

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO  
FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL**



**Título: Influencia del Manejo Forestal en la densidad de la madera de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari.**

**Tesis presentada en opción al título académico  
de Master en Ciencias Forestales  
Mención: Manejo de Bosques**

**Autor: Joise Cleto González  
Tutor: Dr.C. Héctor Barrero Medel**

## **Dedicatoria**

- ✓ **Dedico este trabajo a mi familia y amigos especialmente a mi abuelito César o mejor aún a mi pichón de gallego.**

## **Agradecimientos**

**Mis más sinceros agradecimientos después de un largo camino recorrido a:**

- ✓ **Ante todo al altísimo, nuestro señor por darme esta oportunidad.**
- ✓ **A mi tutor Dr.C Héctor Barrero Medel por sus enseñanzas y amistad.**
- ✓ **A mis padres y mi hermano por ese tú si puedes antes los obstáculos que se me presentan en la vida.**
- ✓ **A mi esposa Anlettis por su amor y confianza.**

**A todos muchas gracias**

## **PENSAMIENTO**

**Ni la sociedad, ni el hombre, ni ninguna otra cosa deben sobrepasar para ser buenos los límites establecidos por la naturaleza.**

**Hipócrates**

# RESUMEN

## RESUMEN

En este trabajo se determina la influencia del Manejo Forestal sobre la densidad de la madera de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari para el patrimonio forestal de plantaciones de esta especie en la Empresa Forestal Integral Macurije. Mediante un muestreo de las masas se obtuvieron las variables predictoras las cuales se procesaron y analizaron con el empleo del procesador estadístico SPSS ver 15 para Windows. Como resultados de este trabajo no se obtuvo diferencia significativa de la densidad de la madera en masas donde se ha desarrollado los raleos, e igual comportamiento al comparar el estatus social entre los árboles dominantes, codominantes y oprimidos. Se obtuvo además un modelo de densidad en sentido longitudinal en función de la edad, la altura relativa y el diámetro a 1.30, el cual describe la variación de esta propiedad física en la especie, así como de la variación inter árbol, resultó el componente "*forma del fuste*" el factor condicionante de la variabilidad en la densidad de la madera de la especie.

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 Características de la especie <i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>caribaea</i> <i>Barret y Golfari</i> .....	3
1.2 Densidad de la Madera.....	4
1.3 Variación intra e inter-árbol de la densidad de la madera.....	5
1.4 Modelación de la densidad de la madera.....	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
2.1 Características generales del territorio de la EFI Macurije.....	12
2.1.1 Caracterización Climática.....	12
2.1.2 Relieve y suelos.....	13
2.1.3. Hidrología .....	16
2.2 Metodología para en análisis de la densidad de la madera.....	16
III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	21
3.1 Validación del método de determinación de la densidad con el empleo del Escáner Multi-slice CT	21
3.2 Variación inter-árbol de la densidad de la madera.....	21
3.3 Análisis de la influencia del manejo en la densidad de la madera.....	23
3.4 Comparación de la densidad de la madera por el status social en la masa forestal.	24

3.5 Factores que condicionan la variación de la densidad inter- árbol.....	25
3.6 Modelo de la densidad en sentido longitudinal.....	28
3.7 Modelo de la densidad en sentido radial.....	31
CONCLUSIONES.....	32
RECOMENDACIONES.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXOS.....	35



# **INTRODUCCIÓN**

En la provincia de Pinar del Río, se encuentran las mayores reservas forestales del país. La superficie cubierta de bosques alcanza el 38.6% correspondiendo el primer lugar a las coníferas, las cuales representan el 30.7% del total de la superficie boscosa. La especie *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari específicamente, tiene un peso fundamental en el plan de fomento forestal para la etapa 1997-2015, estando determinada su preferencia por el rápido crecimiento y los múltiples usos que tienen sus maderas (Herrero, 2007).

En estos últimos años, las plantaciones de esta especie en la provincia han sufrido un duro golpe por la sobreexplotación debido al déficit de madera provocados por los daños de los huracanes que nos han afectado. Por lo que se trabaja duro en la recuperación de los bosques, siendo este trabajo intenso en la provincia en dichas plantaciones, por su importancia en la economía. Todos sabemos que su madera tiene un amplio uso en la industria, tanto forestal como carpinterías, y otras no menos importantes.

La creciente demanda de recursos forestales, como consecuencia del aumento del nivel de vida, exige día a día un incremento de la producción de madera y derivados del bosque. Esto, unido a su creciente utilización como medio de esparcimiento, al importante papel protector que la cubierta vegetal tiene contra la erosión, y a su función en la conservación de los ecosistemas, exige el desarrollo de normas de actuación y de tecnologías que faciliten la gestión de estos recursos y que, al mismo tiempo, optimicen su uso y aprovechamiento integral (Barrero, 2010).

Los modelos de densidad de la madera son de estas herramientas que facilitan fijar los objetivos de producción en términos de manejo, posibilitando una mayor eficiencia en ciertas propiedades de acuerdo a las necesidades industriales, y a la disminución dentro de ciertos límites de la heterogeneidad de la materia prima. Sin la ayuda de estos instrumentos es difícil desarrollar planes de manejo forestal, bajo criterios de sustentabilidad (Valdez, 2000).

Sobre la base de los argumentos expuestos se tomó como caso de estudio la Empresa Forestal Integral (EFI) Macurije perteneciente a la provincia de Pinar del Río, Cuba y a partir de los resultados obtenidos, se podrá generalizar el uso del modelo matemático de densidad de la madera, al sistema empresarial

forestal que contengan en su patrimonio la especie estudiada. El diseño metodológico seguido para el desarrollo de este trabajo se presenta a continuación:

**Problema** ¿Cómo modelar la densidad de la madera de la forma más precisa que posibilite la obtención de productos con mayor calidad?

**Hipótesis**

Un modelo de densidad de la madera permitirá una homogenización de la materia prima para un producto de mayor calidad.

**Objeto**

Densidad de la madera de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Barret y Golfari.

**Objetivo general**

Determinar la Influencia del Manejo Forestal en de densidad de la madera de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari.

**Objetivos específicos**

- Comparar la variabilidad de la densidad de la madera en función del Manejo Forestal y el status social de la masa.
- Determinar el factor que condiciona la variación de la madera intra - árbol.
- Establecer un modelo de densidad de la madera.
- Validar el empleo de escáner Multi-slice CT en la determinación de la densidad de la madera para la especie.

# **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### 1.1 Características de la especie *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari.

El *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari es una especie endémica de Pinar del Río e Isla de la Juventud (Bisse, 1988) es un árbol que alcanza altura de 30m y diámetros de hasta 75cm, aunque en sitios óptimos puede alcanzar alturas de hasta 45m dap de 135cm, con fuste recto y limpio de ramas en los primeros 12m o más cuando adulto. Posee una copa piramidal, con ramas bajas horizontales o caedizas y ramas superiores ascendentes.

**Corteza:** en árboles adultos es gruesa, pardo rojiza, y forma placas ásperas con profundas fisuras verticales y horizontales. En árboles jóvenes la corteza es más rojiza, áspera y escamosa.

**Hojas:** en forma de aguja, en fascículos de tres (algunas veces 2,4 o 5), de 15-25cm de largo, rígidas, verde oscuro a verde amarillento.

**Flores:** monoicas estróbilos (amentos) masculinos son numerosos, sésiles, cortos, agrupados cerca del final de las ramillas principalmente sección inferior de la copa, de 20 a 32mm de largo, con brácteas pardo rojizas en la base. Los estróbilos femeninos se localizan en la parte superior de la copa, cerca del ápice de las ramillas alargadas.

**Fruto:** conos simétricos, péndulos, de 4.14 cm de largo, 2.5-4.8 cm de diámetro cuando están cerrados, aparecen solo o en grupos de dos a cinco, con pedúnculos de 1-2 cm de longitud, color café cuando maduran.

**Semillas:** angulosas, ovoides, puntiagudas, de 6 mm de largo y 3 mm de ancho en promedio, color gris moteado o café claro. Tienen un ala membranosa color café de hasta 25 mm de largo.

**Madera:** moderadamente liviana, de coloración clara, con tonos desde amarillo a amarillo- naranja en la albura y de naranja oscuro a café rojizo en el duramen; textura media a áspera, de grano recto, con albura poco diferenciable del duramen. La madera recién aserrada tiene un lustre medio y es grasienta al tacto, en consonancia con la cantidad de resina que posea. Esta madera presenta anillos visibles, diferenciándose notablemente la madera tardía de la madera temprana. Propiedades físicas—mecánicas de la madera: densidad media de la albura a 14% de humedad, seca al aire de 0.83 g/m<sup>3</sup> y de 0.80 g/m<sup>3</sup> seca al horno, lo que corresponde a una clasificación mediana; la

densidad del duramen de 0.65 g/cm<sup>3</sup> a 12% de humedad y 0.615 g/cm<sup>3</sup> seca al horno, lo que se clasifica de mediana a moderadamente baja, sin embargo en la albura se considera alta de 17%; la compresión paralela a la fibras de la albura en estado seco llega a alcanzar valores altos ( 816Kg./cm<sup>3</sup>) y valores de 352Kg./cm<sup>3</sup> en madera verde, en el duramen los valores son moderados; con respecto a la flexión estática el valor de la albura se considera mediano y la tenacidad se puede considerar de muy baja en albura seca a baja en madera baja. Fácil de trabajar con maquinaria, aunque la resina puede causar algunos problemas. Fácil de clavar, unir, moldurar y tornear, si esta libre de resina (Fors 1965; Sablón 1980; Betancourt 1967; Borrance *et al.*, 2003).

## **1.2 Densidad de la Madera.**

Es aceptado que entre las propiedades físicas, la densidad de la madera sea el atributo universalmente utilizado como índice de la calidad de la madera en relación a sus usos. Resulta de las dimensiones celulares, de la composición química y de las proporciones relativas de los tejidos constitutivos (Panshin y De Zeeuw, 1980; Barnett y Jeronimidis, 2003; Igartúa y Monteoliva, 2009).

La densidad o relación de masa a volumen se suele expresar, en la madera, en gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>), cuyo valor coincide con la densidad relativa respecto a la del agua y que, lógicamente, carece de unidades. También se puede expresar la densidad en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>), cuyo valor es 1000 veces el anterior.

Como todo cuerpo poroso, en la madera es importante distinguir entre densidad real y densidad aparente. En la primera, solo se considera como volumen el ocupado por las paredes de las células. Se trata, por tanto, de la densidad de la pared celular. Su valor es del orden de 1,5 prácticamente igual para todas las especies.

La densidad normalmente utilizada para la comparación entre especies es la determinada con el peso y el volumen al 12 % de humedad, llamada densidad normal, que es a la que generalmente se hace referencia cuando no se especifica el grado de humedad al que se ha efectuado la determinación.

Por otra parte, se utiliza con mucha frecuencia la llamada densidad básica, que tiene una marcada utilidad práctica, cuando se conoce esta densidad en una especie determinada, se puede determinar la cantidad de materia prima

anhidra de madera multiplicando dicho valor por el volumen de madera verde sin corteza, definición de gran significado en las industrias de pasta y tableros (Álvarez *et al.*, 2006).

La relación entre la densidad básica y las diversas propiedades de resistencia de la madera verde y seca demuestran que tales propiedades tienen el valor de resistencias mayores con un aumento de la densidad básica, se observa que esa relación es mayor para maderas secas que para maderas verdes. La densidad básica es un excelente indicativo de las propiedades mecánicas en maderas de grano recto y libres de defectos, o sea sin influencia de otros factores, que alteran negativamente tal relación (Kollmann y Cote, 1968).

Knigge y Schulz (1966) concuerdan en que, maderas de coníferas con anillos de crecimiento más estrechos son más pesadas y resistentes, y ocurre lo contrario con las latifoliadas. Otros investigadores por su parte indican que el porcentaje de leño tardío influye de manera más directa en la densidad básica y consecuentemente en la resistencia cuando se lo compara con el ancho de los anillos de crecimiento.

La densidad es una propiedad de gran trascendencia en los estudios relacionados con la tecnología de la madera, al guardar una relación muy directa (coeficientes de determinación superiores en muchos casos al 80 %) con muchas propiedades físicas y mecánicas de la madera tales como: resistencia mecánica, rigidez, conductividad térmica y el calor específico (Panshin y De Zeeuw, 1980; Barnett y Jeronimidis, 2003).

Ibáñez (1975) encontró que la densidad media de la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la albura a 14 % de humedad, seca al aire es de, 0,83 g/cm<sup>3</sup> y de 0,80 g/cm<sup>3</sup> seca al horno, lo que corresponde a una clasificación, mediana. La densidad del duramen es de 0,65 g/cm<sup>3</sup> al 12% de humedad y de 0,62 g/cm<sup>3</sup>seca al horno, lo que se califica de mediana a moderadamente baja.

### **1.2.1 Variación intra e inter-árbol de la densidad de la madera.**

El conocimiento de la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas es de fundamental importancia para los usuarios de la madera al momento de evaluar sus múltiples aplicaciones, para los silvicultores, al momento de fijar los objetivos de producción en términos de manejo. Esto permite optimizar ciertas

propiedades de acuerdo a las necesidades industriales y disminuir, dentro de ciertos límites, la heterogeneidad de la materia prima.

Existen dos fuentes de variación respecto a las propiedades y características de la madera en el árbol, las variaciones entre árboles y las variaciones dentro del árbol (Igartúa *et al.*, 2003). Las primeras vienen explicadas por causas genéticas, factores ecológicos y gestión de la masa, mientras que las segundas están condicionadas por su situación dentro del árbol, específicamente relacionadas con variabilidad dentro del incremento de crecimiento, variabilidad producida de médula a corteza (variabilidad radial) y variabilidad ocasionada por diferentes niveles de altura (variabilidad longitudinal) (Savva *et al.*, 2002; Espinoza, 2004).

Dado que la mayoría de las veces la variación dentro del árbol es superior a la variación entre árboles, es imprescindible cuantificarla y definirla de la forma más precisa posible puesto que va a condicionar los productos que se pueden obtener al utilizar este recurso (Zobel y Van Buijtenen, 1989; García *et al.*, 2003).

Daniel *et al.*, (1982) encontraron que la madera más cercana a la copa, tiende a poseer menor densidad. Estudios realizados por Wilkes (1988) en diferentes géneros como *Eucalyptus*, *Populus* y *Salix*, indican que la variación axial de la densidad es de menor magnitud que la variación radial. Para poder comprender mejor los cambios de densidad de la madera con la altura dentro del árbol, se hace necesario estudiar las tendencias de la madera juvenil y la madera adulta separadamente. Megraw (1986) realizó un estudio y encontró una fuerte disminución de la densidad de la madera juvenil desde la base del árbol hasta los 3 m, por encima de los 5 m la densidad se mantuvo constante, independientemente de la altura.

Los árboles más viejos poseen mayor densidad debido al mayor porcentaje de madera adulta y a la deposición de material resinoso en el anillo de crecimiento. Por otra parte aparece un fenómeno no muy común relatado por Talbert y Jett (1981), donde la madera juvenil de los árboles más viejos de *Pinus taeda* poseen considerablemente mayor densidad que la madera juvenil de árboles más jóvenes. Las razones son desconocidas, pero se cree que resultan de las tensiones del individuo, referido a una teoría de compactación.



El *Pinus taeda*, como la mayoría de las coníferas, posee un patrón uniforme de baja densidad básica en la médula, un rápido aumento de la densidad en el período juvenil, seguido por series de anillos que poseen densidades esencialmente constantes, pero que fluctúan de año a año. Este patrón de variación para *Pinus taeda* fue mostrado por diversos investigadores como Megraw (1986) quien determinó que la densidad del *Pinus taeda* aumenta del centro hacia la parte externa en el sentido radial en toda la altura del árbol, pero que es mayor en la base que en la parte superior del árbol. Normalmente el cambio de densidad de la médula hacia la corteza, es mayor en el leño de otoño y menor en el leño de primavera.

Por su parte Taras (1965) al estudiar algunas propiedades de la madera de *Pinus elliotii* y su relación con la edad para cada tipo de leño producido por la especie, observó una disminución de la densidad básica del leño inicial con el aumento de la edad, equilibrándose de los 8 a 12 años. Por otra parte, la densidad básica del leño tardío aumentó rápidamente en este período de crecimiento, equilibrándose en determinado momento y decreciendo en la dirección de la corteza. Sobre el total de los anillos de crecimiento (leño temprano y tardío), se pudo evidenciar un aumento de la densidad básica entre 8 a 12 años, luego se produce rápidamente un equilibrio.

La mayor variación de la densidad ocurre dentro de un anillo de crecimiento anual, debido a que el género *Pinus* presenta diferencias muy acentuadas entre el leño de primavera y el leño de otoño. Por ejemplo Ifju (1969) citado por Zobel y Van Buijtenen (1989), demostró que la densidad del leño de primavera de los Pinos del Sur de Estados Unidos varía entre 0,30 a 0,46 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la densidad del leño de otoño varía entre 0,65 a 0,92 g/cm<sup>3</sup>.

Según Kollmann (1951) en el caso específico de los pinos, las variaciones de la densidad básica pueden ser tan acentuadas en el sentido longitudinal del árbol al punto de sugerir diferentes clases de calidad sólo en función de la posición del origen de las piezas.

Específicamente en la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari (Burley *et al.*, 1973; González *et al.*, 2007; González, 2008) demostraron que la densidad de la madera disminuye en su sección transversal del centro hacia la periferia, y explicaron que estos altos valores en el centro del árbol se

deben a elevados contenidos de resina y a la presencia de células cortas comprimidas.

Por su parte Cown (1981) para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret y Golfari encontró que la densidad de la madera se incrementa generalmente del centro a la periferia del árbol a medida que aumenta la edad. A su vez presenta un patrón de variación continua en relación con el diámetro en la sección transversal, y descendente en la sección longitudinal del árbol; esto indica que en el centro del árbol hay más madera juvenil que la que se encuentra en la periferia de los árboles. Menciona que también se debe a que las traqueidas tienden a crecer y engrosar más sus paredes a medida que la edad aumenta y el ritmo de crecimiento se reduce.

Otro factor muy importante que determina la variación de la densidad de la madera en una misma pieza, es la humedad. La madera tiene, en su interior, una cierta cantidad de agua que depende de las condiciones en que se encuentre. La variación de esta cantidad de agua lleva consigo la variación de su peso y para valores inferiores al Punto de Saturación de la Fibra, también el volumen. La densidad de una madera aumenta con la humedad (salvo algunas densidades muy altas, por debajo del Punto de Saturación de la Fibra).

Conocer estas variaciones permite realizar muestreos de madera que sean representativos del valor del árbol completo y reconocer diferencias de calidad en relación a los usos (Álvarez, 2005).

Las variaciones de la densidad entre árboles también han sido estudiadas y con resultados contradictorios, un ejemplo de ello son los estudios realizados en *Eucalyptus globulus* Labill en Argentina por (Miranda *et al.*, 2001; Quilho y Pereira, 2001; Raymond y Muneri, 2001) quienes encontraron diferencias significativas entre árboles explicadas, por la procedencia y la altitud. Por su parte Igartúa *et al.*, (2002) para la misma especie, al sudeste de la Provincia de Buenos Aires, hallaron variaciones de escasa relevancia entre árboles de plantaciones maduras. Aunque en plantaciones comerciales de 7 años, reportaron que los árboles influyeron significativamente sobre la densidad básica de la madera.

Es conocida la influencia del sitio en los parámetros de crecimiento, pero es menos conocida su influencia en la calidad de la madera (Barnet y Jeronimidis, 2003).

Carlson y Nimlos (1966) informan diferencias en la densidad para distintos tipos de suelo; por su parte Cown (1992) reporta que existe una relación inversa entre la calidad de sitio y la densidad de la madera.

Para los géneros *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus*, existen numerosos trabajos que estudiaron la densidad de la madera en diferentes sitios con resultados contradictorios (Bhat y Priya, 2004; Peszlen, 1998; Koubaa *et al.*, 1998; Miranda *et al.*, 2001; Monteoliva *et al.*, 2005; Pliura *et al.*, 2005, 2007; Igartúa y Monteoliva, 2006; Monteoliva, 2007).

Otros efectos relevantes y contradictorios, son los que tienen las prácticas silviculturales sobre la densidad. Algunos investigadores han estudiado el efecto que los aclareos tienen sobre la densidad básica de algunas especies de coníferas (Zahner y Whitmore, 1960; Jackson, 1968). La variación en la densidad básica de la madera está relacionada con la vitalidad de la copa y los tratamientos silvícolas, tales como aclareos y fertilización (Lindström y Bates, 1990).

Existen distintas opiniones acerca del efecto de los raleos sobre la densidad de Pino Oregón por ejemplo: Parker *et al.*, (1976) sostienen que la densidad de la madera no fue afectada significativamente por los raleos, a pesar de que producen un aumento de la tasa de crecimiento en diámetro; Erickson y Harrison (1974) encontraron que los raleos producen madera de menor densidad, fundamentalmente en los 3 a 4 años después de aplicado el tratamiento; Hapla (1997) y Lausberg *et al.*, (1995) hallaron que elevadas tasas de crecimiento provocadas por mayores espaciamientos resultantes de raleos producen una disminución significativa en la densidad de la madera.

Hernández *et al.*, (1996) analizaron la influencia de los raleos sobre la relación entre madera temprana / madera tardía y la densidad de la madera de *Pinus patula*, concluyendo que a pesar del efecto de los aclareos sobre las características de los anillos de crecimiento, la asociación entre la densidad de la madera y estas características no se modificaron substancialmente después de los raleos.

Markstrom *et al.*, (1983) y Moschler *et al.*, (1989) por su parte han reportado que para *Pinus taeda* y *P. ponderosa*, los aclareos no modifican la densidad básica de la madera, el porcentaje de madera tardía, la longitud de traqueidas y el ángulo microfibrilar. Sin embargo, en estudios de espaciamiento Simpson y Denne (1997) obtuvieron que la madera de árboles de *Picea sitchensis* con mayor espaciamiento presentó valores de densidad básica más altos.

La tasa de crecimiento es otro factor que tiene influencia en las propiedades de la madera. Según Erikson y Harrinson (1974), un aumento rápido de la tasa de crecimiento da como resultado variaciones en las propiedades, entre ellas un aumento en el porcentaje de leño inicial, reducción de la densidad básica y del largo de las traqueidas.

Otro factor importante de variación es el genético, Zobel y Van Buijtenen (1989) mencionan que la variación de la densidad de la madera entre árboles de *Pino oregon* se debe a causas genéticas, las cuales son tan grandes, que no permiten apreciar la variabilidad por causa de otros factores externos como la calidad de sitio, clase de copa y ubicación geográfica.

### **1.2.2 Modelación de la densidad de la madera.**

La determinación de la variación de la madera tanto inter como intra árboles ha favorecido la existencia de múltiples modelos para varias especies (Igartúa y Monteoliva, 2009).

Así se reportan los modelos construidos por Mazet *et al.*, (1990) en Francia para *Pinus sylvestris*, *Abies alba* y *Picea abies*, los cuales tuvieron como variables predictoras la altitud y la región; los modelos establecidos para *Picea abies* por Chantre y Gouma (1993) para 8 clones en función del sitio; el modelo de Hervé (1999) en función de la parcela y el de Pape (1999) en función del estatus social; el modelo construido para *Quercus petraea* por Bergés *et al.*, (2000) quienes refieren que la densidad se encuentra determinada por el sitio de (1-3%) y el estatus social (18-23%).

Diversos estudios realizados en relación con la densidad del rodal y calidad de estación, han permitido generar modelos de densidad de la madera a partir de las tasas de crecimiento, evaluadas por el ancho de los anillos con gran precisión, sin la necesidad de realizar pruebas de laboratorio (Lindström, 1996; Dutilleul *et al.*, 1998).

Owoundi (1992) estableció un modelo de densidad para *Quercus petraea* y *Quercus robur* en función de la edad, y la longitud del anillo de crecimiento sobre la distancia media de la probeta. Para estas mismas especies Zhang *et al.*, (1993) determinaron un modelo teniendo como variables predictoras: la edad, el inverso de la longitud del anillo de crecimiento y la edad sobre la distancia media de la probeta; los modelos encontrados para diferentes especies de *Quercus* por (Degron y Nepveu, 1996; Lei *et al.*, 1996; Bergés, 1998; Guilley *et al.*, 1999; Guilley y Nepveu, 1999; Le Moguédec, 2000 y Guilley, 2000) quienes utilizan las variables anteriores con transformaciones. Los modelos de variación radial y axial de la densidad establecidos para (*Eucalyptus*, *Populus* y *Salix*) por (Wilkes, 1988; Downes *et al.*, 1997; Igartúa *et al.*, 2002, 2003).

Pereyra y Gelid (2002) obtuvieron para *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, al norte de Corrientes en Argentina tres modelos en función de la altura y los anillos de crecimientos.

## 2.1 Características generales del territorio de la EFI Macurije.

La Empresa Forestal Integral (EFI) Macurije se ubica en la región más occidental de la provincia de Pinar del Río, abarcando partes de los territorios de los municipios Guane y Mantua. Sus límites geográficos (Figura 2.1) son los siguientes: al Norte (N) con el litoral costero desde la ensenada de Baja hasta la ensenada de Garnacha, al Noreste (NE) con el Municipio Minas de Matahambres específicamente con el Consejo Popular Santa Lucía (EFI Minas de Matahambres); al Este (E) con el municipio San Juan y Martínez (EFI Pinar del Río); al Sur (S) con el municipio Sandino (EFI Guanahacabibes) y al Sureste (SE) con el litoral del Golfo de México (Aldana *et al.*, 2006).

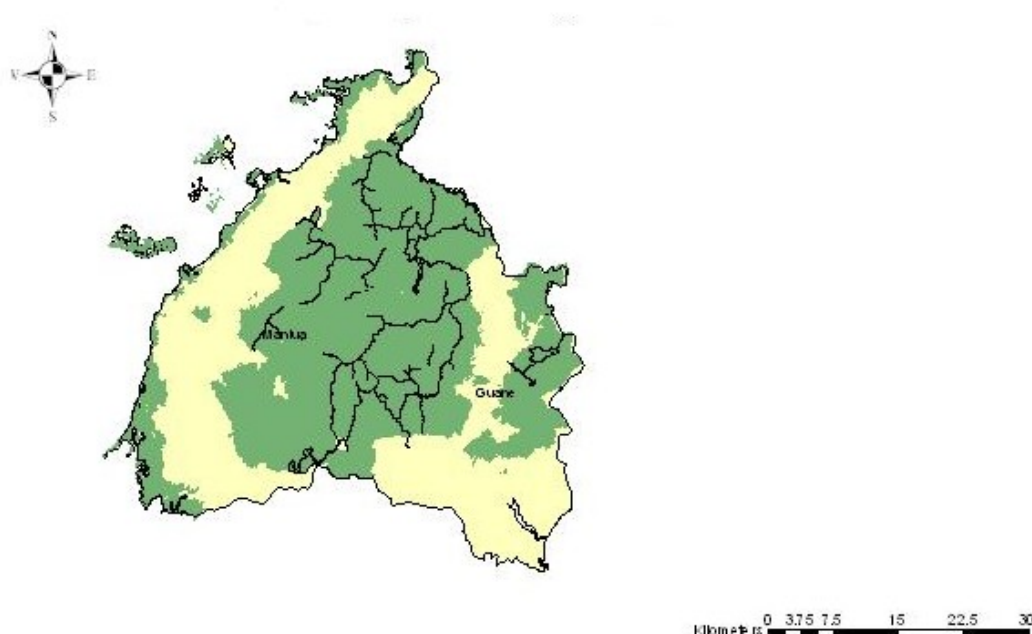


Figura 2.1 Ubicación geográfica de la EFI Macurije

### 2.1.1 Caracterización Climática

La cantidad de lluvia que cae en el territorio de la EFI de Macurije (Tabla 2.1) es de unos 1300 mm como promedio anual, el mes más seco es diciembre con 28 mm y el más lluvioso septiembre con 225 mm; en relación a las temperaturas, la media en el territorio es de 25,7 °C; el mes más frío es enero con 23,1°C y el más caliente es agosto con 28 °C (Aldana *et al.*, 2006).

Tabla 2.1- Lluvia y temperatura (Promedios mensuales) en el territorio de la EFI de Macurije

<b>Mes</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
enero	23,1	41
febrero	23,5	44
marzo	24,4	57
abril	25,2	66
mayo	26,7	166
junio	27,5	169
julio	27,8	136
agosto	28	180
septiembre	27,5	225
octubre	26,5	162
noviembre	24,7	38
diciembre	23,4	28
Promedio Anual	25,7	1312

### 2.1.2 Relieve y suelos

Debido a la extensión del territorio de la EFI Macurije, se presenta una gran variabilidad en cuanto a tipos de relieve; un análisis de estos indican una secuencia escalonada de elevaciones que concluyen en una llanura costera influenciada por ciénagas y arenales.

Esta área puede dividirse en tres zonas bien diferenciadas:

1. Zona de elevaciones cercana a los 200 m y menos, formada por lomas altas, abruptas y que se extienden como espinazo en dirección NE y SW.
2. Zona de colinas onduladas, constituida por las llanuras de pie de monte muy desertadas, pequeños abanicos y coluvios, originados de la baja cordillera central, antes descrita. Esta zona fluctúa entre los 5 y 50 m de altitud y se extiende en forma de abanico en todas las direcciones a partir del núcleo central de dicha cordillera.

3. Zona costera donde coinciden llanuras deposicionales arenosas y ciénagas. Esta zona constituye el límite de la región en los lugares en que la misma llega al mar.

La existencia de estas zonas no puede considerarse como un hecho fortuito, ya que se debe a la acción continuada de los procesos erosivos. Una formación geológica considerada como de las más antiguas de Cuba, es la conocida como "Formación San Cayetano" y está constituida por rocas metamórficas fundamentalmente rocas esquistosas y pizarrosas.

Un caso aparte lo constituyen las formaciones mogóticas del área, las cuales, consideradas como relieve, constituyen una mancha abrupta de elevaciones de borde cortados a pico, yaciendo sobre rocas arenosas y arcillosas fuertemente dislocadas de los abanicos y coluvios de la cordillera.

Todo este complejo geomorfológico se explica a partir de la teoría sustentada por un grupo de geólogos que consideran que en Cuba se han producido numerosos mantos sobre escurrimientos gigantescos acompañados de numerosas fallas y que una zona típica de los mismos es Pinar del Río (Aldana *et al.*, 2006).

Los suelos existentes en esta área son:

Suelos Alomados: Son suelos derivados de rocas metamórficas e ígneas, encontrándose entre estos esquistos y pizarras y rocas cuarcíticas respectivamente, en ocasiones pueden encontrarse estos materiales combinados con depósitos aluviales, sustentando suelos de este tipo. Ocupan posiciones que fluctúan desde 5 m hasta los 200 m y más de altitud, variando sus pendientes promedios desde menos del 5% hasta más del 20%, predominando las posiciones ocupadas por encima del 10% de pendiente. Han sido agrupados taxonómicamente atendiendo a la coloración de sus horizontes de acumulación arcillosa, las cuales fluctúan desde los tonos rojos hasta los amarillentos. Estos suelos en su estado normal deben presentar el primer horizonte de textura gruesa, loam arenoso y de color oscuro; no obstante, la impermeabilidad de los horizontes inferiores, la deforestación a que han sido sometidos y las pendientes donde comúnmente se encuentran, hacen que estén en su mayoría muy erosionados y presentando los horizontes arcillosos y de coloración rojiza aflorando a la superficie. El hecho de que estén



erosionados y cuentan con horizontes de acumulación arcillosas de profundidades entre 10 y 60 cm hace recomendable, según investigaciones realizadas, el laboreo (sub-solación), siempre que la pendiente lo permita, con vistas al establecimiento de plantaciones vigorosas. En estos suelos la especie de más perspectiva, por su gran adaptación y aprovechamiento de las condiciones edáficas es *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari y en segundo lugar *Pinus tropicalis* Morelet; por lo que estas son las especies que más se recomiendan, independientemente de los objetivos de las plantaciones.

Suelos Latosólicos: Estos suelos pueden encontrarse sobre materiales muy variados aunque predominan los esquistos arcillosos y los materiales aluviales respectivamente. Ocupan posiciones llanas a ligeramente onduladas que fluctúan entre menos de 5 m hasta los 20 m aproximadamente y puede decirse que por sus características físicas y químicas, así como por las posiciones que ocupan, son suelos dedicados a las actividades agropecuarias, que sufren una erosión relativamente más débil que los alomados y de perspectivas forestales mucho más inciertas, si se consideran desde el punto de vista económico integral.

Suelos Arenosos: Estos suelos merecen un análisis más detallado, no tanto por su extensión, sino también por la factibilidad de usarlos en la silvicultura. Los mismos presentan dos variantes fundamentales en sus propiedades físicas y profundidad; unos son suelos donde se presenta un horizonte arenoso, poco estructurado y sin grandes variaciones hasta 1 m y más de profundidad, siendo muy pobres en nutrientes y presentando condiciones de drenaje excesivas; los otros son suelos donde a partir de los 50 cm aproximadamente se presentan marcadas condiciones de hidromorfismo y de drenaje deficiente que los hacen padecer de encharcamiento o excesos de humedad en algunos períodos del año, estos también por su textura y sus materiales de origen son muy pobres en nutrientes minerales. En la zona ocupada por ambos suelos silíceos pueden encontrarse yacimientos de arena sílice, empleadas en la industria del vidrio. El resto de los suelos existentes en la región, en su mayoría son ocupados por otras actividades agropecuarias, por lo que carecen de importancia para la actividad forestal (Aldana *et al.*, 2006).

### **2.1.3 Hidrología**

El territorio que comprende la EFI Macurije es rico en corrientes fluviales. Como río principal está el Cuyaguaje, que es el más importante de la provincia de Pinar del Río, el cual tiene su nacimiento en las estribaciones del Cerro de Cabras; tiene un cauce subterráneo de unos 10 Km., internándose en el lugar conocido por Hoyo Potrerillo, abierto entre las sierras de El Sumidero y El Resolladero y volviendo a surgir en el sitio denominado "El Nacimiento", entrando en el territorio de la empresa por la parte Sureste de la Sierra del Pesquero, con una extensión de 72,5 Km. dentro del área de dicha empresa. Este río está represado cerca de la laguna del Pesquero, almacenando unos 46 millones de m<sup>3</sup> de agua y desemboca en la costa Sur en la Ensenada de Cortés y tiene como afluentes dos importantes ríos: Río Frío y Guasimal; a su vez alimentan al Guasimal los arroyos San Francisco, Los Jíbaros y Palmar.

Otros ríos importantes en la zona son: Mantua con 64 Km. de extensión que corre de Este a Oeste en casi toda su trayectoria, desembocando en la costa norte, sus afluentes más importantes son los arroyos del Medio y Mobraja; el Río Macurije con 36 Km. de extensión, que desemboca en la costa Sur y el Río Sábalo con 32 Km. de longitud dentro de la empresa, siendo sus afluentes más importantes los arroyos Pañuelo, Ají y Cañas.

También existen otras corrientes fluviales de menos envergadura como son: Brazo de Canoa, San Juan, Tenería, Buena Vista, Los Muertos, Manacal, Naranjo, Guayacanes y Puercos (Aldana *et al.*, 2006).

### **2.2 Metodología para en análisis de la densidad de la madera.**

Para el análisis de la densidad de la madera se empleó la metodología descrita por Barrero, (2010) empleándose un total de 952 probetas de 60 árboles, pertenecientes a los 20 rodales distribuidos al azar en las diferentes unidades de manejo de esta empresa teniendo como condición que hayan sido raleados.

De cada rodal fueron seleccionados tres árboles en función del estatus sociológico: un dominante, un codominante y un oprimido, lo cuales se derribaron con una motosierra, marcados cada un metro y troceados tomando un disco de 2 cm de espesor.

Obtenidas las muestras se procedió a su secado, primeramente al sol y después en un lugar aireado bajo techo, lo que permitió un secado uniforme y evitó el ataque de hongos.

Posteriormente, se procedió a analizar la densidad de la madera, mediante dos métodos el procedimiento convencional manual y el procedimiento con escáner.

Las probetas para cada método se obtuvieron al dividir el disco de cada sección del fuste en 2, teniendo en cuenta su orientación en el sentido opuesto al diámetro mayor, desde la médula hasta la corteza, y conteniendo 5 mm de la médula aproximadamente.

Las dimensiones para la densidad manual de las probetas a 1,30 m fueron de 10x10 mm según el procedimiento francés establecido por el Instituto Nacional de las Investigaciones Agrícolas (INRA) para este tipo de estudio.

El método de determinación manual seleccionado fue el de volumen saturado por el principio de Arquímedes empleado por Guilley (2000) y Barrero (2010) el cual se realizó en el laboratorio de biomasa forestal perteneciente a la facultad de Forestal y Agronomía de la Universidad de Pinar del Río el cual consistió en sumergir el total de probetas en agua durante 72 horas, a continuación fueron sacadas y seccionadas una por una cada 2 cm partiendo de la corteza hasta llegar a la médula, luego fueron pesadas al aire ( $M_1$ ) con una balanza analítica (figura 2) con un equilibrio de precisión de (0,1 mg).



Figura 2-Balanza analítica utilizada para el pesaje.

Las probetas fueron pesadas, introduciendo cada una de las secciones de 2 cm de cada una suspendidas por el péndulo, en el volumen de agua contenida en el biquer ( $M_2$ ).

Una vez concluida esta operación se colocaron todas las probetas en una estufa a una temperatura de 102-104°C durante 24 horas, una vez logrado el peso constante se procedió a la pesada en el estado anhidro ( $M_0$ ).

El cálculo de la densidad se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$d(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{M_0(\text{Kg})}{V_s(\text{m}^3)} \quad (1)$$

Donde  $V_s$  se obtiene mediante la fórmula:

$$V_s(\text{m}^3) = \frac{M_1 - M_2(\text{Kg})}{1000(\text{kg}/\text{m}^3)} \quad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación 1

$$d(\text{kg}/\text{dm}^3) = \frac{M_0}{(M_1 - M_2)/1000} \text{ o } d(\text{kg}/\text{dm}^3) = \frac{M_0}{(M_1 - M_2)} \quad (3)$$

Donde:

$d$ : densidad de la madera ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$M_0$ : peso seco después de la desecación completa en una estufa (kg)

$M_1$ : peso de la probeta húmeda al aire (kg)

$M_2$ : peso de la probeta húmeda en el agua (kg)

$V_s$ : volumen saturado ( $\text{m}^3$ )

Para el empleo del escáner, según Guilley (2000) debe partirse de comprobar su eficiencia en relación al método manual existente de infradensidad, para ellos se analizaron en esta tesis, las probetas de los árboles a la altura de 1,30.

Las probetas obtenidas para la densidad con el escáner fueron construidas según la norma francesa establecida por el INRA para el empleo de este equipo con 2 mm de espesor ( $\pm 1$  centésima de mm) en su plano ortotrópico en vista de su posición radial, previendo la posición de los anillos de crecimiento. Una probeta mal orientada ocasiona una imagen borrosa, sensible particularmente sobre los límites de los anillos, por lo que esta imagen radiográfica inducirá una sobrestimación de la densidad máxima y mínima.

El análisis de la microdensidad fue realizado en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Agronómicas de Francia, con sede en Nancy, se empleó para ello un escáner modelo "Multi-slice CT (GE BrightSpeed Excel)" (figura 3).



Figura 3- Escáner Multi-slice CT.

Para su utilización las muestras fueron estabilizadas a priori al 12 % de contenido de humedad.

Las probetas fueron irradiadas según el procedimiento descrito por Polge y Nicholls (1972) durante dos horas por rayos X de gran longitud de ondas, de una fuente puesta a 2.5 m de un filme radiográfico de radio medio. Los rayos X fueron condicionados por las características eléctricas siguientes: intensidad de 10 mA y una tensión de 10 kV. Tres perfiles de densidad fueron registrados, correspondientes a tres pasajes coyunturales sobre la imagen radiográfica con una ventana de medición de alta tensión de 500  $\mu\text{m}$  en la dirección tangencial y 24  $\mu\text{m}$  en la dirección radial.

Una vez obtenidas las imágenes radiográficas de las probetas se procedió a la delimitación de los anillos de crecimiento con el empleo del software CERD (Mothe *et al.*, 1998) siendo además verificados manualmente por un técnico del propio laboratorio.

Determinada la densidad de la madera se procedió a analizar su comportamiento en relación a el raleo implementado, y el estatus sociológico, con el empleo de un análisis de varianza (ANOVA) de un factor grupal y desglosándose posteriormente en el caso del estatus social, el grupo con un análisis post hoc (test de Bonferroni).

Esto hizo posible establecer modelos por las características sociológicas de árboles en la masa, para lo que se partió del análisis de los factores

dasométricos y dendrométricos que explican la variabilidad tanto en la dirección longitudinal del árbol como en su dirección radial, y se utilizó un análisis descriptivo de componentes principales, donde se identificó el componente en que se asocia la densidad de la madera.

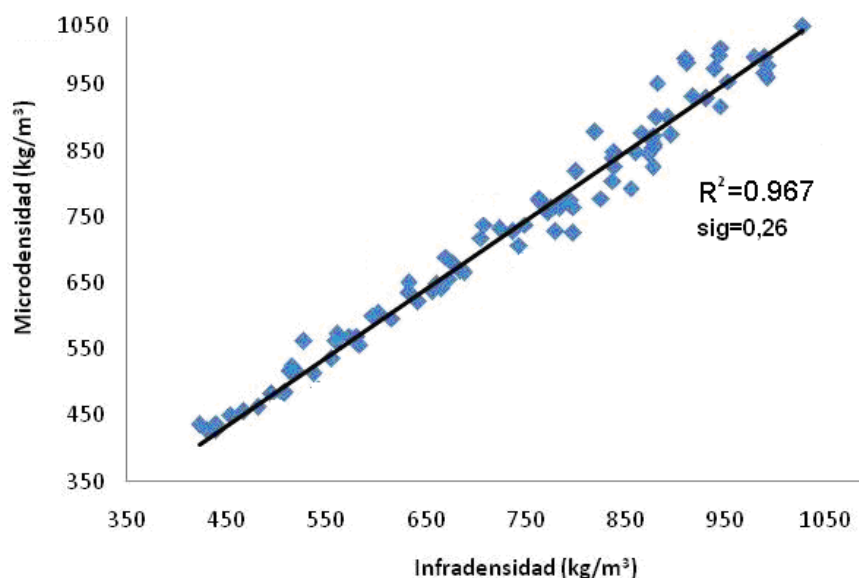
Luego mediante una matriz de correlación se obtuvieron los factores del modelo que explicaron el mejor comportamiento.

Las variables analizadas para este estudio fueron: longitud médula-corteza ( $d_{mc}$ ), altura relativa ( $h$ ), altura total ( $ht$ ), edad, diámetro 1,30 ( $d_{1,30}$ ), diámetro del árbol medio de la masa ( $\bar{d}_{1,30}$ ), altura del árbol medio de la masa ( $\bar{h}$ ), altura dominante ( $H_0$ ).

Para la obtención de los modelos se empleó la regresión lineal siguiendo el cumplimiento y la exigencia de este tipo de análisis estadístico ya explicado con anterioridad para la modelación del crecimiento.

### 3.1 Validación del método de determinación de la densidad con el empleo del Escáner Multi-slice CT .

Al comprobar la densidad obtenida con el escáner Multi-slice CT a 0,30 m (microdensidad), y la obtenida con el método manual (infradensidad) se obtuvo el diagrama de dispersión representado en la figura 4.



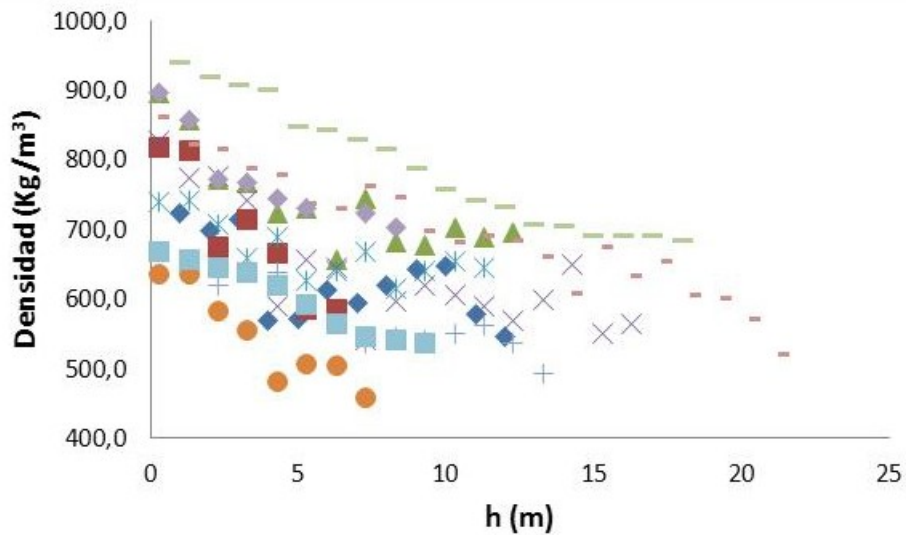
**Figura 4-**Comparación entre la infradensidad y la microdensidad.

La figura 4 indica que no existe diferencia significativa ( $\alpha > 0.05$ ), además de poseer un coeficiente de determinación  $R^2=0,967$ , lo cual hace efectivo el empleo de las mediciones obtenidas con este instrumento.

Este resultado ha sido superior al encontrado por Álvarez *et al.*, (2006) con el empleo de un Espectrómetro Modelo Bruker Vector 22/N, quienes obtuvieron un coeficiente de determinación  $R^2= 0,827$ . El escáner es un método no destructivo, disminuye el tiempo y los costos por el empleo de estufas y balanzas electrónicas, demostrando así con este trabajo la efectividad del mismo con respecto a los métodos manuales convencionales existentes, por lo que su utilización es válida para esta especie.

### 3.2 Variación inter árbol densidad de la madera.

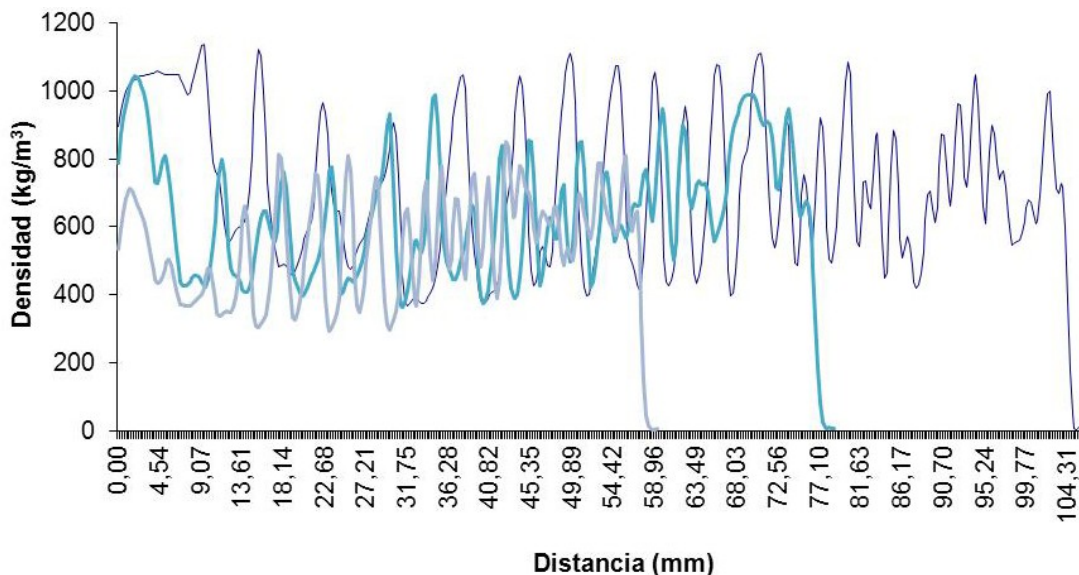
En las figura 5 se obtiene el comportamiento de la variación longitudinal de los árboles analizados en la investigación.



**Figura 5-Variación en sentido longitudinal de la densidad en un árbol.**

Este comportamiento se encuentra en correspondencia con lo reportado en la literatura por Burley *et al.*, (1973); Monteoliva *et al.*, (2002); Igartúa *et al.*, (2004); González *et al.*, (2007); González (2008) y Barrero, (2010). Esta variación se explica morfológicamente por el aumento en la longitud de las traqueidas con la edad, las cuales se agrandan con la altura del árbol de la base a la copa.

Por su parte la figura 6 muestra el comportamiento de la densidad en dirección médula corteza.



**Figura 6-Variación en dirección médula-corteza de la densidad de una probeta a 1,30 m de altura.**

El cual como se percibe existe aumento del centro a la corteza muy en correspondencia con lo reportado también en la literatura por González *et al.*,

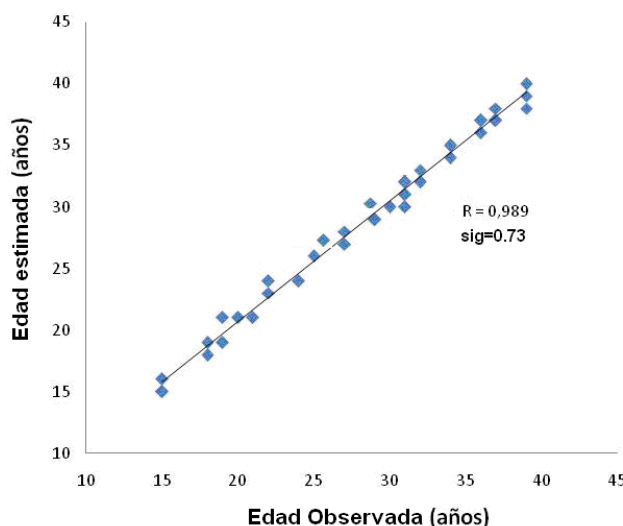


(2007), González (2008) y Barrero, (2010) lo cual se justifica por la presencia de células cortas comprimidas y elevados contenidos de resina muy característico en esta especie.

Un análisis de las imágenes obtenidas en el escáner (anexo 2) y la figura anterior. Se observa entre los anillos de crecimiento una marcada diferencia de la densidad entre la madera de primavera (temprana) y la madera de otoño (tardía), donde se dan valores aproximados de 2,5 veces mayor la densidad de la madera de otoño que la madera de primavera al depender mucho de las proporciones entre una y otra.

### 3.3 Análisis de la influencia del manejo en la densidad de la madera.

Con las imágenes obtenidas por el escáner Multi-slice CT (GE BrightSpeed Excel) se obtuvieron las series de crecimiento utilizando el software CERD (Mothe *et al.*, 1998) las que fueron comparadas con el método manual del que resultó la figura 7,



**Figura 7-Comparación entre el método manual y el software CERD.**

En esta figura no se constata diferencias significativas  $\alpha > 0.05$  entre los métodos analizados percibiéndose un coeficiente de correlación  $R = 0,98$  lo cual hace válido el empleo de este software en la especie.

Esto hizo posible identificar las edades y el incremento que experimentó el diámetro a partir de realizado el raleo para a continuación comparar este factor y la densidad de la madera para una misma edad resultado la tabla 1.

**Tabla1.-Comparación de la densidad de la madera de rodales manejados.**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	38362,877	1	38362,877	1,041	,310
Intra-grupos	4420831,080	120	36840,259		
Total	4459193,957	121			

La tabla 1 mostró la no existencia de diferencia significativas  $\alpha > 0.05$  de la densidad de la madera entre las masas donde se efectuó el raleo donde si se percibió un aumento de la tasa de crecimiento en diámetro, este resultado se encuentra en correspondencia con Parker *et al.*, (1976) para Pino Oregón así como por Hernández *et al.*, (1996) en *Pinus patula*, Markstrom *et al.*, (1983) y Moschler *et al.*, (1989) para esta especie y para el *P. ponderosa* concluyendo que a pesar del efecto de los aclareos sobre las características de los anillos de crecimiento, la asociación entre la densidad de la madera y estas características no se modificaron substancialmente después de los raleos.

### **3.4 Comparación de la densidad de la madera por el status social en la masa forestal.**

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* González *et al.*, (2001), González *et al.*, (2003) y González *et al.*, (2005) o el caso de *Pinus sylvestris* reportado por Gomory *et al.*, (2001), Prus-Glowacki y Stephan (1994); Comellius, (1994); sin embargo para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari estudios recientes de ensayos progenie-procedencia (García, 2002) para estas variables no mostraron diferencias significativas. También por medio de estudios moleculares Geadá (2004), Jardón *et al.*, (2010) con ADN cloroplasto y microsatélites del ADN nuclear no se detectaron diferencias entre las procedencias contempladas en estos, al parecer las llamadas procedencias para esta especie son ecotipos y no reflejo de variación en el genofondo de las mismas. Por lo que se puede asumir que el modelo determinado, en general, es válido para esta variedad de la especie en Cuba.

Al analizarse la variación de la densidad en función del estatus sociológico de la masa, mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, y tener como hipótesis  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_G$  que los tres árboles: dominante, codominante y oprimido alcancen la misma densidad promedio y como hipótesis  $H_1$ : no todas  $\mu_G$  sean iguales, se obtuvo la tabla 2.

**Tabla 2-ANOVA.**

	Suma de cuadrados	g	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	283881,213	2	141940,607	19,172	,000
Intra-grupos	333153,404	45	7403,409		
Total	617034,617	47			

Como  $\alpha < 0,05$  no se acepta  $H_0$ , por lo que existen diferencias significativas entre las densidades promedio de los árboles según su estatus, por lo que se acepta  $H_1$ . Para saber donde se encuentran estas diferencias se empleó un tipo de contraste de comparación múltiple o a posteriori post-hoc, se analizó primeramente para ello el comportamiento de la varianza (tabla 3).

**Tabla 3-Prueba de homogeneidad de varianzas.**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,833	2	45	,069

En esta tabla mediante la prueba de Levene se obtuvo un nivel crítico  $\alpha = 0,069$  mayor que 0,05 por lo que se aceptó la hipótesis de homogeneidad de varianza. En este contexto se empleó para la comparación múltiple el test de Bonferroni, con el cual se obtiene la tabla 4.

**Tabla 4- Comparación múltiple de Bonferroni.**

(I) CS	(J) CS	Diferencia de medias (I-J) Límite inferior	Error típico Límite superior	Sig. Límite inferior	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
Dominante	Codominante	44,39808	30,42082	,454	-31,2518	120,0480
	Oprimido	180,74074(*)	30,42082	,000	105,0908	256,3906
Codominante	Dominante	-44,39808	30,42082	,454	-120,0480	31,2518
	Oprimido	136,34267(*)	30,42082	,000	60,6928	211,9926
Oprimido	Dominante	-180,74074(*)	30,42082	,000	-256,3906	-105,0908
	Codominante	-136,34267(*)	30,42082	,000	-211,9926	-60,6928

\* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Se puede apreciar que no existe diferencia significativa entre las medias de las densidades de la madera entre árboles dominantes y codominantes y sí entre estos y los oprimidos, esta diferencia entre árboles dominantes y codominantes con los árboles oprimidos puede estar dada por las diferencias existentes entre las dimensiones de los diámetros y las alturas de estos árboles, determinados por los factores que condicionan estas dimensiones tales como: exposición, altitud, densidad de árboles, fertilidad del sitio y los tratamientos silvícolas realizados, lo cual favorece como es característico, que los árboles oprimidos sean más débiles y con fenotipos indeseados: deformaciones y gran cantidad de nudos que inciden en la variabilidad de la densidad existente.

### 3.5 Factores que condicionan la variación de la densidad inter árbol.

Con el empleo del análisis por componentes principales, se seleccionaron 2 factores con autovalores mayores que 1, los cuales explican el 70,30 % de la varianza total en la tabla 5.

**Tabla 5- 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	% S <sup>2</sup>	% acumulado	Total	% S <sup>2</sup>	% acumulado	Total	% de la varianza	% S <sup>2</sup>
1	4,614	51,261	51,261	4,614	51,261	51,261	4,279	47,547	47,547
2	1,713	19,038	70,300	1,713	19,038	70,300	2,048	22,753	70,300

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Al analizar la tabla 4 se puede comprobar que las sumas de los cuadrados de las saturaciones no coinciden con las de la extracción no rotada, esto ofrece una solución suficientemente clara sin necesidad de pensar que la rotación mejore la interpretación de la solución factorial.

La obtención de la matriz de componentes tabla 6 contiene las saturaciones de las variables en los factores no rotados.

**Tabla 6-Matriz de componentes.**

	Componente	
	1	2
Ho	,961	,079
Do H	,922	,116
Edad	,906	-,055
D1.30	,870	,057
ht	,567	,446
d1.30	,563	,560
D	,471	,462
hi	,134	,875
	,221	-,729

En la tabla anterior se pueden definir dos componentes, uno relacionado con las características dasométricas: diámetro del árbol medio de la masa ( $\bar{d}_{1.30}$ ), altura del árbol medio de la masa ( $\bar{h}$ ), altura dominante (Ho), diámetro dominante (Do), y la Edad; y otro a nivel del árbol relacionado con la forma del fuste donde se ubica la variable objeto de estudio (densidad de la madera (D)) con las variables: altura total (Ht), diámetro normal ( $d_{1.30}$ ), y la distancia médula-corteza (Dist).

Lo analizado hasta el momento, abre nuevas interrogantes de investigación tales como: microclima, presencia o ausencia de elementos minerales en el suelo, dirigidas a indagar en los parámetros que condicionan la forma del fuste. Entre los factores y teorías que pueden explicar la forma del árbol se encuentran: teoría nutricional (equilibrio entre transpiración y asimilación), teoría mecánica (respuesta a las fuerzas tanto interiores como exteriores), teoría hidráulica (equilibrio entre el agua de las raíces y la copa) y teoría hormonal (producción de auxinas en la copa y su distribución) (Ares, 1999). Respecto a lo anterior Cown y McConchie (1981); Nyakuengama *et al.*, (2003) y Beets *et al.*, (2007) determinaron en Nueva Zelanda para *Pinus radiata*, que el factor que incide en la variación tanto radial como tangencial de la especie es la disponibilidad del nitrógeno, validando el planteamiento anterior sobre los elementos minerales en el suelo.

### 3.5 Modelo de densidad en sentido longitudinal.

Analizando la correlación de las variables dendrométricas y dasométricas con la densidad en sentido longitudinal mediante una correlación bivariada se obtiene la tabla 7.

**Tabla 7. Matriz de correlación de las variables dasométricas y dendrométricas y su relación con la densidad de la madera.**

		hi	h	d1.30	ht	D1.30	Edad	Do	Ho	H
D	R	-,736(**)	-,545(**)	,367(*)	,336(**)	,303(**)	,576(*)	,323(**)	,323(**)	-,352(**)
	Sig.	,000	,000	,013	,002	,005	,010	,005	,005	,005
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
hi	R	1	,915(**)	,042	,061	,057	,092	,057	,057	-,057
	Sig.		,000	,704	,575	,605	,398	,605	,605	,605
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
h	R	,915(**)	1	,294(**)	,376(**)	,327(**)	,359(**)	,327(**)	,327(**)	-,327(**)
	Sig.	,000		,006	,000	,002	,001	,002	,002	,002
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
d1.30	R	,042	,294(**)	1	,838(**)	,403(**)	,405(**)	,403(**)	,403(**)	-,403(**)
	Sig.	,704	,006		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
Ht	R	,061	,376(**)	,838(**)	1	,831(**)	,816(**)	,831(**)	,831(**)	-,831(**)
	Sig.	,575	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
d1.30	R	,057	,327(**)	,403(**)	,831(**)	1	,977(**)	1,000(**)	1,000(**)	-1,00(**)
	Sig.	,605	,002	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
Edad	R	,092	,359(**)	,405(**)	,816(**)	,977(**)	1	,977(**)	,977(**)	-,977(**)
	Sig.	,398	,001	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
Do	R	,057	,327(**)	,403(**)	,831(**)	1,000(*)	,977(**)	1	1,000(**)	-
	Sig.	,605	,002	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
Ho	R	,057	,327(**)	,403(**)	,831(**)	1,00(**)	,977(**)	1,00(**)	1	-1,00(**)
	Sig.	,605	,002	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952
H	R	-,057	-,327(**)	-,40(**)	-,83(**)	-1,0(**)	-,98(**)	-1,00(**)	-1,00(**)	1
	Sig.	,605	,002	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	952	952	952	952	952	952	952	952	952

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

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

En esta matriz se percibe una correlación significativa para todas las variables con la densidad tanto para las variables dendrométricas como para las dasométricas teniendo una correlación negativa considerable con la altura relativa y negativa media con la altura referente a una sección de fuste determinada y media positiva con la edad según la escala propuesta por Hernández *et al.*, (1997) lo que se hace evidente la obtención de un modelo en función de estos factores.

Empleando el procedimiento de predicción de los valores  $\beta_0$  y  $\beta_1$  como un algoritmo de amortización de curvas se ajusta el modelo de mejor comportamiento el cual tuvo como media de sus bondades de ajuste los resultados que se muestran a continuación tabla 8.

**Tabla 8.-Descriptivos de la bondad de ajuste y los coeficientes de la regresión.**

Medias	S	Mín	Máx	Intervalo de confianza	
				LI	LP

Con se puede observar en la tabla 8 este modelo posee un buen comportamiento para la totalidad de la muestra analizada, específicamente el intervalo de confianza da fe de ello.

El modelo de mejor ajuste se representa a continuación:

$$D = \beta_0 * h_i^{\beta_1} \quad \text{o} \quad \ln D = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln h_i \quad (5)$$

Correlacionado los valores  $\beta_0$  y  $\beta_1$  con las variables dendrométricas y dasométricas para determinar como esta definido estos valores en la población se obtiene la tabla 9.

**Tabla 9. Matriz de correlación de los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$  su relación con las variables dasométricas.**

		d <sub>1.30</sub>	Edad	D <sub>1.30</sub>	Do	Ho	H
$\beta_0$	R	,827(**)	,791(**)	,707(**)	,714(**)	,714(**)	-,747(**)
	Sig.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952
$\beta_1$	R	-,710(**)	-,728(**)	-,650(**)	-,610(**)	-,610(**)	,622(**)
	Sig.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	952	952	952	952	952	952

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

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

En esta tabla se percibe una correlación significativa entre los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$  y las variables dasométricas así como valores del coeficiente de correlación de Pearson mejores para variables edad y diámetro de árbol a 1.30, siendo igual pero un poco más bajo para el parámetro  $\beta_1$ , así por razones prácticas ya que el objetivo que se persigue es determinar estos parámetros con un mínimo de variables por lo que implicaría su determinación en la práctica se decidió modelar cada parámetro en función de la edad y el diámetro a 1.30.

Así se obtuvo como el modelo para el parámetro  $\beta_0$  con los coeficientes de determinación ( $R^2=0,735$ ), de determinación corregido ( $R^2_{\text{corregido}} = 0,730$ ) mayores y el menor error típico de estimación ( $S_x=,026$ ), presentando además una relación significativa entre las variables ( $\alpha<0,05$ ), el estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero (anexo 4)..

El modelo con los coeficientes no estandarizados se representa a continuación:

$$\beta_0 = 6,432 * e^{0,002 * \text{Edad}} \quad (6)$$

En relación al parámetro  $\beta_1$  el modelo de mejor bondad de ajuste fue sin intercepto explicando las variables exógenas la proporción del parámetro al 77 % ( $R^2=0,77$ ), y presentando además el menor error típico de estimación ( $S_x=,072$ ), quedando la expresión de la forma siguiente:

$$\beta_1 = 0,003 \text{Edad} + 0,001 * d_{1.30} \quad (7)$$



Una representación de los residuos de cada uno de los modelos para cada parámetro se muestra en el (anexo 5 y 6), los cuales se encuentran prácticamente entre paralelas, lo que indica homogeneidad de varianza.

Sustituyendo las ecuaciones 6 y 7 en 5 la función queda de la madera siguiente:

$$\ln D = 6,432 - 6,008 * e^{0,002 * \text{edad}} * h_i^{(-0,003 \text{Edad} + 0,001 * d^{1.30})} \quad (9)$$

El procedimiento realizado se corresponde con lo obtenido por Zhang *et al.*, (1993); Ackermann (1995); Guilley *et al.*, (1999), Guilley (2000), Le Moguédec (2000) para *Pinus nigra* y *Quercus sp.*

Al comparar el modelo propuesto con el modelo de Barrero (2010) para esta empresa pero en función de la altura relativa, la distancia medula-corteza y la edad, empleando una muestra independiente de 6 árboles, el obtenido en esta tesis mostró un mejor comportamiento de las capacidades predictivas teniendo más exactitud con un error cuadrático medio de ECM= 6 % y menor sesgo con una diferencia agregada DA= -2,4 como media para toda la muestra, mientras que el de Barrero (2010) fue de 9 % para el ECM y de -3,8, lo que hace eficaz y confiable la predicción de esta variable.

### 3.7 Modelo de la densidad en sentido radial.

Del análisis de la correlación existente entre la densidad en sentido médula corteza (Dmc), la altura relativa (hi) y la distancia médula corteza (Dist) resultó la tabla 8.

Tabla 8.- Correlaciones entre las variables.

		Dmc	hi	Dist
Dmc	R	1	-,158(**)	,247(**)
	Sig.		,000	,000
	N	12715	12715	12715
hi	R	-,158(**)	1	-,273(**)
	Sig.	,000		,000
	N	12715	12715	12715
dist	R	,247(**)	-,273(**)	1
	Sig.	,000	,000	
	N	12715	12715	12715

En esta tabla se percibe poca correlación entre estas variables lo cual se puede inferir su comportamiento a la presencia de grandes cantidades de resina y en algunos casos a la existencia de tensiones por madera de compresión. A favor de corregir esta dificultad se acudió a la transformación de las variables y su análisis de correlación tabla 9.

Tabla 9.- Correlaciones entre las variables transformadas.

		$\frac{1}{dist}$	$\frac{1}{hi}$	$\sqrt{hi}$	$\sqrt{dist}$
$\frac{1}{Dmc}$	R	,044(**)	-,111(**)	,136(**)	-,273(**)
	Sig.	,000	,000	,000	,000
	N	12711	12715	12715	12715

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

Como indica la matriz de correlación de las variables transformadas no se favorece un aumento significativo en la correlación de la variable dependiente de las predictoras transformadas, por lo que no se considera factible la construcción de un modelo en este sentido.

## CONCLUSIONES

1. El raleo para la especie en las condiciones de sitios de la EFI Macurije no es una actividad silvícola influyente en la variación de la densidad de la madera entre árboles.
2. Considerando el estatus sociológico de los árboles en la masa arbórea para el análisis inter árbol, las variables dasométricas y dendrométricas para el análisis intra árbol y la edad para ambos casos, resultó el componente "*forma del fuste*" el factor condicionante de la variabilidad en la densidad de la madera de la especie.
3. Le modelo densidad en sentido longitudinal queda representado por el siguiente polinomio:

$$\text{Ln } D = 6,432 * e^{0.002 * \text{Edad}} * h_i^{(-0.003 \text{Edad} + 0,001 * d1.30)}$$

el cual describe la variación de esta propiedad física en la especie, aportando a la práctica productiva una forma que puede mejorar el proceso de clasificación de la materia prima según las necesidades industriales.

4. El método de determinación de densidad de la madera con el empleo del escáner es válido para la especie, el cual disminuye el tiempo y los costos por el empleo de estufas y balanzas electrónicas, demostrando además su efectividad con respecto a los métodos manuales convencionales existentes.

## **RECOMENDACIONES**

### **A la Empresa Forestal Integral Macurije.**

- Aplicar el modelo de densidad obtenido en el trabajo para la clasificación de la madera en bolo y así obtener un producto más homogéneo y con mayor calidad.
- Introducir en el proceso de toma decisiones durante la planificación y el manejo de las plantaciones de la especie los resultados que aporte el modelo que se propone en esta tesis.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aldana, E; Puentes, M; Romero, L (2006): Informe Final Proyecto de Ordenación EFI Macurije. Ministerio de la Agricultura.
2. Álvarez, D (2005): Tecnología de la madera.Universidad de Pinar del Río.en proceso de impresión. 187p.
3. Álvarez, D; Rodríguez, J. C y Pereira, H (2006): Variation of wood physical and mechanical properties of diferent provenances of *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Report. 32 p.
4. Barrero, H (2010): Modelo integral de crecimiento, grosor de corteza perfil del fuste y densidad de la madera. Estudio de caso EFI Macurijes. Tesis presentada para optar por el grado de Doctor en Ciencias Forestales Universidad de Pinar del Río.100 p.
5. Espinoza, J (2004): Gradiente de variación de la densidad de la madera en árboles de Gmelina aborea en Venezuela. IV Congreso Forestal Venezolano.Barinas, Venezuela. 56 pp.
6. Erickson, H.D; Harrison; A.T (1974): Douglas-fir wood quality studies. Effects of age and simulated growth on wood density and anatomy (Part I). Wood Sci Technol, (8): 207-226.
7. Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P (1997): Metodología de la investigación. McGRAW - Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
8. Encarta (2009).Enciclopedia digital de Microsoft Windows
9. García, L; Guindeo, A; Peraza, C (2003): La Madera y su Anatomía. Mundi-Prensa/Fundación Salazar. Madrid, España.327 pp.
10. Geada López, G (2004): Variabilidad genética usando marcadores moleculares del ADN nuclear y de cloroplasto en *Pinus caribaea* var. *caribaea* .In: III Congreso Forestal de Cuba, Habana (ed.) Ministerio de la Agricultura, N.34.
11. González, SC; Salvador, L; Agúdez, P; Alía, R; Gil, L (2001): Geographical variation of gene diversity of *Pinus pinaster* Ait. In the Iberian Peninsula En: Genetic response of forest system to changing enviromental conditions (eds): Müller-Starcks), Kluwer Academic Press.

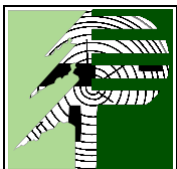
12. González, SC; Gerber, S; Cervera, MT; Martínez, JM; Alía, R; Gil L (2003): Annals Forest Science 60(2): 115-121. Selfing and sibship structure in a two-cohort stand of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) using nuclear SSR markers.
13. González, SC; Gerber, S; Cervera, MT; Martínez, JM; Alía, R; Gil, L (2005): Detecting reliable parent-offspring matches in parentage analysis: a case study.
14. González, I (2007): Comportamiento de algunas propiedades físicas en la dirección radial de la madera de la especie *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea*. Revista Forestal Baracoa. No1; Vol 26.
15. González, I (2008): Análisis numérico de las deformaciones de la madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* inducidas por las variaciones de la humedad. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). UPR.
16. Guilley, E y Nepveu, G (1999): Using mixed models to estimate the pith-to-bark density profiles in individual logs from reduced density measurements; Application to Sessile oak, Proceedings of the Third Workshop <<Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approach and Simulation Software>>. La Londe-les-Maures, France, 5-12, 245-252.
17. Guilley, E; Hervé, J.C; Huber, F y Nepveu, G (1999): Modelling variability of within-rings density components in *Quercus petraea* Liebl. with mixed-effects models and simulating the influence of contrasting silvicultures on wood density, Ann. Sci. For. 56, 449-458.
18. Guilley, E (2000): La densité du bois de Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.): Elaboration d'un modèle pour l'analyse des variabilités intra-et inter-arbre; Origine et évaluation non destructive de l'effet "arbre"; Interprétation anatomique du modèle proposé. Thèse (pour l'obtention du grade de Docteur de l'ENGREF) Spécialité: Sciences Forestières et Sciences du Bois. 206 p.
19. Ibáñez, A. (1975): Informe sobre nueve especies maderables cubanas. Instituto de Investigaciones Forestales. Ministerio de la Agricultura. Ciudad Habana. Cuba. 76 p.

20. Igartúa, D.V; Monteoliva, S.E; Monterrubianesi, M.G; Villegas, M.S (2002): Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. Variación de la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Fac. Agr. 105 (1): 35-45.
21. Igartúa, D.V; Monteoliva, S.E; Monterrubianesi, M.G; Villegas, M.S (2003): Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *Globules* for parameter prediction of the whole tree. IAWA Journal 24 (2): 173-184.
22. Igartúa, D.V; Monteoliva, S.E; Núñez, C (2004): Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, argentina. III Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Córdoba, España, 8p.
23. Igartúa, D.V; Monteoliva, S.E (2006): El *Eucalyptus globulus* en Argentina: potencialidad del sudeste de la provincia de Buenos Aires para la producción de materia prima fibrosa. IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Santiago y Valdivia, Chile, 8 p.
24. Igartúa, D.V y Monteoliva, S.E (2009): Densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br en relación con la altura de muestreo, el árbol y el sitio. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 18 (1): 101-110 Disponible en: [www.inia.es/srf](http://www.inia.es/srf). ISSN: 1131-7965 Consulta: (15 febrero 2010).
25. Monteoliva, S; Senisterra, M.G; Marquina, J; Marlats, R; Villegas, M.S (2002 b): Estudio de la variación de la densidad básica en siete clones de *Salix*. Revista Facultad Agronomía La Plata 105 (1): 29-34.
26. Monteoliva S., Senisterra G., Marlats R. (2005).Variation of wood density and fibre length in six willow clones (*Salix* ssp). IAWA Journal 26 (2), 197-202.
27. Monteoliva, S (2007): Salicáceas: variación de la calidad de madera para papel de diario. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales Madereros y no Madereros (Iberomadera), Buenos Aires, Argentina, 8 p.

28. Sawa, Y; Schweingruber, F; Milyuntin L (2002): Genetic and environmental signal in tree ring from different provenance of *Pinus sylvestris* L. planted in the southern taiga, central Siberia. *Trees* 16: 124-131.
29. Simpson, HL y Denne, PM (1997): Variation of ring width and specific gravity within tree from unthinned Sitka spruce spacing trial in Clocaenog, North Wales. *Forestry* 70: 31-45.
30. Wilkes, J (1988): Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. *IAWA Bull. n.s.* 9 (1): 13-23.
31. Zhang, S. Y; Eyono, R; Nepveu, G; Mothe, F; Dhôte, J.F (1993): Modelling wood density in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) and simulating the silvicultural influence, *Can. J. Fors. Res.* 23, 2587–2593.
32. Zobel, B. J. (1964): Mejora genética de las propiedades de especies forestales. *Unasyva.* 18(2-3): 89-104.
33. Zobel, B.J y Van Buijtenen, J.P (1989): Wood variation. Its causes and control. Springer-Verlag. Springer Series in Wood Sciences. Berlin. Germany. 363 p.



Anexo 1.- Modelo de análisis de microdensidad realizado en el INRA, Nancy, Francia.



Laboratoire d'Etude des Ressources **FO**rêt-**Bois**  
Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF 1092

Equipe :
<b>EQUIPE CPQB-LERFOB</b>

Protocole QB139
Expérimental ..... <input checked="" type="checkbox"/>
Technique ..... <input type="checkbox"/>

Titre de l'expérience :
<b>Variabilité inter- et intraarbre de la densité du bois chez <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i></b>

Auteur (s) : **Gérard Nepveu** ..... Date : 01/09/09 .....

Correspondants techniques : **Pierre Gelhaye et Charline Freyburger** .....

Essence : *Pinus caribaea* var. *caribaea* .....

Origine géographique : **Cuba** ..... Forêt : **EFI-Macurije** ..... Département : **sans objet** .....

Lieu de traitement du matériel végétal :

- Laboratoire       Pépinière       Serre       Forêt

Identification du matériel végétal : **3 arbres A4, A5, A6 (respectivement n°QB : 4366, 4367 et 4368) ; total de 58 barreaux radiaux découpés dans 58 rondelles tronçonnées tous les mètres en partant du niveau 0,30 m.**

Type de données collectées : **58 profils de densité du bois sec à l'air allant de la moelle au cambium, sans délimitation des cernes.**

Type du document :

Papier

Numérique

Nom du fichier : **QB139.DOC**

Objectif et descriptif du protocole :

**Explorer la variabilité interarbre (3 arbres) et intraarbre (distance à la moelle et hauteur dans l'arbre ; 14 à 22 niveaux de hauteur par arbre commençant tous à 0,30 m et par pas de 1 m). Passage au scanner à grumes (aux bons soins de Charline ; échantillons confiés le 02/09/09) des 58 barrettes radiales disponibles (à l'état « sec à l'air ») pour obtention de 58 profils de la moelle au cambium de la densité du bois sec à l'air sans délimitation des cernes.**

### Description des arbres, préparation et mesures des échantillons

Trois arbres d'une parcelle de l'EFI de Macurije désignés initialement par Héctor Barrero par A4 (dominant ; n°QB : 4366), A5 (codominant ; n°QB : 4367) et A6 (dominé ; n°QB : 4368). Un total de 58 rondelles a été prélevé sur ces arbres (opération réalisée les 4 et 5 juin 2009). Le 8 juin 2009, des barreaux radiaux (1 par rondelle) ont été découpés dans ces rondelles. Le rayon retenu a été déterminé de sorte qu'il soit égal à la circonférence de la rondelle divisée par 2 pi et en prenant soin autant que possible de ne pas inclure de singularités. Les 58 barreaux obtenus ont été immédiatement mis à sécher à l'air et ramenés en France par Gérard Nepveu (le 13 juin 2009) après quoi ils ont continué à sécher dans son bureau.

Les dimensions de ces barreaux (tous radiaux) sont, environ, de 10 à 20 mm dans le sens longitudinal et de 15 mm dans le sens tangentiel, la moelle étant à peu près centrée.

Chacun des 58 barreaux radiaux porte un n° composé du n° de l'identificatif de l'arbre donné à Cuba (A4, A5 ou A6) suivi de la hauteur de prélèvement dans l'arbre. ATTENTION : ces indicatifs sont peu lisibles. Par conséquent, une fois les mesures faites, les barreaux provenant du même arbre seront regroupés dans de petits sacs.

Le tableau qui suit donne quelques précisions sur les 58 échantillons disponibles.

#### **Arbre A4 (dominant ; n°QB : 4366) ; 22 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	145
1,30	153
2,30	124
3,30	120
4,30	134

5,30	141
6,30	112
7,30	112
8,30	112
9,30	91
10,30	105
11,30	90
12,30	87
13,30	86
14,30	85
15,30	75
16,30	81
17,30	75
18,30	70
19,30	62
20,30	51
21,30	48

**Arbre A5 (codominant ; n°QB : 4367) ; 22 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	127
1,30	120
2,30	120
3,30	109
4,30	109
5,30	108
6,30	94
7,30	95
8,30	90
9,30	88
10,30	80
11,30	75
12,30	80
13,30	80
14,30	65
15,30	69
16,30	57
17,30	58
18,30	49
19,30	40

20,30	35
21,30	32

**Arbre A6 (dominé ; n°QB : 4368) ; 14 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	83
1,30	75
2,30	67
3,30	63
4,30	69
5,30	57
6,30	56
7,30	46
8,30	50
9,30	47
10,30	44
11,30	47
12,30	40
13,30	31

La mesure attendue est le profil de densité du bois (état « sec à l'air ») de la moelle au cambium de chacun des 58 barreaux. En sortir 58 courbes avec la densité du bois en ordonnée et la distance à la moelle en abscisse ainsi que les 58 fichiers de données (couples distance à la moelle-densité du bois) correspondants et l'image scanner du barreau avec la position du transect parcouru (ce qui a été fait par Charline pour les trois arbres 4363, 4364 et 4365 (cf protocole QB140) était parfait ; procéder de la même façon). Regrouper toutes ces données, courbes et images sur un CD unique qui sera envoyé à Héctor par la Poste. Conserver bien sûr une copie de cet envoi afin de pouvoir en effectuer un nouveau si, par accident, le précédent ne parvenait pas à Héctor.

Gérard Nepveu, le 1<sup>er</sup> septembre 2009



Equipe :
<b>EQUIPE CPQB-LERFoB</b>

Protocole n : <b>QB145</b>
Expérimental ..... <input checked="" type="checkbox"/>
Technique ..... <input type="checkbox"/>

Titre de l'expérience :
<b>Variabilité inter- et intraarbre de la densité du bois chez <i>Pinus caribaea var. caribaea</i></b>

Auteur (s) : **Gérard Nepveu** ..... Date : **16/07/10** .....

Correspondants techniques : **Pierre Gelhaye et Charline Freyburger** .....

Essence : ***Pinus caribaea var. caribaea*** .....

Origine géographique : **Cuba**..... Forêt : **EFI-Macurije** ..... Département : **sans objet** .....

Lieu de traitement du matériel végétal :

- Laboratoire       Pépinière       Serre       Forêt

Identification du matériel végétal : **12 arbres A1O, A1D, A1C, A2O, A2D, A2C, A3O, A3D, A3C, A4O, A4D, A4C (respectivement n°QB 4369, 4370, 4371, 4372, 4373, 4374, 4375, 4376, 4377, 4378, 4379 et 4380) ; total de 151 barreaux radiaux découpés dans 151 rondelles tronçonnées tous les mètres en partant du niveau 0,30 m.**.....  
.....

Type de données collectées : **151 profils de densité du bois sec à l'air allant de la moelle au cambium, sans délimitation des cernes.** .....

Type du document :

Papier

Numérique

Nom du fichier : **QB145.doc**

Objectif et descriptif du protocole :

**Explorer la variabilité interarbre (12 arbres) et intraarbre (distance à la moelle et hauteur dans l'arbre ; 7 à 18 niveaux de hauteur par arbre commençant tous à 0,30 m et par pas de 1 m). Passage au scanner à grumes (aux bons soins de Charline Freyburger ; échantillons confiés le 15/07/10) des 151 barreaux radiaux disponible (à l'état "sec à l'air") pour obtention de 151 profils de la moelle au cambium de la densité du bois sec à l'air sans délimitation des cernes. Les mesures au scanner ont été réalisées au cours de la seconde quinzaine d'août 2010 (dates à préciser le moment venu par Charline) après que les 151 échantillons aient séjourné depuis 16 juillet 2010 dans la salle conditionnée du bâtiment B'.**

## **Identification des arbres, préparation et mesures des échantillons**

Un total de 12 arbres est disponible. Sur le terrain, ils ont été notés A1O, A1D, A1C, A2O, A2D, A2C, A3O, A3D, A3C, A4O, A4D, A4C., numéros auxquels ont été attribués au LERFoB respectivement les numéros QB 4369, 4370, 4371, 4372, 4373, 4374, 4375, 4376, 4377, 4378, 4379 et 4380. Ces douze arbres proviennent de 4 parcelles dénommées A1, A2, A3 et A4. Dans chacune de ces 4 parcelles, on a abattu 1 arbre dominé (suffixe « O » pour « oprimido »), 1 arbre dominant (suffixe « D » pour « dominante ») et 1 arbre codominant (suffixe « C » pour « codominante » ; indications à vérifier par

Héctor Barrero). Un total de 151 rondelles a été prélevé sur ces arbres en commençant au niveau de hauteur 0,30 m et en montant dans l'arbre par pas de 1 m (opération réalisée au cours des premiers mois de l'année 2010 ; indications à préciser par Héctor Barrero). Par la suite (et en tout cas avant le 21 avril 2010 ; dates à préciser par Héctor Barrero), des barreaux radiaux (1 par rondelle) ont été découpés dans ces rondelles. Le rayon retenu a été déterminé de sorte qu'il soit égal à la circonférence de la rondelle divisée par 2 pi et en prenant soin, autant que possible, de ne pas inclure de singularités. Les 151 barreaux obtenus ont été immédiatement mis à sécher à l'air et ramenés en France par Gérard Nepveu (le 4 mai 2010) dans douze sachets plastiques (un sachet par arbre). Ces sachets ont été ouverts le 9 juin 2010 après quoi ils ont continué à sécher dans son bureau. Ces 151 barreaux étaient visuellement exempts de bleu.

Les dimensions de ces barreaux (tous radiaux) vont de 10 à 25 mm dans le sens longitudinal (moyenne sur 30 barreaux : 1,8 mm) et de 17 à 30 mm dans le sens tangentiel (moyenne sur 30 barreaux : 2,3 mm). La moelle de tous les barreaux était à peu près centrée.

Chacun des 151 barreaux porte un n° composé de i/ l'indicatif « parcelle » (A1, A2, A3, A4) suivi ii/ d'un indicatif « rang social de l'arbre » (« O » pour « oprimido », « D » pour « dominante » et « C » pour « codominante » ; indications à vérifier par Héctor Barrero) et , enfin, iii/ de la hauteur de prélèvement dans l'arbre. ATTENTION : afin d'éviter des confusions ultérieures dans les numéros portés sur les 151 barreaux, il faudra, une fois les mesures faites au scanner, regrouper les barreaux provenant du même arbre dans de petits sacs.

Dans ce qui suit, nous donnons quelques précisions sur les 151 barreaux donnés à scanner le 15 juillet par Gérard Nepveu à Charline Freyburger.

**Arbre A1O (dominé ; n°QB : 4369) ; 11 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	63
1,30	68
2,30	59
3,30	56
4,30	51
5,30	47
6,30	45
7,30	46
8,30	41
9,30	45
10,30	35

**Arbre A1D (dominant ; n°QB : 4370) ; 12 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	111
1,30	103
2,30	104
3,30	97

4,30	94
5,30	99
6,30	95
7,30	92
8,30	90
9,30	69
10,30	82
11,30	67

**Arbre A1C (codominant ; n°QB : 4371) ; 12 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	105
1,30	87
2,30	89
3,30	78
4,30	77
5,30	68
6,30	70
7,30	77
8,30	83
9,30	77
10,30	68
11,30	58

**Arbre A2O (dominé ; n°QB : 4372) ; 7 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	106
1,30	104
2,30	99
3,30	86
4,30	77
5,30	70
6,30	63



**Arbre A2D (dominant ; n°QB : 4373) ; 14 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	123
1,30	105
2,30	81
3,30	90
4,30	94
5,30	76
6,30	88
7,30	83
8,30	87
9,30	71
10,30	66
11,30	75
12,30	68
13,30	67

**Arbre A2C (codominant ; n°QB : 4374) ; 18 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	91
1,30	102
2,30	89
3,30	80
4,30	80
5,30	94
6,30	91
7,30	78
8,30	68
9,30	72
10,30	67
11,30	56
12,30	53
13,30	52
14,30	55
15,30	58
16,30	46
17,30	37

**Arbre A3O (dominé ; n°QB : 4375) ; 13 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	78
1,30	68
2,30	68
3,30	66
4,30	69
5,30	67
6,30	57
7,30	61
8,30	53
9,30	54
10,30	48
11,30	43
12,30	50

**Arbre A3D (dominant ; n°QB : 4376) ; 16 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	100
1,30	94
2,30	87
3,30	86
4,30	83
5,30	87
6,30	79
7,30	87
8,30	73
9,30	76
10,30	75
11,30	65
12,30	66
13,30	60
14,30	54
15,30	48

**Arbre A3C (codominant ; n°QB : 4377) ; 10 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	76
1,30	67
2,30	78

3,30	65
4,30	73
5,30	59
6,30	59
7,30	57
8,30	53
9,30	46

**Arbre A4O (dominé ; n°QB : 4378) ; 12 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	68
1,30	56
2,30	56
3,30	49
4,30	45
5,30	43
6,30	42
7,30	41
8,30	40
9,30	45
10,30	37
11,30	32

**Arbre A4D (dominant ; n°QB : 4379) ; 12 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	111
1,30	103
2,30	100
3,30	95
4,30	94
5,30	91
6,30	84
7,30	92
8,30	90
9,30	68
10,30	80
11,30	85

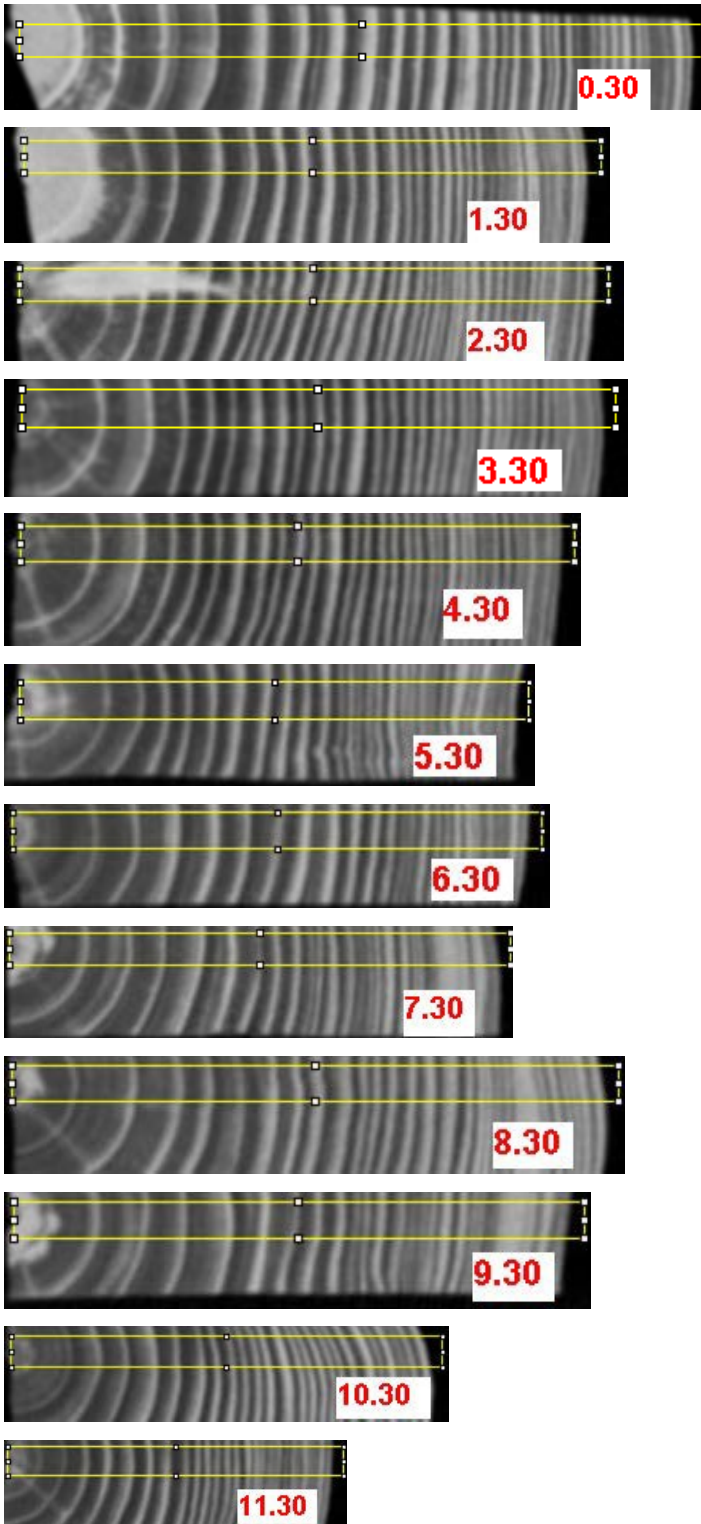
**Arbre A4C (codominant ; n°QB : 4380) ; 14 barreaux disponibles :**

<i>Hauteur dans l'arbre (m)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
0,30	84
1,30	70
2,30	68
3,30	58
4,30	55
5,30	57
6,30	69
7,30	68
8,30	61
9,30	54
10,30	54
11,30	52
12,30	52
13,30	50

La mesure attendue est le profil de densité du bois (état « sec à l'air ») de la moelle au cambium de chacun des 151 barreaux . En sortir 151 courbes avec la densité du bois en ordonnée et la distance à la moelle en abscisse ainsi que les 151 fichiers de données (couple distance à la moelle-densité du bois) correspondants et l'image scanner du barreau avec la position du transect parcouru (ce qui a été fait par Charline pour les trois arbres de numéros QB 4363, 4364 et 4365 (cf protocole QB140) et les trois arbres de n°QB 4366, 4367 et 4368 (cf protocole QB139) était parfait ; procéder de la même façon). Regrouper toutes ces données, courbes et images sur un CD unique qui sera envoyé à Hécator par la Poste. Conserver bien sûr une copie de cet envoi afin de pouvoir en effectuer un nouveau si, par accident, le précédent ne parvenait pas à Hécator.

Gérard Nepveu, le 16 juillet 2010

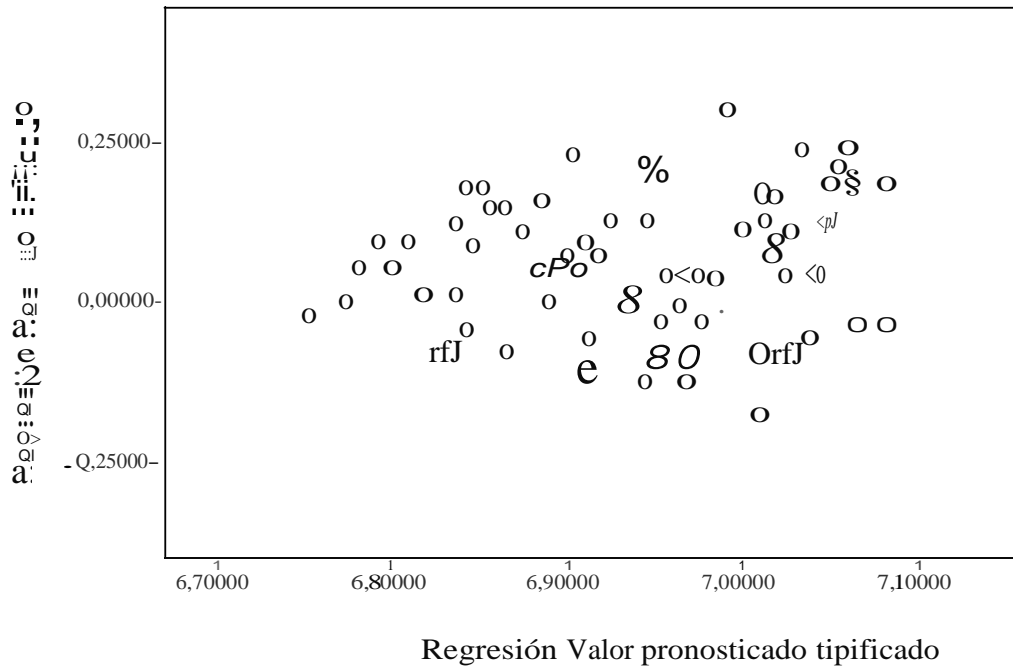
Anexo 2. Imágenes obtenidas con el escáner de un árbol para las diferentes secciones de altura relativa.



**Anexo.3- Significación de los coeficientes de la regresión modelo de densidad de la madera sentido longitudinal**

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
$\beta_1$	,002	,000	,797	12,082	,000
$\beta_0$	6,432	,076		79,195	,000

Anexo 4-Dispersión de los residuos de modelo para el parámetro  $\beta_0$  de densidad de la madera



Anexo S-Dispersión de los residuos de modelo para el parámetro  $\mu_1$  de densidad de la madera

