)$$

Esto es el porcentaje de cambio en el valor de los productos del árbol debido a la combinación de 1% de cambio en todas las variables predictoras o variables de entrada.

De acuerdo con el modelo,  $l_n(rend) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1.30} - 0,120 l_n Con$  no existe un incremento del ritmo en el estudio a partir de que E es menor que 1.

Un por ciento (%) de incremento simultáneo en árbol del  $d_{1.30\text{ m}}$ , y la conicidad resulta en aproximadamente un 0,344 % de incremento de los valores de los productos del árbol en el modelo  $l_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1,30} - 0,120 l_n \text{Con}$

Se denota que este valor puede cambiar de un valor a otro e incluso dentro del mismo rodal.

La magnitud de estos cambios depende del desarrollo de los rodales individuales.

En general la elasticidad para cada árbol debe fluctuar alrededor de 1.0.

#### 4.2.5. Interacción entre los factores

La interdependencia técnica entre factores de una función de producción fue examinada a partir de la productividad marginal de una variable predictora con respecto a otras (Liu *et al.*, 1989).

Matemáticamente esta se obtiene tomando en consideración la derivada parcial cruzada de los resultados con respecto a dos factores o variables predictoras en el modelo en el caso de la producción de tablas en el aserrío.

$$l_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1,30} - 0,120 l_n \text{Con}$$

#### Para $d_{1.30\text{ m}}$ y Conicidad

$$\frac{\partial^2 \text{Rend}}{\partial(d_{1,30})\partial \text{Con}} = -1,9 \quad (55)$$

La derivada parcial cruzada del modelo presenta valor negativo.

$$l_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 \times l_n d_{1,30} - 0,120 l_n \text{Con}$$

La derivada parcial cruzada negativa entre el  $d_{1.30\text{ m}}$  y la conicidad sugiere una relación de competitividad según Liu *et al.*, (1989).

Aubry *et al.*, (1998), reportan que la dimensión del fuste determina el número de vitolas por troza (efecto del diámetro).

Por lo tanto el número de trozas y el número de vitolas o tablas por troza presenta el mayor impacto sobre el valor del árbol.

El valor de madera aserrada a partir de un árbol individual depende significativamente del  $d_{1.30}$  m.

En el modelo  $l_n(\text{rend}) = 1,094 + 0,467 \times l_n d_{1,30} - 0,130 l_n \text{Con}$ , se puede apreciar lo antes señalado.

Se aprecian pequeñas diferencias en la elasticidad de los resultados y la escala entre los modelos. Las mismas se deben a la omisión de otras variables predictoras (Liu *et al.*, 1989).

Por lo antes expuesto, las características del árbol pueden ser utilizadas para cuantificar la relación entre las características del árbol y el valor de los productos; coincidiendo con los resultados obtenidos por Talbert y Jett (1984); Aubrey *et al.* (1998) y Zhang y Lei (2006).

#### 4.3. Ensayo de Modelos Matemáticos por clases diamétricas

Teniendo en cuenta que solo se evalúan los diámetros mayores de 24 cm de diámetro se establecieron tres clases diamétricas según el diámetro mínimo y mayor encontrado en el inventario, en las tablas 14,15,y 16 se observan las correlaciones de las variables por clases diamétricas, donde se observa que en todas las clases diamétricas las variables se correlacionan fuertemente, solo es débil el diámetro en la parte más fina (dpr) para la clase diamétrica 20 que se encuentra por debajo del 50 por ciento (0,345).

Tabla 14. Correlación de Pearson para la CD 25 del volumen en bolo como variable dependiente.

		Vmb	D1.30	Dpr	D
Vmb	Correlación de Pearson	1	,857(**)	,838(**)	,874(**)
Vmb	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
Vmb	N		29	29	29
D1.30	Correlación de Pearson		1	,957(**)	,984(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			,000	,000

	N			29	29
Dpr	Correlación de Pearson			1	,987(**)
Dpr	Sig. (bilateral)				,000
Dpr	N				29
D	Correlación de Pearson				1
D	Sig. (bilateral)				
D	N				29

Tabla 15. Correlación de Pearson para la CD 30 del volumen en bolo como variable dependiente.

		Vmb	D1.30	Dpr	D
Vmb	Correlación de Pearson	1	,730(**)	,639(**)	,708(**)
Vmb	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
Vmb	N		36	36	36
D1.30	Correlación de Pearson		1	,865(**)	,964(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			,000	,000
D1.30	N			36	36
Dpr	Correlación de Pearson			1	,967(**)
Dpr	Sig. (bilateral)				,000
Dpr	N				36
D	Correlación de Pearson				1
D	Sig. (bilateral)				
D	N				36

Tabla 16. Correlación de Pearson para la CD 35 del volumen en bolo como variable dependiente.

		VMB	D1.30	DPR	D
Vmb	Correlación de Pearson	1	,811(**)	,594(**)	,713(**)
Vmb	Sig. (bilateral)		,000	,009	,001
Vmb	N		18	18	18
D1.30	Correlación de Pearson		1	,909(**)	,974(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			,000	,000
D1.30	N			18	18

Dpr	Correlación de Pearson			1	,979(**)
Dpr	Sig. (bilateral)				,000
Dpr	N				18
D	Correlación de Pearson			1	
D	Sig. (bilateral)				
D	N				18

En el anexo 2 se muestran los resultados de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas por clases diamétricas para la madera en bolo como variable dependiente, por cada clase diamétrica se ensayaron los tres modelos que mejor ajuste estuvieron en el análisis general con cada una de las variables que se correlacionaron fuertemente, en la tabla 17 se muestran las ecuaciones de mejor ajuste por cada clase diamétrica, para las clases 25 – 35 un modelo logarítmico, estos tres últimos modelos coinciden con el modelo de mejor ajuste de forma general obtenidos por Martínez (2018) en un área más local lo que demuestra que estos modelos se pueden generalizar para todas las áreas de la UEB.

Tabla 17. Ecuaciones de mejor ajuste para los volúmenes de madera en bolo por clases diamétricas.

CD	Ecuación	RECM	DA
25	$\ln Vmb = (3,163) + (-84,439 / d_{1,30})$	0,10278214	0,011
30	$\ln Vmb = (3,203) + (-87,714 / d_{1,30})$	0,21512833	0,046
35	$\ln Vmb = (3,748) + (-110,290 / d_{1,30})$	0,17332965	0,030

En las tablas 18,19 y 20 se muestra el análisis de correlación para la madera aserrada como variable dependiente por clase diamétrica, donde se observa una fuerte correlación con todas las variables desde la clase diamétrica 25 hasta la 30.

Tabla 18. Correlación de Pearson para la CD 25 para volumen de madera aserrada como variable dependiente.

		Vmas	D1.30	Dpr	D
Vmas	Correlación de Pearson	1	.942(**)	.918(**)	.939(**)
Vmas	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
Vmas	N		29	29	29
D1.30	Correlación de Pearson		1	.957(**)	.984(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			.000	.000
D1.30	N			29	29
Dpr	Correlación de Pearson			1	.987(**)
Dpr	Sig. (bilateral)				.000
Dpr	N				29
D	Correlación de Pearson				1
D	Sig. (bilateral)				
D	N				29

Tabla 19. Correlación de Pearson para la CD 30 para volumen de madera aserrada como variable dependiente.

		Vmas	D1.30	Dpr	D
Vmas	Correlación de Pearson	1	.903(**)	.819(**)	.890(**)
Vmas	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
Vmas	N		36	36	36
D1.30	Correlación de Pearson		1	.865(**)	.964(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			.000	.000
D1.30	N			36	36
Dpr	Correlación de Pearson			1	.967(**)
Dpr	Sig. (bilateral)				.000

	N				36
D	Correlación de Pearson				1
D	Sig. (bilateral)				
D	N				36

Tabla 20. Correlación de Pearson para la CD 35 para volumen de madera aserrada como variable dependiente.

		Vmas	D1.30	D	Dpr
Vmas	Correlación de Pearson	1	.755(**)	.635(**)	.500(*)
Vmas	Sig. (bilateral)		.000	.006	.041
Vmas	N		17	17	17
D1.30	Correlación de Pearson		1	.975(**)	.909(**)
D1.30	Sig. (bilateral)			.000	.000
D1.30	N			17	17
D	Correlación de Pearson			1	.979(**)
D	Sig. (bilateral)				.000
D	N				17
Dpr	Correlación de Pearson				1
Dpr	Sig. (bilateral)				
Dpr	N				17

En la tabla 21 se muestran las ecuaciones de los mejores modelos por clases diamétricas con sus capacidades predictivas donde para la clase diamétrica 25 fue un modelo aritmético, para el caso de las clases 30 y 35 es un modelo logarítmico, solo que en la clase diamétrica 30 fue con la variable del diámetro medio ( $d_{1/2}$ ) como variable independiente coincidiendo este resultado con el modelo de mejor ajuste de madera aserrada, los demás difieren solamente en la variable pero coinciden entre los tres modelos de mejor ajuste generales. Todos estos modelos son de simple entrada lo que facilita aún más su implementación práctica.

Tabla 21. Ecuaciones de mejor ajuste para los volúmenes de madera aserrada por clases diamétricas.

CD	Ecuación	RECM	DA
25	$V_{mas} = (-1,397) + (0,073 * d_{1,30})$	0,03986735	0,002
30	$\ln V_{mas} = (2,487) + (-75,574 / d_{1/2})$	0,0702930	0,005
35	$Ln V_{mas} = \ln(-0,00000453) + 3,510 * \ln d_{1,30}$	0,1692185	0,029

En el caso del rendimiento las correlaciones fueron muy bajas por lo que no se analizaron los modelos para este caso. En las tablas 22,23 y 24; se muestra el análisis de correlación para la conicidad como variable dependiente donde se observa una fuerte correlación en cada caso.

Tabla 22. Correlación de Pearson para la CD 25 de la conicidad como variable dependiente.

		C	Dpr
C	Correlación de Pearson	1	-.773 (**)
C	Sig. (bilateral)		.000
C	N	29	29
Dpr	Correlación de Pearson	-.773 (**)	1
Dpr	Sig. (bilateral)	.000	
Dpr	N	29	29

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

Tabla 23. Correlación de Pearson para la CD 30 de la conicidad como variable dependiente.

		C	Dpr
C	Correlación de Pearson	1	-.636 (**)
C	Sig. (bilateral)		.000
C	N	36	36
Dpr	Correlación de Pearson	-.636 (**)	1
Dpr	Sig. (bilateral)	.000	
Dpr	N	36	36



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

Tabla 24. Correlación de Pearson para la CD 35 de la conicidad como variable dependiente.

		C	Dpr
C	Correlación de Pearson	1	-.629 (**)
C	Sig. (bilateral)		.005
C	N	18	18
Dpr	Correlación de Pearson	-.629 (**)	1
Dpr	Sig. (bilateral)	.005	
Dpr	N	18	18

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

Como se puede apreciar en la tabla 25 se presentan los modelos de mejor ajuste por clase diamétrica para la conicidad como variable dependiente con sus capacidades descriptivas donde se puede observar que todos los modelos son polinomios, de segundo grado (CD25) y la clase diamétrica 30, 35 son correspondientes a modelos polinómicos de tercer grado coincidiendo esto con el modelo de mejor ajuste para la conicidad de forma general que fue un modelo polinómico de tercer grado.

Tabla 25. Ecuaciones de mejor ajuste para la conicidad por clases diamétricas.

CD	Ecuación	RECM	DA
25	$C = 4 - 0,146 + (0,095 * dpf) + (-0,003 * dpf^2)$	0,0641241	0,004
30	$C = 1,609 + (-0,069 * dpf) + (-36,838 * dpf^2) + (0.0000282 * dpf^3)$	0,0700095	0,005
35	$C = 1,609 + (-0,069 * dpf) + (-36,838 * dpf^2) + (0.0000282 * dpf^3)$	0,0700095	0,005

Estos resultados son similares a los obtenidos por Martínez (2018) *Pinus cubensis* en un área más local y difieren con los obtenidos por Leckoundzou (2015) para *Pinus caribaea* en Pinar del Rio.

# *Conclusiones*



## V. CONCLUSIONES

1. Los valores promedios de los principales defectos de la madera en pie de *Pinus Cubensis* en el área de investigación fueron para los nudos 1,45, Excentricidad 6,75, conicidad 1,44 y daños mecánicos 1,76, en general se aprecia que los rendimientos de madera aserrada van decreciendo desde la base hasta la rabiza; lo cual es consecuencia directa del aumento de la conicidad por el decrecimiento de los diámetros con la altura.
- 2- El modelo que mejores resultados arrojo para predecir rendimiento, calidad en la madera aserrada, a partir de parámetros dendrométricos y defectos de la madera de los árboles en pie de forma general fue el modelo logarítmico  
$$I_n(\text{rend}) = 1,094 + 0,467 \times I_n d_{1,30} - 0,130 I_n \text{Con}$$
3. Los modelo que mejores resultados arrojaron para predecir rendimiento, calidad en la madera aserrada por clases diamétricas, a partir de parámetros dendrométricos y defectos de la madera de los árboles en pie fueron en el caso de la madera en bolo un modelo logarítmico por cada clase diamétrica, en la madera aserrada en el caso de la clase diamétrica 25 un modelo aritmético y las clases 30 y 35 un modelo logarítmico y en el caso de la conicidad un modelo aritmético por cada clase.

# *Recomendaciones*



## **VI. Recomendaciones**

### **A la Empresa Agroforestal Sierra Cristal**

1. Que se utilicen los modelos de mejor ajuste para predecir el rendimiento de la especie en estudio y que no se talen árboles por debajo de 25 cm de diámetro con el objetivo de mejorar el mismo.
2. Continuar realizando trabajo similar a este en el resto de las unidades empresariales de base que se manejan en la empresa y que aún no se le haya realizado.

### **Al MINAG y Empresa Agroforestal Sierra Cristal**

3. Incluir los resultados obtenidos en este trabajo para la especie en el Manual para la Ordenación de Montes en Cuba y que la empresa lo utilice en el procesamiento de datos relacionados con los planes de manejos en este tipo de bosque.

# *Referencias Bibliográficas*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, S., Gassan, M. 2003. Survey and case investigations on application of quality management tools and techniques in SMIs. *International Journal of Quality y Reliability Management*, v. 20, n. 7, p. 795-826.
2. Aldana, E. 2010. *Medición Forestal*. Editorial: Félix Varela. La Habana. 265 p.
3. Aldana, E.; Frías, M., Peñalver, A., Ares, A. E. 1994. *Manual de dasometría*. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 183 p.
4. Álvarez L. D. 2007. Control de la calidad en los aserraderos (Revista Avances, GIGET Pinar del Río Vol.9 No.1 Enero – Marzo 2007).
5. Álvarez, D., Betancourt, Y., Rodríguez J.F., Pastor J.F., Villalba M.J., Alaejos, J., Prades, C., Álvarez, E., Cándano, F. 2010c. *Aprovechamiento Forestal*. Universidad de Pinar del Río, 148 p.
6. Alvarez, D., Egas, F. A., Esteves, I., Chávez, P., Garcia, J. M. 2003. Análisis matemático para elevar la eficiencia en los aserraderos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 2003. No. IX 79-99.
7. Alvarez, D., Dorado, M., Camusso, C., Lubrano, P. 2011. *Tecnología de la Madera*. Editorial Universitaria. Córdoba. Argentina.
8. Alvarez, D.; Dorado, M.; Fernández, H. 2010b. *Tecnología de la madera*. Editorial Universitaria. Universidad de Córdoba. Argentina. 258 p.
9. Álvarez, D., Estévez, I., Domínguez, A., García, O., Alaejos, J., Rodríguez, J. C. 2010a. Improvement the lumber recovery factory with low enviromental impact in Pinar del Río, Cuba. *The internationa IForestry Review* Vol. 12 (5): 303.
10. Amoah, M. 2011. Assessment of raw material utilization efficiency of the forest-wood chain as influenced by the forest sector reform in Ghana. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the degree Doctor rer. nat. of the Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs Universität Freiburg im Breisgau, Germany. 353 p.
11. Andenmatten, E. Y Letourneau, F. 1998. Estimación de alturas para su empleo en tablas de volumen de árbol individual. *Revista Quebracho* No 6: 27.



12. Aranzeta. Z; M. Casado Sanz; t V. Pando Fernández. 2004 Modelo de estimación de volumen de madera aserrada que emplea variables de árboles en pie para *Pinus radiata*
13. Aruda, R. A.; Marchesi, C.; Mourao, M. A. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen y peso para árboles de *Acacia mangium* Willd y *Eucalyptus grandis* Hillex maiden en ocasión del primer corte. Trabajo presentado en el primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile.
14. Aubrey. C. A.. W. T. Adams ind T.D. Halley. 1998. Determination of relative economic weights for multi-trait selection in coastal Douglas-fir. *Can. J. I-orest Res*, 28: 1164-1170.
15. Ayessa, L., Alvarez, D., Estévez, I., Chávez, P., Cruz, I., Alaejos, J. 2010. Transformación mecánica de la madera con bajo impacto ambiental. 2010. Volumen 29 No Especial de la Revista Forestal Baracoa. ISSN 2078-7235 (Formato electrónico). ISSN: 0138-6441 (Formato impreso)
16. Bailey, G.R. 1973. Lumber grade recovery from straight aspen logs. *Forest Prod. J.* 23(4):47-54.
17. Baillères, H., Durand, P. Y. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assesment of platation-grow teak. *Bois et Forêts des Tropiques* 263(1) : 17-29.
18. Barrero, H. 2010. Modelo integral de crecimiento, perfil del fuste, grosor de corteza y densidad de la madera para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije. Pinar del Río. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). UPR.
19. Barrio, M.; Álvarez, J. G.; Díaz-Maroto, H. 2004. Elaboración de una tarifa con clasificación de productos para *Quercus robur* L. en Galicia basada en un modelo de cálculo porcentual. *Invest. Agrar: Sist. y Recur. For.* 13 (3), 506- 517.
20. Barrio, M; Sixto, H; Cañellas, I; González, F. 2007. Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de *Populus xeur americana* (Dode) Guinier cv. 'I-214' en la meseta norte y centro de España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 2007 16(1), 65-75. Disponible on line en [www.inia.es/srf](http://www.inia.es/srf) ISSN: 1131-7965 Consulta: Viernes 22 febrero 2008, 18:40.

21. Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regresión in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* (2): 49 – 53.
22. Beauregard, R. L... R. Gazo. and R. D. Ball, 2002. Grade recovery, value, and relum-to-log for the production of NZ visual grades (cuttings and framing) and Australian machine stress grades. *Wood and FiberSci.* 34(4):4S5-502.
23. Benítez, J. Y.; Rivero, M.; Vidal, A.; Rodríguez, J. 2001. Tablas para la estimación de la biomasa de copa foliar y maderable de *Casuarina equisetifolia* Forst. en la provincia de Camagüey. Informe del proyecto 2.08. IIF, Estación Experimental Camagüey. 25 p. *berman.* 48(5):80-85.
24. Bertrand L.; Prabhakar M. 1990. Control de calidad. Teoría y aplicaciones. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid.
25. Betancourt C .A. 1987. Silvicultura Especial de árboles maderables tropicales. La habana. Cuba. 437p.
26. Binagorov, G. S. 1984. Tecnología del aprovechamiento forestal. Editorial Industria Forestal. Moscú. p 201–2002
27. Buksnowitz, C., Hack piel, C; Hofsterler, K Müller, U; Gindl, w Tischninger, A; Ronnerth, J. 2010. In trees strain distribution in a naturally optimized structure *Wood science and technology.* Vol 44(3): 389-398.
28. Cailliez, F. 1980. Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento V 22 (1). Estimación del Volumen. Estudio FAO. Montes. Roma. 91 p.
29. Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística; Aplicaciones y Métodos. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. D.F., México. 651 p.
30. Carron, L.T. 1968. An outline of forest mensuration with special reference to Australia. Australian National University. Canberra Press. 224 p.
31. Casado, M. M. (1997). Tecnología de las industrias forestales. Tomo I. Serie Forestal 26. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. 191 pp.
32. Chacko, V. J. A. 1965. Manual on sampling techniques for forest surveye. Dehra Dun (India), Statitician Forest Research Institute. 17

33. Champs, J De. 1989. Effcets de la densité de plantation sur la croissance en diametre, la forme et la branchaison du Douglas. Anales de AFOCEL. P 231 – 238.
34. Confemadera (Confederación Española de Empresarios de la Madera). 2005. “Estandarización de medidas y clasificación de madera aserrada de coníferas. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. España
35. Corvalan, P. 1998. Modelos dendrométricos para la especie *Araucaria araucana* (Mol).C. Koch en rodales fuertemente intervenidos. Disponible en [http://www.mmedios.uchile.cl/jbarrios/revista/Resúmenes/1997-98a4\\_vol12-13\\_n1-2.htm](http://www.mmedios.uchile.cl/jbarrios/revista/Resúmenes/1997-98a4_vol12-13_n1-2.htm) [Consulta: 10 diciembre 2004].
36. Dhote, Jean Francois y Elvire Hatsch. 1994. Modelo de conicidad para Sessile Oak (*Quercus petrea* (Matt.)(Liebl.)). Unite ENGREF-INRA de Sciencies Foresttieres, Equipe Dynamique des Systemes Forestiers, Francia. P 4 – 6
37. Dobie, J. 1966. Log taper related to lumber production. B.C. Lum Echavarría, I. 1959. Pinares del Norte: La nudosidad de la madera y modo de evitarla. (s. l.,s.n.).
38. Donoso, S. y Caldentey, J. 1996. Rendimiento de lenga (*Nothofagus pumilio*) en el aserrado y su relación con las características de los árboles. *Ciencias Forestales* 11(1-2): 19-30.
39. Echevarría, E. 1985. Observaciones sobre el comportamiento de seis especies de pino frente a *Dioryctria horneana* (Lep., Phycitidae). *Baracoa* 15: 35-44
40. Egas, A. F. 1998. Consideraciones para el incremento de la eficiencia de conversión de madera en rollo de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* en sierras de bandas. Tesis presentada en opción de grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rio. 116 p.
41. Egas, AF. 1998. Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis Dr. CC Forestales. Cuba, Universidad de Pinar del Río. 100 p.
42. 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) 163-168. México. 2001.
43. Fahey, T. D. y Sachet, J. K. 1993 Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467.
  44. Fernández – Golfín Seco, Juan I.; a. Gutiérrez; V. Baonza; R. Diez; H. Álvarez y E. Rodríguez. 1999. Metodología usada en el laboratorio de maderas de CIFOR-INIA para la caracterización de la madera. CIFOR-INIA, Madrid, Septiembre. 38 p.
  45. Fernández, F. 2011. Astilleros y construcción naval en la España anterior a la ilustración,  
[http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet\(19/10/2015\)](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet(19/10/2015))
  46. Funck, J. H, Bruner, C. E; Punches, S.W; Forrer, J.B. 2002. Simulated sawing of real log imágenes: linking Wood quality and product potencial 504-510 Canada.
  47. García, J. M. 1984. Mejoramiento de la producción maderera en el troceado de los bolos y el aserrado de las trozas de *Pinus Cubensis* y *Pinus Tropicalis*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales, Instituto Técnico Forestal de Voronezh, URSS.
  48. García, J. M.; P. P. Henry; C. Carpio. 2004. «Estado actual y perspectiva de la industria del aserrado en Cuba», Revista Forestal Baracoa 1(1):109-115, La Habana,.
  49. García, Q,J 2002 Análisis de la variabilidad genética en pruebas combinadas de procedencias progenies y perspectivas de mejoramiento forestal de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. (Memorias del II Simposio Internacional de Manejo Sostenible de Recursos Forestales. Pinar del Río
  50. Gezan, S. A.; Moreno, P. C. y Ortega, A. 2009. Modelos fustales para renovales de roble, raulí y coigüe en Chile. Disponible en: <http://www.scielo.php.htm>. Consulta: 21/01/2011.
  51. González, D. 2008. Análisis de las deformaciones de la madera aserrada de *Pinus Caribaea* Var *Caribaea*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. UPR 100p.

52. González, I. 1989. Tablas ponderadas para la estimación de la biomasa de Rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd), en la provincia de León. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. 56 p.
53. González, O. 1981 Ordenación Forestal. Pueblo y Educación. La Habana. 160 p.
54. Gra, H. y Báez, R. 1989. Tablas de volumen y coeficiente mórfico de la *Casuarina equisetifolia* Forst. Instituto de Investigaciones Forestales. Ciudad Habana, Cuba. 21p.
55. Grace. L. A. 1994. Design and evaluation of an optical scanner based tog grading and sorting system for Scots pine {Finns .svlrclsri.\ L. Karsl) sawlogs. Doctoral Thesis. Swedish Univ. of Agric. Sei.. Uppsala. ISBN 91-576- 4848-
56. Gronlund, U. 1995. Quality improvements in forest products industry\*/Classification of biological materials with inherent variations (Doctoral thesis, Division of Quality Technology and Statistics, Lulea° University of Technology). 1995:172 D.
57. Guddanti. S.; S.J, Chang. 1998. Replicating sawmill sawing with TOPSA W using CT images of a full-length hardwood log. *KorestProd. J.* 48:72-75.
58. Guevara, M. (1997) Ecuaciones para la cubicación de madera en bolo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la EFI Pinar del Río. XII Fórum de Ciencia y Técnica. 12 p.
59. Gujarati, D. N. Henry P. 1999: *Econometria Segunda parte*. Estados Unidos. p10-131.
60. Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Blau, W. C. 1999. *Análisis multivariante*, Quinta edición. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832 p.
61. Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Blau, W. C. 1999. *Análisis multivariante*, Quinta edición. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832 p.
62. Helvoigt, T.L and Grosskopf, S 2005 productivity growth technical efficiency, and returns to scale in the washington state Sawmill industry ,*International Journal of Information technology & decision making* vol. 4 (3) : 477-490.

63. Henry, P. P.; García, J. M.; González, A.; López, R.; García, M. V.; Moreno, I. 2010. Estudio de algunas características morfológicas del fuste de *Cedrela odorata* L. en plantaciones intensivas. *Revista Forestal Baracoa* Vol 29 (2): 57-65.
64. Herrero E. J.A 2004 estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de trabajo. 59p.
65. Hevia, A. 2012 Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D.Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias. Tesis doctoral [https://minerva.usc.es/bitstream/10347/8047/1/rep\\_407.pdf](https://minerva.usc.es/bitstream/10347/8047/1/rep_407.pdf) (consultado Septiembre, 2015).
66. Husch, B.; Miller, C. I. y Beers, T. W. 1982. *Forest mensuration*. Third Edition: Florida. Jhon Wiley and sons 402 p.
67. Jappinen, A. 2000. Automatic sorting of sawlogs by grade. Doctoral thesis, Department of Forest Management and Products, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
68. Jara, L. F. 2001. Metodología para la estimación de carbono en plantaciones jóvenes del Ecuador. *Revista Forestal Iberoamericana*. Vol 1. No 4: 35-41.
69. JOHANSSON, P et al., Variation mode and effect analysis: a practical tool for quality improvement. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 22, n. 8, p. 865-876, 2006.
70. Kellog. R.M. AND W.G. Warren, 1984. Evaluating western hcniloek stem characteristics in terms of lumber value. *Wood and FiberSci*. 16(4):583-597.
71. Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variables exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research*, (27): 619-629.
72. LAGROSEN, S. Quality management and environment: exploring the connections. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 24, n. 4, p. 333-346. 2005.
73. Leckoundzou. A. 2015. Influencia de diferentes variables dendrométricas y calidad de árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada de *Pinus*

- caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. Pinar de Rio. Cuba. 90 h.
74. Levsque, M. 2009. Industria forestal primaria. Diagnóstico de la industria forestal en Cuba. Proyecto para el desarrollo del sector forestal. Ministerio de la Agricultura. La Habana. Cuba. 49 p.
  75. Liu, C.; Zhang, S. Y.; Cloutier, A.; Rycabal, T. 2007. Modeling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using Optitek sawing simulator. *Forest Product Journal* Vol 57 (4): 57 – 65
  76. Liu, C.M., W.A. Luschner, Y. H.F., Burkfiarl. 1989. Aproduction funcionanal ysisot' lobiillyyieid eculions. *Forest Sci.* 35:775-788.
  77. Loetsch, F.; Zöhner, F. y Haller, K. E. 1973. *Forest Inventory*. 2 ed., Munich. BLV Verlagsgesellschaft München. Vol. II 469 p.
  78. López, C.; Gorgoso, J.; Castedo, F.; Rojo, A.; Rodríguez, R.; Álvarez, J. G.; Sánchez, F. 2003. Comparison of generalized height-diameter models for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Norwest Spain). *Ann. Sci. For.* 60: 237-245.
  79. Lores *et al.* 2021 Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal de EAF Sierra Cristal para el decenio (2021-2030).
  80. Lores, 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. 99 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Rio.
  81. Lundgren, C. 2000. Predicting log type and knot size category using external log shape data from a 3D log scanner. *Scand. J. For. Res.* 15: 119-126.
  82. Maddala, G. 1996. *Introducción a la Econometría*. Edición: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Segunda Edición. México D.F., 715 p.
  83. Mariot, V. 1988. Tablas de cubicación de madera en pie en montes implantados, ventajas y desventajas en el uso de las variables DAP, alturas y coeficientes de formas. *Actas del VI Congreso Forestal Argentino*. Santiago del Estero, Argentina, Tomo II: 444-448.

84. Martínez, N. 2018. Predicción del rendimiento y la calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dasométricos y dendrométricos en rodales de *Pinus cubensis* Griseb. Tesis (en opción al título académico de Máster en Ciencias Forestales).
85. Martínez Pastur, G., Fernández, C., Peri, P. y Boyeras, F. 1993. Ecuaciones estándar de volumen total para la lenga (*Nothofagus pumilio*) de la margen sur del lago General Vintter y Cerro Colorado, (Provincia del Chubut), Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 69(1): 5-12.
86. Max, T. y Burkhart, H. 1985. Segmented polynomial regression applied to taper equation. *For. Sci.* 22 (3). 12 p.
87. Merino, A.; Rey, C.; Brañas, J.; Rodríguez, R. 2003. Biomasa aérea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Revista Investigación Agraria: Serie Sistemas y Recursos Forestales*. Vol. 12, No 2. 85-98.
88. Moberg, L Y Nordmark, U. 2006. Predicting lumber volume and grade recovery for Scots pine stems using tree models and sawmill conversion simulation. *Forest Prod. J.* 5 (4):68 - 74.
89. Monison. D. F. 1976. *Multivariate statistical methods*. 2nd ed. McGraw-Hill. New York.
90. MURILLO, O. 2000. Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 24(2): 41-48.
91. Murillo, O. 2001. Estado del desarrollo de la evaluación y control de calidad de plantaciones forestales en Costa Rica. En: V Congreso Mexicano de Recursos Mexicanos. 7-9 noviembre 2001. Guadalajara, Jalisco, México.
92. Murillo, O. y Camacho, P. 1997a. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones recién establecidas. *Agronomía Costarricense* 21 (2): 189-206.
93. Nebel, G.; Gradsted, J.; Salazar, A. 2000. Depósito de detrito, biomasa y producción primaria neta en los bosques de la llanura aluvial inundable de la amazonía peruana. *Folia Amazónica*. Vol. 11 (1-2): 41-63.



94. Neter, J., Wasserman, W. y M. H. Kutner. 1990, Applied Linear Statistical Models, 3a edn.,M.A: Irwin.
95. Norma Mexicana NMX-C-359 1998 (DNG 1998). Industria- Madera. Trocería de pino – clasificación DGN- SECOFI México. 23p
96. Novo, N.; Rojo, A.; Alvarez, J. G. 2003. Funciones del perfil del fuste y tarifas de cubicación con clasificación de producto para *Pinus silvestrys*, Galicia España. Universidad de Santiago de Compostela. 16 p.
97. Oja, J., L. Wallbacks, S. Grundberg, E. Hagerdal, and A. Gronlund. 2003. Automaticgrading of Scotspine (*Pinus sylvestris*L.).
98. Ostle, B. 1973. Estadística Aplicada; Técnicas de la Estadística Moderna, Cuando y Donde aplicarlas. Editorial Limusa. Tercera Reimpresión. México D. F., 629 p.
99. Ott, R. L. y Longnecker, M. 2001. An introduction to statistical methods and data analysis. Fifth Edition. Duxbury. Pacific Grove, USA. 1152 p.
100. PALADINI, E. P. Gestão da qualidade. Teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.
101. Pérez, J. Ramírez, A. 2005. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal de la EFI Sierra Cristal para el decenio 2005 - 2014.
102. Peri, P., Martínez Pastur, G., Diaz, B. y Fucaraccio, F. 1997. Uso del índice de sitio para la construcción de ecuaciones estándar de volumen total de fuste para lenga (*Nothofagus pumilio*) en Patagonia Austral. Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. PP 309-316. Posadas, 13-15 Agosto.
103. Petrobskii, V. S. 1970. Optimización automatizada del corte de bolos. Industria Forestal, Moscú. 110 p.
104. Pimentel, F. y García, C. H. (1993) A determinacao de ecuacoes volumétricas na Engenharia Florestal. Instituto de Pesquisas y Estudos Florestais. Serie Técnica 9 (26). p 9 -36.
105. Piterbarg, R. 1965. Inventario y ordenación de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego, y primeros resultados de su explotación. Revista Forestal Argentina IX(4): 105-113.

106. Plank, M. E. 1985. Lumber recovery from ponderosa pine in the Black Hills. South Dakota. USDA Forest Service Research Paper. PNW-328. Pacific Northwest Research Station. Portland. Oregon. 14 pp.
107. Prestemon, J.P. and J. Buongiorno. 2000. Determinants of tree quality and lumber value in natural uneven-aged southern pine stands. *Can. J. Forest Res.* 30:211-219.
108. Price, C.S, Wessels, C.B, and Turner, P.2002 Using modelling and integral forestry and sawmill software systems to value the pruned log resource. Fourth workshop IUFRO SS.01,04 British Columbia, Canadá 423-428P
109. Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. *Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible.* San José, Costa Rica. 561 p.
110. Quiros R. 1990. Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el Pacífico Seco, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R. 131 p.
111. Ragazzi, S. *Controle Estatístico do Processo.* Campinas, Unicamp, 1999, 91 p.
112. Ratnasingam, J and Scholz, F. 2011. Yield improvement in Rubberwood sawmilling through the saw, dry and rip (SDR) technique. *European Journal of Wood and Wood Products* HolzalsRoh- und Werkstoff. Vol 69. © Springer-Verlag 2011. 10.1007/s00107-011-0559-6
113. Real, P. 1993. Funciones de ahusamiento, Zonas 1, 2, 4, 6 y 7. Proyecto Modelo Nacional de Simulación de *Pino radiata*. Fundación Chile, Documento de trabajo No 14. 25 p.
114. Rikala, J. 2003. Spruce and pine on drained peatlands wood quality and suitability for the sawmill industry. University of Helsinki. Department of Forest Resource Management. Publications 35. 147 p.

115. Rodríguez, F. y Molina, C. 2003. Análisis de modelos de perfil del fuste y estudio de la cilindridad para tres clones de chopo (*Populus xeuramericana*) en Navarra. Invest. Agrar: Sist. Recur. For. 12 (3): 73-85.
116. Rodríguez, G. (1998) Evaluación de la biomasa total de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en plantaciones mediante un sistema informático. Tesis presentada en Opción al Título Académico de Máster en Ciencias Forestales. UPR. Pinar del Río, Cuba. 68 p.
117. Rojas, o. y Murillo, O. 2000. Calidad de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. Agronomía Costarricense. 24(2): 65-76.
118. Salas, C. 2002. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. Bosque 23 (2): 81-92.
119. Sánchez, F., Rodríguez, R., Rojo, A., Álvarez, J. G., López, C., Gorgoso, J., Castedo, F. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Investigación Agraria: Sist. Recur. For. Vol 12 No 2, 65-83.
120. Schimleck y Clark, 2008. Wood Quality <[http://www.encyclopediaofforestry.org/index.php/Wood\\_Quality](http://www.encyclopediaofforestry.org/index.php/Wood_Quality)
121. Scholtes, P. R. Times da Qualidade: como usar equipes para melhorar a qualidade. São Paulo: Quality Mark, 1992.
122. Slack, N. *et al.* Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1999.
123. Soares, E. M. L. Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade – Utilizando Quartis para Estimar o Desvio Padrão. 2003. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina
124. Sotolongo S. R. 2008: Maestría Gestión Ambiental, Estadísticas aplicadas 47p
125. Steele, P.H... T.F, G- Harless, F.G. WAGNER, I. 1994. Increased lntnber value from optitnum orientation of internal defects with respect to sawing pattern in hardwood sawlogs. Forest Prod. 44(3):69-72. sawmills. Interfaces'26(6):3-8
126. Stevenson, W. J. 2001. Administração das operações de produção. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC.

127. Talbert, J. T; Jett, J. B. 1984. Regional specific gravity values for plantation grown, loblolly pine in the Southeastern United States. For. Sci. Madison: 27: 801 –807
128. Thomas y Parresol, B.; 1998 Simple, flexible, trigonometric taper equation. Can.J: For. Res 21: 1132-1134
129. Todoroki, C. 2001. Log rotation effect on carriage sawing of sweep logs. New Zealand Journal of Forestry Science 25 (2): 246-255
130. Toledo, E. 2002. Proyecto de desarrollo industrial y comercial de maderas latifoliadas poco conocidas sobre base sostenible en Guatemala, fase 1. Guatemala, Plan Acción Forestal de Guatemala. 36 p.
131. Toledo, J. C. Qualidade Industrial: conceitos, sistemas e estratégias. São Paulo: Atlas, 1987.
132. Tong, Q.J. y S.Y. Zhang. 2006. Modeling simulated product value recovery In relation lo tree characteristics in jack pine using Optitek. Forest Product Journal 56 (1): 66 - 72.
133. Valencia, J., Harwood, C., Washusen; R., Morrow., A; Wood, M., Vilker, P. 2010. Longitudinal growth strain as a log and Wood quality predictor for plantation-grown Eucalyptus nitenssawlogs. Wood Science and technology. 10.1007/500226-010-0302-1
134. Verkassalo; E, Sairanen, P; Melen P. 2001 Predicting the value of norway spruce tres and saw log sections for traditional and end-use oriented sawing In; Birkeland, R and Chantre,G (eds) 4th meeting Cost ELoword properties for industries uses. Bordeaux. France 2001., 134-145.
135. Vidal, A.; Benítez, J. Y.; Rodríguez, J.; Álvarez, R. C.; Gra, H. (2004) Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la E.F.I. La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Revista Quebracho No 11: 60-66.
136. Vidal, A.; Rodríguez. J.; Benítez, J. Y.; Álvarez, R. C.; Gra, H. (2002) Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus* tropicales Morelet en la

Empresa Forestal Integral Macurije de la provincia de Pinar del Río. Revista Floresta. FUPEF, Brasil. Vol. 32, No 2: 261-265.

137. Vignote. S. P, Martínez. I, R, Villasante, A, P. Silvicultura y calidad de la madera (2003), Disponible en (WWWWWWWWWWWW).
138. Vignote. S. P; f. J. Giménez. 1996. Tecnología de la Madera. Ministerio de la Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. España. P 193 – 208.
139. Vlasov, G., Kulikov, V.A., Rodionov, V. 1967. Technology of woodworking. Higher School Publishing House. Moscow. 458 p.
140. Wendling, J. L.; Sanquetta, C. R.; Ahrens, S. (2000) Modelos matemáticos para crescimento e producao de peso de creme comestivel de palmito, árvores de EyperpeadulisMart. Revista Floresta. Fundacao de Pesquisas Florestais do Paraná. Vol. 28, No 1 e 2. Curitiba, Brasil. p 65-82.
141. Wiant, J., G. B. Wood and G. M. Furnival. 1992. Estimating log volume using the centroid position. Forest Science 38 (1) 187-191.
142. Willits, S., Fahey, T.D. 1991. Sugar pine utilization. A 30 year transition. USDA.
143. WOODALL, William H. The statistical design of quality control charts, The Statistician, v. 34, p. 155-160, 1985.
144. Zhang, S. Y Y Tong, Q. J. Y. Lei 2005. Modelling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using Optitek sawing simulator. Ann. Sci 62: 219 – 228
145. Zhang, S. Y y Y. LEI. 2006. Modelling the relationship of tree-level product value with tree characteristics in black spruce. Forest C'hron. 82(5):690-699.
146. Zhang, S. Y. and Liu, C 2006 Predicting the limber volume recovery of picea using parametric and non-parametric regression methods scan Journal of Forest Research 2/158-166.
147. Zhang, S. Y. Comeau, y G. Chauret. 1998. Impact of precomercial thinning on tree anil wood characteristics, product quality and value Balsam fir. Canadian Forest Serv. No. 39. Forintek Canadá Corp. Sainte-Foy. Quebec. 77 pp.

148. Zhang, S.Y. G, Chauret, H.Q. Re. and R. Desjardins. 2002. Impact of plantation black spruce Initial spacing on lumber grade yield, bending properties and MSR yield. *Wood Fiber Sei.* 34(3):460-475
149. Zhang, S. Y., Liu, C., Jiamg, Z. H. 2006. Modeling product recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using an optimized random sawing simulator. *Forest Product Journal* 56 (11/12): 93-99

# *Aneros*



Anexo 1. Valoración por calidad de la trozas.

Árbol	Calidad Troza 1	Calidad Troza 2	Calidad Troza 3	Calidad Troza 4
1	1	2	2	3
2	2	2	3	4
3	3	3	4	
4	2	3	3	4
5	3	3	4	
6	3	3	4	
7	3	3	3	
8	2	2	3	3
9	2	2	2	3
10	2	2	3	3
11	3	3	4	4
12	2	2	3	
13	3	3	4	
14	2	3	3	
15	3	4		
16	2	3		
17	2	3	3	
18	2	3	4	
19	2	3	3	
20	3	4	4	
21	3	4	4	
22	2	2	3	
23	2	2	3	
24	3	3		
25	2	2		
26	3	3	4	
27	2	3	3	
28	2	3	3	



29	3	3	4	
30	3	4		
31	2	2	2	3
32	2	2	3	
33	2	2	3	
34	2	3	3	
35	3	4	4	
36	2	2	3	3
<b>Árbol</b>	<b>Calidad Troza 1</b>	<b>Calidad Troza 2</b>	<b>Calidad Troza 3</b>	<b>Calidad Troza 4</b>
37	2	3	3	
38	2	2	3	
39	3	3	4	
40	3	3		
41	2	3	3	

Anexo 2. Bondad de ajuste y capacidades predictivas por clases diamétricas para la madera en bolo (Vmb) como variable dependiente y con los diámetros ( $d_{1.30}$ ,  $d_{1/2}$  y dpr) como independiente.

Modelos	Variables Dependiente	Variables independientes	CD 20				
			R	R <sup>2</sup>	Sx	RECM	DA
<b>Lineal</b>	<b>Vmb</b>	<b>D 1.30</b>	0,788	0,621	0,036	0,0351761	0,001
<b>Logarítmica</b>	<b>Vmb</b>	<b>D 1.30</b>	0,777	0,603	0,037	0,0359959	0,001
<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>D 1.30</b>	0,788	0,622	0,103	0,0352604	0,001
<b>Lineal</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,345	0,119	0,055	0,0536453	0,003
<b>Potencia</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,292	0,085	0,159	0,0537119	0,003

<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,289	0,083	0,160	0,0537852	0,003
<b>Potencia</b>	<b>Vmb</b>	<b>D</b>	0,713	0,509	0,117	0,0397185	0,002
<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>D</b>	0,719	0,517	0,116	0,0394170	0,002
<b>Crecimiento</b>	<b>Vmb</b>	<b>D</b>	0,707	0,499	0,118	0,0400385	0,002
<b>CD 25</b>							
<b>Modelos</b>	<b>Variables Dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Sx</b>	<b>RECM</b>	<b>DA</b>
<b>Logarítmica</b>	<b>Vmb</b>	<b>D 1.30</b>	0,852	0,727	0,108	0,105684	0,011
<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>D 1.30</b>	0,860	0,740	0,124	0,102782	0,011
<b>Lineal</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,838	0,703	0,112	0,110189	0,012
<b>Potencia</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,846	0,716	0,130	0,108744	0,012
<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>Dpr</b>	0,835	0,698	0,134	0,111177	0,012
<b>Potencia</b>	<b>Vmb</b>	<b>D</b>	0,713	0,509	0,117	0,039718	0,002
<b>S</b>	<b>Vmb</b>	<b>D</b>	0,719	0,517	0,116	0,039417	0,002

Crecimiento	Vmb	D	,707	0,499	0,118	0,040038	0,002
<b>CD 30</b>							
Modelos	Variables	Variables independientes	R	R <sup>2</sup>	Sx	RECM	DA
Lineal	Vmb	D 1.30	0,730	0,533	0,216	0,212680	,045
Logarítmica	Vmb	D 1.30	0,730	0,533	0,216	0,212867	0,045
S	Vmb	D 1.30	0,850	0,722	0,158	0,215128	0,046
Lineal	Vmb	Dpr	0,639	0,409	0,243	0,239367	0,057
Potencia	Vmb	Dpr	0,782	0,611	0,187	0,243970	0,060
S	Vmb	Dpr	0,794	0,630	0,182	0,240341	0,058
Potencia	Vmb	D	0,835	0,697	0,165	0,225487	0,051
S	Vmb	D	0,842	0,709	0,162	0,220681	0,049
Anexo 3. Continuación.							
Crecimiento	Vmb	D	0,820	0,673	0,171	0,232717	0,054
<b>CD 35</b>							
Modelos	Variables	Variables independientes	R	R <sup>2</sup>	Sx	RECM	DA
Lineal	Vmb	D 1.30	0,811	0,657	0,176	0,170934	0,029
Potencia	Vmb	D 1.30	0,829	0,687	0,084	0,175990	0,031

						44	
S	Vmb	D 1.30	0,834	0,695	0,083	0,173329	0,030
Lineal	Vmb	Dpr	0,594	0,353	0,242	0,234921	0,055
Potencia	Vmb	Dpr	0,618	0,383	0,118	0,235963	0,056
S	Vmb	Dpr	0,623	0,388	0,118	0,234591	0,055
Lineal	Vmb	D	0,736	0,542	0,102	0,207922	,043
Potencia	Vmb	D	0,742	0551	0,103	0,205502	,042
S	Vmb	D	0,730	0,533	0,103	0,210510	,044