

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RIO
“HERMANOS SAIZ MONTES DE OCA”

FACULTAD DE AGRONOMIA Y FORESTAL
DEPARTAMENTO FORESTAL

TABLAS DASOMÉTRICAS PARA PLANTACIONES
DE ***Pinus tropicalis*** Morelet.

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales.

Autor: Ing. Germán Padilla Torres.

Tutor. Dr.C. Edilio Aldana Pereira.

1999

“Año del 40 aniversario del triunfo de la Revolución”

CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN RECTORAL N.º 17/98

Los resultados que se exponen en la presente Tesis, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y/o respaldado por la Universidad de Pinar del Río, por tanto los resultados en cuestión son propiedad del autor y de la Universidad, respectivamente y sólo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

Autor Ing. Germán Padilla Torres

SINTESIS

Las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** representan el 6,7% de la superficie total de bosques artificiales de la provincia de Pinar del Río. El trabajo que a continuación se presenta pretende establecer las características de crecimiento, potencialidad productiva y normas para el manejo silvícola y económico de dichas plantaciones en la provincia mas occidental del país. Se emplearon técnicas estadísticas apropiadas y los medios de computación disponibles para definir los modelos matemáticos de predicción de las principales características dendrométricas y dasométricas de las plantaciones, utilizando la información adquirida a partir del levantamiento de parcelas de prueba temporales y la tala y medición de árboles tipos. Se presenta un modelo de simulación del crecimiento y rendimiento de las plantaciones con el cual se evalúan diferentes alternativas de manejo silvícola. Los resultados fundamentales obtenidos fueron las tablas para la determinación de la calidad de sitio, la ecuación logarítmica como la mas precisa para el calculo del volumen, la determinación del coeficiente mórfico para la especie, las fórmulas para el cálculo de volumen total y por surtido comerciales, se define el índice de densidad óptimo, se recomiendan los marcos de plantación mas apropiados y se presentan las tablas de producción de las plantaciones, las que incluyen los regímenes de aclareos propuestos, precisándose las edades de cortabilidad para los criterios volumétricos, técnicos y financieros.

Agradecimientos.

Al concluir este trabajo y estar muy próximo a la presentación final del mismo me siento en la obligación de reconocer el esfuerzo y tiempo que hacia mi han dedicado otros especialistas conocedores de estos temas de investigación y formas de elaboración de trabajos con este rigor científico, por eso quiero expresar en general mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la materialización final de este empeño en particular a: Ing. Iliá García Corona, Dr. Fernando Andrade Egas, Dr Pedro Álvarez Olivera, Dr. Eduardo González Izquierdo, Dra. Enna Maritza Hernández, Dr. Angel Notario de la Torre, Dr. Pastor Amador Mojena, Dr. Fidel Cándano Acosta, Dra. María Amparo León, Lic. Francisco Novales, Ms.C. Ignacio Ezteben, Ms.C. Pedro Castañeda, Ing. Marcos Pedro Ramos de la Universidad de Pinar del Río; Ing. Humberto Gra Ríos, ing. Juan Miguel Montalvo, Dr. Juan Manuel García, Dr Enrique del Risco, del Istituto de Investigaciones Forestales; Ing. Gregorio Vegas del grupo Agroindustrial Forestal, Ing. Pedro Jesús Ramirez Lara e Ing. Reynaldo García del Servicio Estatal Forestal en la provincia; Dr.C. José Padilla Álvarez por su ayuda metodológica para la escritura de la tesis. Quiero agradecer por la ayuda prestada en los momentos iniciales de este trabajo al Dr. Alberto Peñalver Romeo. Reconocimiento especial debo a los estudiantes de ingeniería Forestal que participaron en la realización de esta investigación, son ellos: Yaline soto Reyes, Raciél Selva, Liván Montero, Juan C. Vigil, Maricelys Zaldivar, Aymara Peraza, Milaidis Almaguer, Homero Lara, Segundo Corps, Roberto Ibarra, Edelba Hernández, Daymel Valdés, Alberto Ramos, Ersilia Rodríguez, Reyde Desdín y Dayamí Casañas. De manera especial quiero distinguir al Dr. Edilio Aldana Pereira asesor de este trabajo por el tiempo dedicado para la revisión del mismo y por las sugerencias y recomendaciones hechas lo cual ayudó a mejorar tanto metodológica como técnicamente el contenido de la tesis.

No quiero concluir sin antes destacar la valiosa ayuda prestada por los estudiantes Miguel A. Gutierrez y Eliseu Benante de cuarto y quinto año de la carrera de Forestal en los trabajos de computación.

Dedicatoria.

- A mis hijos Osmel, Oberlandy y Odelyn.
- A mis padres y hermanos.
- A mi esposa.
- A la Revolución Cubana.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. INVESTIGACIONES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES.	
SITUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.....	6
1.1 Especies más utilizadas en las buenas prácticas forestales.....	6
1.2 Caracterización de los índices dasométricos de los árboles y masas forestales de la formación de pinares.	8
1.3. Plantaciones. Ventajas y Desventajas.	10
1.4. Diámetros.	11
1.4.1. Distribución diamétrica de las plantaciones.	12
1.4.2. Área basimétrica o área basal.	14
1.4.3. Grosor de corteza.	15
1.5. Mediciones de altura.	16
1.6. Forma del árbol.	17
1.7. Estimación del volumen.	17
1.8. Densidad de rodales.	21
1.9. Calidad de sitio.	25
1.10. Tablas de producción.	29
Capítulo 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DASOMÉTRICOS DEL <i>Pinus tropicalis</i> Morelet.	32
2.1. Condiciones experimentales.	32
2.1.1. Objeto de estudio.	32
2.1.2. Clima.	33
2.1.3. Suelos.	34
2.2. Procedimiento de muestreo empleado para la toma de la información.	34
2.3. Distribución de frecuencia diamétrica.	37
2.4. Determinación del índice de sitio.	39

2.5. Valoración de diferentes modelos matemáticos para el cálculo volumétrico.	42
2.5.1. Modelos matemáticos.	44
2.6. Determinación del coeficiente mórfico o factor de reducción.	45
2.7. Surtido de madera.	45
2.8. Tabla de densidad.	48
2.9. Tablas de producción.	49
Capítulo 3. TABLAS DASOMÉTRICAS BASADAS EN EL ANÁLISIS DE DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS.....	51
3.1. Índices dasométricos de las plantaciones estudiadas.	52
3.2. Parámetros estadísticos obtenidos a partir de la distribución de frecuencia.	54
3.3. Tablas de índices de sitio para plantaciones de <i>Pinus tropicalis</i> Morelet.	57
3.4. Confección de tablas de volúmenes.	61
3.5. Coeficiente mórfico o factor de reducción.	65
3.6. Tabla de surtido.	66
3.7. Tablas de densidad y de producción de madera.	68
3.7.1. Tabla de densidades.	68
3.7.2. Tablas de producción.	70
3.8. Validación del modelo.	73
3.9. Aplicación práctica de las tablas.	74
3.10. Fijación del turno.	76
3.11. Valoración económica.	77
CONCLUSIONES.	81
RECOMENDACIONES.	83
BIBLIOGRAFÍA.	84
ANEXOS.	
TABLAS Y FIGURAS.	

INTRODUCCION

El ignorar la legislación vigente en épocas coloniales y de la pseudorepública trajo como consecuencia la disminución del área del territorio nacional cubierta de bosques, de 50% a inicios de siglo, a solo 13,4% en 1959

Las leyes emitidas por la Revolución y las implicaciones que traían sus violaciones, dieron vida jurídica a lo señalado por Castro (1953), en “La Historia me Absolverá”, cuando al proyectar el programa agrario de la Revolución en el poder expresaba:

“PLANTANDO ENORMES VIVEROS Y RESERVANDO ZONAS PARA LA REPOBLACION FORESTAL”

Esta clara y definida política para el desarrollo forestal y conservación de los recursos existentes priorizada por el Segundo Secretario del Comité Central del Partido Comunista de Cuba y Ministro de las FAR, el compañero Raúl Castro, se ha materializado mediante un fuerte programa inversionista, destinado al fomento forestal, desarrollo de infraestructura para la extracción y aprovechamiento, construcción de comunidades, mejoramiento de las condiciones de vida y de trabajo de los obreros y campesinos, y la preparación de una fuerza técnica especializada, lo cual ha permitido que el área de bosque alcance 21% del área total del país con mas de 450 000 hectáreas de plantaciones establecidas.

Las plantaciones forestales en el mundo corresponden aproximadamente al 3% de las superficies arboladas actuales pero contribuyen a la producción mundial de madera en una proporción muy superior. En algunos países tropicales, las plantaciones son la principal fuente de productos madereros y en otros se consideran incluso como fuente de suministro de madera alternativas al bosque natural, al que protegen, así, de la sobreexplotación. Se establecen también plantaciones para proporcionar abrigo al ganado y para impedir la erosión eólica e hídrica, así como para obtener un conjunto de productos forestales no madereros. Recientemente, se ha propuesto la creación de plantaciones

para que absorban dióxido de carbono, con la finalidad de reducir el recalentamiento de la tierra producido por el efecto de invernadero.

Una de las recomendaciones del X Congreso Forestal Mundial resumía así los objetivos de las plantaciones: “Un aumento importante de la superficie forestal plantada resulta ser una necesidad absoluta para satisfacer una demanda creciente de productos leñosos, con objeto de limitar la presión sobre los ecosistemas forestales naturales y para fijar el gas carbónico.”

Los estudios de crecimiento y rendimiento de los bosques cobran hoy gran actualidad para el cumplimiento del Programa del Partido Comunista de Cuba (PCC, 1987), documento rector de la política de desarrollo económico y social de la nación, el cual orienta que el sector agropecuario basará fundamentalmente su expansión en el aumento de los rendimientos y la aplicación masiva del progreso científico, particulariza que el crecimiento de la economía forestal se dirigirá hacia el desarrollo de la industria de elaboración de la madera y sus derivados.

Posteriormente en la Resolución Económica del Partido emanada del V Congreso (PCC, 1997) se plantea que:

“La reforestación del país, que tiene entre sus objetivos incluir una proporción de frutales, deberá lograrse con un incremento en la calidad del trabajo que posibilite altos índices de supervivencia de las posturas plantadas y mediante la atención y preservación del bosque, constituirse en fuente para la sustitución de importaciones, de aporte financiero al país y elemento importante para la protección del medio ambiente.”

Actualmente se trabaja sobre la base de un programa de desarrollo forestal hasta el año 2015, el cual se sustenta en la gestión de las entidades económicas y estima alcanzar 27% del área cubierta de bosques, modernizar y desarrollar su industria, incrementar el nivel de elaboración de los productos forestales y diversificar su uso para aumentar el valor agregado.

La recién aprobada Ley Forestal permitirá continuar avanzando en los objetivos propuestos, haciendo que Cuba, a diferencia de otros países en vías de desarrollo, que pierden cada año áreas considerables de sus

bosques, aumente los mismos con un nivel de reforestación adecuado a nuestras necesidades y perspectivas.

Todas las operaciones de explotación disminuirán la masa futura en mayor o menor grado. Una tasa de explotación demasiado severa traerá como consecuencia final la liquidación del recurso forestal, una tasa muy ligera puede privar a la comunidad de recursos inmediatos y reducir el potencial del crecimiento futuro del bosque. Solamente podrán tomarse decisiones nacionales sobre intensidad y épocas de clareos y explotaciones, si la respuesta de los bosques a estas operaciones puede cuantificarse. Los estudios de crecimiento y rendimiento son los medios utilizados para lograr este fin.

La silvicultura de una especie puede determinar el tipo de modelo a utilizar para predecir su crecimiento y puede suministrar una base lógica para agrupar especies en bosques complejos. Los aspectos silviculturales más resaltantes de una especie sugerirán relaciones que deben ser inducidas en un modelo cuantitativo, si se desea que dicho modelo sea efectivo.

Un modelo cuantitativo que contenga relaciones adecuadas puede ser usado para probar hipótesis silviculturales y para sugerir diseños experimentales y tratamientos que probablemente suministrarán resultados útiles.

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 monte. Esto unido a su creciente utilización como medio de esparcimiento y al importante papel protector que la cubierta vegetal tiene contra la erosión y para la conservación de ecosistemas, requieren del desarrollo de normas precisas de actuación y de instrumentos técnicos que faciliten la gestión de estos recursos, y que al mismo tiempo optimicen su uso y aprovechamiento integral.

Al elaborar en el presente trabajo las Tablas Dasométricas para evaluar el crecimiento y rendimiento de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** Morelet en la provincia de Pinar del Río se facilita estimar con mayor exactitud el crecimiento y rendimiento de estas plantaciones si se utilizan los modelos matemáticos de mejor ajuste para la confección de dichas tablas. Sin lugar a duda la necesidad

de lograr una mayor exactitud en el cálculo del volumen de madera y predicción o estimación del crecimiento y rendimiento de las plantaciones de esta especie para lo cual es preciso contar con tablas dasométricas es la causa motivadora de esta rigurosa investigación.

Los pinares juegan un papel muy importante en la economía forestal y nacional de Cuba debido al uso universal de los mismos. La importancia está subrayada mucho más aún por su crecimiento relativamente rápido y por un por ciento elevado de su utilización debido al fuste recto (Samek, 1967).

Durante muchos decenios se llevó a cabo en nuestro país una explotación incesante e irracional de los pinares, ya que la única preocupación era obtener un rendimiento y una rentabilidad máxima sin mirar al futuro de estos bosques.

La destrucción de los pinares llegó tan lejos que hoy quedan muy pocos rodales densos y masivos, con espesura adecuada y con árboles de diámetro y altura aptos para la explotación. Pinares accesibles fueron explotados casi totalmente dando lugar a que la masa arbórea descendiera a un nivel muy por debajo del incremento potencial. Aún en la época de la pseudorepública los rodales de una masa arbórea de 300 m³/ha, e incluso de 500 m³/ha y más no eran ciertamente excepciones en pinares naturales sino mas bien un promedio normal, ya que Smith (1954) citado por Samek, 1967 pudo contar hasta 760 m³/ha.

En Cuba hay dos centros de pinares a saber, Cuba oriental y Cuba occidental, pero es muy probable que también en Cuba central, en el tiempo de la conquista, existieran algunos cayos de pinares en las provincias de la Habana y Las Villas.

Los pinos de Cuba occidental, pino macho y pino hembra, son bien distintos, sin embargo, los pinos de Cuba oriental ofrecen muchas dificultades para diferenciarlos. La distribución geográfica del ***Pinus tropicalis*** Morelet objeto del presente estudio está limitado sólo a Cuba occidental, específicamente a la provincia de Pinar del Río e Isla de la Juventud (Samek, 1967; Varona, 1982). Esta especie recibe en Cuba el nombre vulgar de pino hembra.

La provincia de Pinar del Río cuenta en la actualidad con una superficie de bosque artificial de ***Pinus tropicalis*** que asciende a más de 6 900 ha, cifra que no refleja una correcta selección de los sitios forestales para las distintas especies usadas en los planes de reforestación si se considera la calidad de

los suelos dedicados a este fin. Esto se puede reafirmar si se conoce que de la superficie de bosque natural existente en la provincia, aproximadamente 45 000 ha, se estima que más de 30 000 pertenecen a ***Pinus tropicalis*** (Vega, 1998).

Esta especie, además de tener una importancia significativa por ser endémica de esta zona, es también la que con mayor facilidad se desarrolla en los suelos peores en elementos nutritivos y reservas de humedad, de ahí su valor para la economía de la provincia, sin embargo, las características de su crecimiento potencial productivo y normas para su manejo no han sido claramente definidas sobre bases científicamente argumentadas, razón por la cual este trabajo constituye el primer intento de dar respuesta a las cuestiones señaladas y tiene como objetivos específicos los siguientes:

1. Diferenciar las áreas de plantación según su productividad.
2. Establecer las diferencias estructurales de los rodales.
3. Elaborar un modelo de simulación del crecimiento y predicción del rendimiento para estas plantaciones.
4. Recomendar las alternativas de manejo silvícola más económicas o socialmente útiles.

Problema : Necesidad de lograr una mayor exactitud para el cálculo del volumen de madera y predicción o estimación del crecimiento y rendimiento en las plantaciones de *Pinus tropicalis* para lo cual es preciso contar con tablas dasométricas para la especie

Objeto: Ordenación de las plantaciones de *Pinus tropicalis* a partir de las características dasométricas.

Objetivo general: Elaborar una propuesta de tablas dasométricas para evaluar con mayor exactitud el crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet de modo tal que nos permita un aprovechamiento racional de este recurso forestal, garantizando la conservación del medio ambiente, la protección de los suelos y la satisfacción de la demanda de madera según sea posible.

Hipótesis: Es posible estimar con mayor exactitud el crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Pinus tropicalis* si se cumplen las siguientes condiciones:

- _ Emplear técnicas matemáticas de ajuste de curva de índice de sitio usando la ecuación de Shumacher.
- _ Emplear el modelo matemático de función logarítmica para la construcción de tablas de volumen.
- _ Determinar el coeficiente mórfico o factor de forma para el cálculo del volumen de árboles en pie.
- _ Determinar los posibles surtidos a obtener usando la ecuación del perfil del fuste para tres variables independientes.
- _ Elaborar la tabla de densidad para favorecer con los tratamientos el número óptimo de árboles por superficie.
- _ Utilizar un modelo de crecimiento y rendimiento que facilite una tabla de producción óptima para el logro de la sostenibilidad y mayor rendimiento de madera.

CAPÍTULO 1

INVESTIGACIONES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES. SITUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL *Pinus tropicalis*

Según los cálculos realizados en 1980, las plantaciones forestales de todo el mundo ocupaban 100 millones de hectáreas, de los cuales unos 35 millones se encontraban en los países en desarrollo; 10 millones de hectáreas aproximadamente correspondían a los países tropicales; que dedicaban al establecimiento de nuevas plantaciones 1.1 millones de hectáreas anuales (Lanly, 1982; FAO, 1988). Si bien es cierto que esta tasa de forestación y repoblación forestal era mucho más reducida que las de las zonas subtropicales y templadas, es probable que aumente, pues muchos países intentan compensar la pérdida de bosques naturales. Dado el elevado rendimiento potencial de las plantaciones de los trópicos (y subtrópicos), su contribución a la producción de madera debe ser aproximadamente mucho mayor que su superficie. Alrededor del 40% de las plantaciones ya existentes o que están proyectadas se han establecido para la producción de leña y para otros fines no industriales (Lanly, 1982), pero el resto se dedica a la producción de madera en rollo industrial. Este último tipo de plantaciones son sencillas tanto por lo que respecta a su estructura como a la composición de especies; se ha señalado (Evans, 1982), que determinadas especies arbóreas colonizadoras como diversas especies de eucaliptos, el pino y la teca ocupan el 85 por ciento de la superficie de las plantaciones forestales de los trópicos

1. 1 Especies más utilizadas en las buenas prácticas forestales.

Una evaluación reciente de las plantaciones forestales monoespecíficas en los trópicos muestra que las especies que se plantan con más frecuencia son el eucalipto, el pino, la teca y la acacia. En Africa y en la América Latina Tropical, el *Eucalyptus* spp y el pino ocupan aproximadamente el 50 y el 80 %, respectivamente de las superficies de las plantaciones, mientras que en Asia tropical hay un número mayor de especies y el eucalipto, la teca y las diferentes acacias ocupan el 32% de las plantaciones (Pandey, 1992 citado por Wormald, 1995).

En las plantaciones industriales no son habituales las mezclas en el sentido restringido, que supone plantar más de una especie en un tramo. En el sentido amplio, de establecer diferentes especies en tramos contiguos, los datos

publicados hacen posible decir hasta que punto se practica la mezcla de especies. En Nueva Zelanda, ***Pinus radiata*** ocupa el 85% de la superficie de las plantaciones forestales (Burdon, 1982 citado por Wormald, 1995), lo cual supone que en dicho país apenas se llevan a cabo las mezclas de especies: El porcentaje de ***Pinus radiata*** es aún más elevado en algunos estados de Australia. (Fergusson, 1983 citado por Wormald, 1995).

Frecuentemente, el objetivo que se persigue al establecer plantaciones para obtener un beneficio comercial es aprovechar la elevada tasa de crecimiento en las primeras fases de la sucesión. En los trópicos y subtrópicos, los incrementos que se consiguen en las plantaciones son de 3 a 7 veces mayores, respecto a las especies comercializables, que en las últimas fases de la sucesión en el bosque natural (Evans, 1990), aunque ello se debe a la selección y mejoramiento genético, o la escasa distancia entre los árboles y a la ordenación, así como a la elevada tasa de crecimiento inicial. En las plantaciones forestales comerciales el objetivo es mantener el ecosistema en una situación de inestabilidad controlada, siempre en una fase determinada de la sucesión, pero la experiencia muestra que, por lo general, para mantener un rendimiento sostenible, hay que recurrir al uso de algunos insumos artificiales, como fertilizantes, insecticidas, fungicidas, etcétera, y que exista una buena práctica forestal. Ahora bien, si el objetivo es la protección del sitio sin consideraciones de beneficio comercial, el ecosistema preferido es aquel que pueda facilitar dicha función.

Cuanto más corto es el turno, más se aproxima la situación a la de un cultivo agrícola, más importancia tiene la fertilidad del suelo (Lundgren, 1980 citado por Wormald, 1995) y con mayor probabilidad será necesario utilizar fertilizantes.

La composición de especies de una masa natural o artificial influye de forma importante sobre la estación, en particular sobre las propiedades del suelo. Una plantación monoespecífica puede modificar la situación de los nutrientes o las propiedades físicas que tenía el suelo en su condición original en el bosque natural. Dicha alteración puede reducir tanto la productividad efectiva como la potencial de la estación, así como la composición del piso inferior o sotobosque. Por otra parte la plantación de una especie única puede tener un efecto positivo si el lugar en el que se establece carece de cubierta vegetal. Por

consiguiente si se producen cambios en las características de la estación, variarán el crecimiento y el rendimiento en la segunda generación y en las generaciones subsiguientes, aunque dichos cambios podrían ser consecuencia de la aplicación de prácticas de ordenación diferentes o de la utilización de semillas distintas, así como la alteración de la composición de especies o de la utilización de una especie única.

1.2 Caracterización de los índices dasométricos de los árboles y masas forestales de la formación de pinares.

Durante muchos decenios se llevó a cabo en Cuba una explotación incesante e irracional de los pinares, ya que la única preocupación al extraer los pinos fue la de obtener un rendimiento y una rentabilidad máxima sin mirar al futuro de estos bosques.

La explotación irracional y otros tratamientos inadecuados como pastoreos, fuegos repetidos, erosión, etcétera, causaron y aún causan una disminución del incremento de los pinos, y además, una perturbación de las otras funciones útiles de los bosques, a saber, su función contraerosiva, hidrológica, etc.

Según Matos (1963 citado por Samek, 1967), como resultado del inventario pueden existir unas 300 000 hectáreas de tierras propias para pinares, pero arboladas solo unas 130 000 hectáreas en todo el país. Claro que gran parte de tierras propias para pinares hay que repoblarla lo más pronto posible.

El pino hembra es un árbol de unos 25 metros de altura y de hasta 50 y más centímetros de diámetro. Sus ramas crecen en verticilos más o menos regulares, sobre todo en los individuos jóvenes, las hojas (agujas) en fascículos comúnmente de a dos, de 20 a 30 centímetros de largo. El crecimiento del pino hembra en los primeros años de su vida es lento, creciendo más en su parte subterránea, es decir, en el sistema radical. Después crece unos años normalmente, más o menos 50 o más centímetros por año. En estado de brinzales algunos individuos producen un internodio de 2 - 3 o más metros sin ramas, lo que a veces puede hacer en dos (raramente más) años. Esos tipos de pinos son muy convenientes ya que producen un fuste sin nudos que es más valioso que el fuste con nudos y hay que conservarlos en las limpiezas, los aclareos y todos los tratamientos silviculturales.

El pino hembra crece en suelos pobres y secos, lo que no quiere decir que necesite ese tipo de suelo, sino más bien que en suelos más ricos y húmedos

la competencia de otras plantas arbóreas es tan fuerte que no permite el desarrollo del pino hembra

El pino hembra, en general crece en dos tipos de suelos, a saber, en las areniscas y cuarcitas (pizarras) de la formación San Cayetano y en las arenas de las sabanas, faltando en suelos lateríticos. Como todos los pinos, el pino hembra es una especie heliófila es decir, un árbol que exige bastante luz para su desarrollo, al parecer más que las otras especies de pino cubano y esto desde los primeros días de su vida.

Topografía y Suelos

El pino hembra crece casi desde el nivel del mar hasta 350 metros (Matos, 1963 citado por Samek, 1967). En las Alturas de Pizarras (formación San Cayetano) los suelos son derivados de la descomposición de cuarcitas, areniscas y esquistos. Son más profundos y fértiles en la base de las colinas y en ellos predomina ***Pinus caribaea***; en las laderas y cimas de las elevaciones de la región, donde los suelos son más pobres, la especie predominante es ***Pinus tropicalis***.

Los suelos de la llanura del sur de Pinar del Río son arenosos. De Sábalo hacia occidente existen las llamadas arenas blancas, constituidas por tierras cuarcíticas muy ácidas.

En Isla de la Juventud los suelos donde crecen los pinares son de los tipos antes mencionados. Según las clasificaciones genéticas, se clasifican como: arenosos cuarcíticos, ferralíticos rojos lixiviados (típicos) y ferralíticos cuarcíticos amarillos lixiviados.

Árboles.

En masa con densidad normal, las copas de los árboles son cónicas, con ramas más bien finas, comúnmente formando verticilos. En el caso de que los árboles crezcan aislados, pueden tener las copas algo redondeadas, cuando viejos. La corteza es rugosa y un tanto fisurada. Los árboles de esta especie según Betancourt, (1983) pueden medir hasta 30 metros de altura y 50 centímetro de diámetro.

Cultivo de plantaciones

Las plantas de pino hembra, como los demás pinos, deben estar libres de la competencia de la vegetación indeseable, durante sus primeros años de vida.

Es necesario mantener limpio un círculo junto a cada arbolito, de por lo menos 80 centímetro de diámetro.

Samek et al. (1969, citado por Betancourt, 1983), al investigar la causa de la mortalidad de las plantaciones de pino en las repoblaciones efectuadas en la región de las cañas (Macurijes), provincia de Pinar del Río llegaron a la conclusión de que la causa esencial de las fallas (o por lo menos de una parte de las mismas) es la competencia de la vegetación.

1.3. Plantaciones. Ventajas y desventajas.

Las plantaciones son una de las principales formas de repoblación artificial.

Ventajas

- Las plantaciones pueden realizarse sin reparos en cuanto a la composición del piso arbóreo, lo que es importante sobre todo en rodales cuya composición se pretende cambiar.
- Se puede planificar con precisión la fecha, el lugar y el volumen de las plantaciones.
- Las plantaciones son siempre fáciles de controlar lo que hace posible organizar mejor las mismas y los consiguientes tratamientos silviculturales.

Desventajas.

- Las plantaciones artificiales resultan casi siempre más costosas que la regeneración natural.
 - Por la introducción de tipos (razas, ecotipos) desconocidos, aumenta el peligro de pérdidas directas e indirectas, así como también el peligro de la introducción de diferentes plagas, enfermedades, etc.
 - En lugares muy susceptibles a la erosión aumenta el peligro de la misma, ya que en las plantaciones artificiales siempre hay que abrir el suelo, lo que puede ser nueva fuente de erosión.
- ¿Dónde y cuándo se prefieren las plantaciones ?
- Siempre donde no sea posible realizar por cualquier motivo la regeneración natural.

- Donde se pretende cambiar la composición de los montes, por ejemplo, transformar montes latifolios en montes de pinos, o donde no hayan bosques.
- En rodales fenotípicamente muy malos.
- En rodales donde no es adecuado presuponer la regeneración natural.

1.4 Diámetros.

El diámetro de un árbol en pie se mide a 1.30 metros por encima del nivel del suelo. La superficie de la sección correspondiente a este nivel se llama sección normal del árbol.

Uno de los índices dasométricos de los rodales es el diámetro medio, pudiéndose determinar por estimación ocular o por forcipulación total, siendo este último el método más preciso, pero que requiere de determinados recursos y tiempo. Tiurin (1945, citado por Anuchin, 1970 y por Báez, 1988) asevera que el diámetro mayor tiene un valor relativo 1.7 veces el del diámetro medio del rodal. Gra et al. (1992) demostraron muy en correspondencia con lo planteado por Tiurin que para *Pinus caribaea* el valor relativo del diámetro mayor con relación al diámetro medio del rodal es 1.5 veces y el diámetro relativo mínimo 0.53.

El diámetro es el parámetro cuantitativo más importantes de los árboles, por dos motivos fundamentales:

- Puede ser medido en forma directa y por lo tanto se pueden obtener datos precisos.
- Basado en él, se pueden obtener por relación, dos de los parámetros más importantes del árbol (Malleux, 1982 y Gra et al. 1992).

No hay un método simple para estimar exactamente la superficie de la sección si el tronco no ha sido cortado al nivel considerado; si se puede disponer de una rebanada diametral de madera, es por el contrario relativamente fácil obtener su superficie (Pardé y Bouchon, 1987).

La medida de la proyección horizontal de una copa es interesante, especialmente cuando se busca caracterizar los efectos de una clara, el desarrollo de la copa está bastante estrechamente unido al crecimiento en diámetro del tronco (Stephan, 1980)

Cuando se quiere realizar investigaciones para determinar la forma en árboles en pie, tienen que medirse los diámetros a diferentes alturas, los cuales para la

forcipulación, sólo son accesibles con el auxilio de una escalera. En este caso es recomendable valerse del procedimiento de la medición óptica del diámetro. Con cualquier teodolito también puede medirse el ángulo en el que aparecen las líneas límites del fuste desde un determinado punto. Con el ángulo y la distancia puede calcularse el diámetro buscado (Wenk, 1965 citado por Aldana et al., 1994).

1.4.1 Distribución diamétrica de las plantaciones.

Las distribuciones de frecuencias del diámetro mediante alguna función de densidad probabilística conocida y su ajuste matemático han sido sin duda uno de los principales objetivos de la investigación dasonómica en este campo. De Licourt (1898 citado. por Hafley y Schreuder, 1977 y por Peñalver, 1991) aplica la distribución exponencial a rodales disetáneos, estudios efectuados por Gingrich (1967 citado por Husch et al., 1982 y por Peñalver, 1991) ha demostrado que la distribución de frecuencias del diámetro de rodales coetáneos puede ser ajustada por la distribución normal, utilizada por Stephan (1980) y Stephan y Betancourt (1983 citado por Báez 1988) en ***Pinus caribaea*** y ***Pinus tropicalis*** en Cuba respectivamente. Assmann y Prodan (1961 citado por Hafley y Schreuder, 1977; Anuchin, 1970 y Peñalver, 1991) plantean que las distribuciones diamétricas son generalmente asimétricas.

Varias han sido las funciones de densidad utilizadas para modelar la distribución de frecuencias del diámetro, las más utilizadas han sido:

La función exponencial (De Licourt, 1898); la función Beta (Euler, 1768), propuesta por Loetsch, Zohrer y Haller (1973), para el ajuste de cualquier forma de distribución de diámetros, la cual ha sido utilizada en la construcción del modelo de simulación del crecimiento de los rodales de ***Eucalyptus globulos*** (Goodwing y Candy, 1986); la distribución Weibull introducida en la dasonomía por Bailey y Dell (1973, citado por Little, 1983), ha sido ampliamente utilizada, dada su habilidad para representar variedad de formas y grados de simetría, en la simulación de rodales tanto mixto como disetáneos, este modelo ha sido aplicado para la distribución del diámetro Bailey (1974), Gingrich (1967), citado por Husch, Beers y Miller, (1982) han demostrado que la distribución de frecuencias del diámetro de rodales coetáneos puede ser ajustada por la distribución normal. Tynn, citado por Anuchin (1970) incluye que la distribución de árboles en clases diamétricas es independiente de la especie, de la calidad

de sitio, de la densidad y que solo manifiesta cierta dependencia de la edad y cortas intermedias realizadas, similares conclusiones son dadas por Husch, Beers y Miller (1982).

Uno de los ejemplos más importantes de una distribución de probabilidad continua es la distribución normal, distribución de la curva normal o distribución de Gauss. El método utilizado en general consiste en emplear la media y la desviación standard de la muestra para estimar la media y la desviación de la población.

A fin de probar la bondad del ajuste de las distribuciones teóricas, se hace uso de la prueba de ji- cuadrado (χ^2).

Esta prueba o distribución fue formulada alrededor de 1900 por Karl Pearson, uno de los más iminentes estadísticos, a quien se debe gran cantidad de resultados de importancia crucial en la teoría estadística. La distribución χ^2 tiene una gran cantidad de aplicaciones en la estadística, entre ellas juega un papel importante su aplicación a la distribución de la varianza muestral. La distribución χ^2 guarda una estrecha relación con la distribución normal, hasta el punto que puede definirse a partir de esta distribución.

En diferentes ocasiones se ha hablado de la importancia que tiene dentro de la Estadística la distribución normal. Sin peligro de exagerar puede afirmarse que esta disciplina se ha desarrollado casi totalmente (al menos hasta hace pocos años), alrededor de ella. (Gómez, 1998)

Razones importantes han contribuido a que la normal sea tan vital en la teoría y la práctica de la Estadística. Entre ellas según Gómez (1998) se pueden citar las siguientes.

- a- La curva normal y su integral reúnen muchas ventajas de tipo matemático y analítico.
- b- Son bastantes los fenómenos que se comportan siguiendo la curva normal o aproximándose a ella suficientemente
- c- Las técnicas basadas en la curva normal se pueden aplicar a las curvas unimodales, aunque no sean normales y los resultados son bastantes satisfactorios.
- d- Muchas variables que tienen distribuciones marcadamente asimétricas pueden convertirse en normales o en curvas aproximadamente normales utilizando una transformación adecuada.

e- La media muestral que varía de una muestra a otra se distribuye en forma normal o aproximadamente normal.

En Cuba Peñalver (1989), realiza una investigación de distribución de frecuencias del diámetro en plantaciones de ***Eucalyptus spp*** en la provincia de Pinar del Río, obteniéndose como resultado que la distribución de frecuencias diamétricas de estas plantaciones siguen una distribución normal o al menos esta hipótesis no se puede rechazar sobre la base de las muestras analizadas. Por otra parte Gra et al. (1992), realizaron similares investigaciones, pero en plantaciones de ***Pinus caribaea*** y la distribución de frecuencia se ajusta a la normal, obteniéndose parámetros semejantes a los encontrados en las plantaciones de ***Eucalyptus spp***.

1.4.2 Área basimétrica o área basal.

Se denomina área basal de un rodal a la suma de las áreas de la sección transversal de todos los árboles del rodal medidos a la altura de 1.30 metros sobre el nivel del suelo. Se expresa en metros cuadrados por hectárea.

El área basal de un árbol o de un rodal es un componente importante para el cálculo del volumen y la densidad. El área basal es un indicador dasométrico importante para definir el estado y la capacidad de rendimiento de un rodal. El error porcentual del área basal es el doble del error porcentual en diámetro.

Como las secciones transversales del fuste no son exactamente circulares, entra un error de desviación del área basal circular. Este error es siempre positivo por dos motivos, falta de precisión y menor área del círculo con relación a las demás figuras geométricas (Marten, 1965, citado por Aldana et al., 1994).

1.4.3 Grosor de corteza.

La corteza es prácticamente, para el maderero, un desperdicio que no interesa. Es, pues, necesario, saber, cada vez, qué porcentaje de corteza deberá ser descontado posteriormente del volumen de la troza con corteza.

Cuando se quiere una información precisa, conviene emplear, para cada troza, o para un cierto número de trozas que sirvan de muestra, un instrumento especial, que permita apreciar exactamente, en la medida de una determinada circunferencia con corteza, el espesor de la corteza (Pardé y Bouchon, 1994)

La importancia de este proceso está dada por las cuestiones fundamentales; en primer lugar, la necesidad de conocer la cantidad de madera limpia que se envía al aserradero, pues como se sabe, son muchas las especies forestales que poseen corteza gruesa, lo que produce altos porcentajes de pérdida en la madera. En segundo lugar la corteza de diversas especies maderables es productora de diversas sustancias como: tanino, resinas, esencias, aceites, gomas, etcétera, que tienen una gran importancia para la industria (González, 1981).

El conocimiento del volumen sin corteza es una necesidad cuando éste es el volumen utilizable que se desea conocer, pues la corteza en general no se utiliza. La proporción del volumen de la corteza al volumen sobre corteza varía desde porcentajes muy pequeños aproximadamente el 20 %, para la mayoría de las especies. Esta proporción es tanto más importante si el árbol es joven, si la altitud aumenta y de manera general si las condiciones de crecimiento son más difíciles (Cailliez, 1980).

1.5 Mediciones de altura.

La altura total de un árbol es la longitud de la línea recta que une el pie del árbol con la extremidad de la yema terminal del tallo. Para árboles ramificados, existe una altura total si la ramificación ocurre sobre 1.30 metros y tantas alturas totales como ramificaciones, si esta aparece antes de 1.30 metros.

De manera similar que para los volúmenes, se definen las alturas de ciertas secciones: la altura de madera maciza (big wood), será la longitud de la línea que conecta el pie del árbol con la sección del tallo de 7 centímetros de diámetro.

Las mediciones de altura son más laboriosas y delicadas que las mediciones de diámetro. A veces son imposibles de medir (falta de visibilidad).

La altura de los árboles en pie puede medirse directamente cuando se requiere exactitud o indirectamente auxiliándose de instrumentos denominados hipsómetros y/o relaciones hipsométricas altura/diámetro.

La altura es una variable que sirve para estimar el volumen y el crecimiento del árbol aislado y los rodales, así como para la clasificación de los índices de sitio. La altura media es para una masa una característica de primera importancia.

Se deseará, pues, que varíe de una manera continua en el tiempo, de la misma forma como evolucionan los árboles que han servido para definirla.

Por desgracia esto no es rigurosamente cierto: La altura media de una masa regular varía instantáneamente cuando se realiza una clara (Pardé y Bouchon, 1994)

Se define como altura dominante a la altura media de los árboles más grandes de una masa. Estos árboles están mucho menos unidos a las operaciones culturales, ya que las claras afectan muy poco a los árboles grandes que son la mayor parte del tiempo también los más gruesos y los mejores.

Sin duda el precursor que definió esta noción fue Weise (1880), semejantes criterios expresan, Paterson, (1955); Kramer, (1959); Prodan, (1965); citados por Pardé y Bouchon, (1994).

1.6 Forma del árbol.

El volumen comercial de un tronco atribuye al árbol el volumen de un cilindro de revolución que tiene por sección recta la sección a la mitad de su longitud. En realidad un árbol no tiene nunca una forma cilíndrica.

Según determinados casos es válido admitir que su forma se aproxima más o menos a uno de los siguientes sólidos geométricos: cilindro, paraboloide, cono y neiloide. No es fácil decir a que tipo dendrométrico se aproxima más un determinado árbol.

Larson (1963, citado por Pardé y Bouchon, 1994) resume que la forma de un árbol está relacionado con el desarrollo de la copa.

Si la altura de la copa es pequeña con relación a la altura del árbol, se tendrán árboles de forma muy regular (cilindro, paraboloide). Por el contrario si la copa está muy desarrollada, como en los árboles reserva del monte medio, se tendrán forma del fuste tendiendo hacia el cono.

Se admite de hecho que el árbol se aproxima al neiloide en su base, después en su parte media al paraboloide y finalmente en la cima al cono.

Como no siempre se dispone de un dendrómetro ni de una persona que lo maneje con destreza y por otro lado, la elaboración de tablas de volúmenes requiere también conocimientos especializados y cierta laboriosidad; se recomienda recurrir entonces, como una alternativa, cuando se quiera estimar en forma expedita, el volumen o existencia maderable de un pequeño bosque o

predio, al concepto de coeficiente mórfico que es la relación entre el volumen de un árbol y el volumen de un cilindro (Santillán, 1986; Loetsch, Zohrer y Haller, 1973; Aldana et al., 1994).

Dado el desarrollo alcanzado en la elaboración de tablas mediante el uso de ecuaciones de volumen, algunos autores han expresado la opinión de que la teoría de los factores de forma es una etapa pasada en la medición forestal y puede ser descartada en la práctica moderna (Anuchin, 1970).

1.7 Estimación del volumen.

Los métodos para la determinación del volumen de madera contenido en el tronco del árbol, parte donde se concentra la mayor cantidad de madera aprovechable, han sido objeto de estudio desde hace más de dos siglos (González 1981). Según Carron (1968); Cailliez (1980) y Aldana et al., (1994) estos métodos pueden clasificarse en dos grupos, los de medición directa y los de medición indirecta. Los primeros solo son posibles en árboles apeados, lo que constituye su principal restricción, siendo utilizados en la cubicación de madera en almacenes y en investigaciones.

Los métodos de medición indirecta comprenden los procedimientos que permiten estimar el volumen mediante el conocimiento de su relación con variables de más fácil medición como el diámetro y la altura, esta relación se conoce como tabla o tarifa de volumen y la misma es establecida gráfica y analíticamente (Carron, 1968; Loetsch, Zohrer y Haller, 1973; Cailliez, 1980; Husch, Miller y Beers, 1982); estos métodos son utilizados en la estimación del volumen de árboles en pie (Caballero, 1972). Se recomienda construir una tabla de volumen para cada especie y para cada región (Santillán, 1986). Los métodos utilizados universalmente para la elaboración de tablas de volumen son los analíticos, específicamente mediante las técnicas estadísticas de correlación y regresión, estos se emplean en:

- 1- La determinación analítica de la relación empírica entre el volumen de interés y las variables del árbol que serán medidas (ecuaciones de volumen).
- 2- El cálculo del volumen mediante el producto del volumen del cilindro de igual diámetro y altura y el coeficiente de forma del árbol cuyo volumen se desea estimar.
- 3- La integración de la función que describe la forma del perfil del fuste.

$$V = \int (a + bx + cx^2 + dx^3) * \pi / 4 * d_{1.3}^2 * H$$

Los procedimientos de construcción de las ecuaciones de volumen se hacen universalmente por el método de los mínimos cuadrados, mediante el análisis de regresión, el volumen individual de un árbol se obtiene por sustitución en la función de volumen de aquellas variables (diámetro y altura) que constituyen sus entradas y fueron medidas, clasificándose en tablas locales o de una entrada (volumen en función del diámetro) o en tablas regionales o de doble entrada (Volumen en función del diámetro y la altura).

Las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes de árboles en pie llevaron desde hace tiempo el desarrollo de metodología tendientes a estimar por medio de mediciones simples y directas los volúmenes que sustentan los árboles de una determinada masa o rodal (Caballero, 1972; Baez, 1988). En América aportaron valiosas contribuciones Bruce, Anderson, Schumacher y otros investigadores de importancia (Pardé y Bouchón, 1994)

El empleo de tarifas implica que árboles de la misma especie, mismo diámetro y altura, procedente de una misma estación, tienen también el mismo volumen, o al menos un volumen que se desvíe poco, en más o menos de una media que puede ser exactamente determinada. Esta hipótesis es admirable sobre todo cuando se trata de árboles de la misma edad.

Las tarifas de cubicación de una entrada tienen un carácter más local que las tarifas de dos entradas. Las tablas de una entrada son válidas para rodales con una estrecha correlación altura/diámetro. Si por el contrario no se exige una gran exactitud al usuario, será a menudo posible y siempre más sencillo preferir las primeras a las segundas, incluso en un marco regional bastante extenso.

En 1956 Abadie y Ayrál (citados por Pardé y Bouchon, 1987) pudieron demostrar que en masas homogéneas de pequeña superficie, algunas hectáreas como máximo, las tarifas de una entrada pueden ser bastante precisas; sin embargo en la mayor parte de los casos, estas tarifas son inútiles para cubicar con precisión. Las tarifas de una sola entrada son en resumen excelentes tarifas de empleo rápido y sencillo, que sirven simplemente, salvo caso particular, para la cubicación aproximada de masa, no de árboles.

En Cuba la primera tabla de volumen construida por procedimientos estadísticos matemáticos es la publicada por Burley et al., (1971) para el ***Pinus caribaea***, quienes determinaron como mejor modelo la Australiana de Stoate. (Loetsch, Zohrer y Haller, 1973).

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h.$$

Para esta especie se han presentado otros modelos, así tenemos que Lockow et al., (1982), Báez (1988) y Gra et al., (1990) utilizan la fórmula de Schumacher- Hall, ($\log V = a + b \log d_{1.3} + c \log h$.) para la estimación del volumen total de las especies estudiadas. En cambio Peñalver (1991), utilizó otro modelo aunque también de función logarítmica ($\log V = a + b \log d_{1.3}^2 h$), por ser éste el de mejor ajuste para las plantaciones de *Eucalyptus spp.*

Según Webster (1996) puede ser necesario experimentar con diferentes formas funcionales para determinar cual de ellas suministra el mejor ajuste. En la búsqueda del modelo óptimo se pueden comparar los modelos logarítmicos con los obtenidos por medios de funciones polinómicas. Esto es posible gracias a los ordenadores, pero los resultados de las comparaciones pueden presentar incoherencias. Un modelo puede dar un coeficiente de determinación más alto que otro pero si lleva consigo un error típico muy alto no será conveniente para predecir valores futuros de (y); si se quiere predecir se tendrá más éxito con el modelo que genere el menor error de predicción. Plantea dicho autor que la experimentación se debe reducir al mínimo. Considera discutible e incluso falta de ética, experimentar sin ton ni son con un modelo tras otro. Añade Webster que según la naturaleza del estudio se debe saber desde el principio que procedimiento seguir y concluye diciendo buscar a ciegas el mejor modelo viene a ser como disparar una flecha y después colocar el blanco con la diana en el punto donde aterrizó aquella.

Según Novales (1996), cuando un investigador se pregunta si su modelo de regresión simple es susceptible de ser mejorado, la respuesta sería siempre afirmativa, por cuanto casi en cualquier variable explicativa que se añadiera, incrementaría el estadístico r^2 , y un modelo con mayor r^2 debe considerarse en principio, superior a otro que tratando de explicar la misma variable dependiente tienen un coeficiente de determinación inferior.

El inicio de los trabajos de ordenación en el país a mediados de los años setenta aceleró la confección de tablas de volúmenes de diferentes especies que fueron la base para la realización del inventario forestal. Montaña y Eremeev (1977) elaboraron tablas de volumen por medio de los coeficientes móricos empíricos de las principales especies maderables de Cuba, que han sido aplicables directamente a rodales, basado en el desarrollo de la fórmula:

$$V = G(H+3)f.$$

Donde: G es el área basal, H es la altura y f es el coeficiente mórfico para la especie o grupo de especies.

Si un tronco es bisecado por un plano vertical, se obtendrá una figura sobre el plano limitada por una curva, cuya descripción analítica hace posible el cálculo del volumen (Mackay, 1961; Anuchin, 1970).

La introducción de la computación y los modernos métodos de análisis estadísticos, así como los cambios en la tecnología de explotación forestal dan la posibilidad de poner en práctica el método de los perfiles, ya que el excesivo gasto de tiempo en la realización de los cálculos constituía una fuerte limitación.

El usar una ecuación única o más de una para el modelo matemático del perfil del fuste depende de las características y la forma de la especie, del objetivo del modelo y de la precisión que se pretenda.

Las mediciones de diámetros y alturas son transformadas de manera que el conjunto de mediciones correspondiente a cada árbol puedan ser ajustadas por una misma ecuación con independencia de las dimensiones absolutas de cada árbol. En Cuba este método ha sido aplicado por Peñalver (1987), Gra et al. (1990), Selva y Montero (1998) y Padilla (1998).

1.8 Densidad de rodales.

Numerosas expresiones se han desarrollado, propuesto y utilizado en distintos lugares, desde las reglas empíricas de uso restringido hasta las guías e índices más modernos derivados de análisis matemáticos y estadísticos, con el auxilio de computadoras electrónicas que se insinúan como la aplicación general.

La densidad de un rodal determina el nivel de utilización del sitio por la masa boscosa, es uno de los indicadores más importantes para el manejo forestal. El número de árboles, la suma de áreas basales y el volumen por unidad de superficie son indicadores de densidad absoluta, en contraposición con la llamada densidad relativa, que compara la densidad actual con un valor máximo, óptimo y usualmente denominado normal, el cual indica el máximo aprovechamiento de la capacidad productiva del sitio forestal (Orlov citado por Anuchin, 1970 y por Peñalver, 1991); este último concepto es teórico, en la práctica esta situación no se produce con frecuencia.

Mackay (1961), asegura que la normalidad es un límite, posible pero de corta duración. El volumen por hectárea es el mejor indicador de densidad, y de aprovechamiento del sitio forestal, pero determinarlo trae algunos inconvenientes:

El volumen no solamente depende del diámetro sino de otras variables y determinados intereses pueden variarlo; estas dos razones fundamentales han conducido a utilizar perfectamente el área basal y el número de árboles (Gingrich, 1967 citado por Loetsch, Zohrer y Haller, 1973)

Assmann (1965 citado por Sterba, 1987) asegura que se ha demostrado para un gran número de especies que el rendimiento en volumen en una edad dada y en un sitio determinado con un definido régimen de aclareo puede variar grandemente.

De acuerdo con Carron (1968), el índice de densidad debe ser simple y objetivo, definible en términos relativos y absolutos, debe estar conduciendo con las otras variables dasométricas del rodal, y ser independiente del rodal y el sitio. Muchas medidas de densidad han sido propuestas, las mas utilizadas se explican a continuación:

El espacio que necesita un árbol para desarrollarse en condiciones óptimas es denominado área de incidencia o de crecimiento, el área de la proyección de la copa del árbol ha sido considerada una medida adecuada del área de incidencia (Corral, 1935). La suma de las proyecciones del área de copa de los árboles de un rodal, en relación al terreno ocupado constituye un indicador utilizado en las evaluaciones silviculturales, los estudios ecológicos y fisiológicos, el crecimiento del árbol depende del trabajo fotosintético por lo que su diámetro constituye un indicador del espacio vital del árbol (Sprinz y Burkhart, 1987 y Thren, 1993).

Varios investigadores han estudiado y comentado las relaciones entre el diámetro del fuste y el diámetro de la copa. Así podemos citar a Dawkins que hizo un análisis exhaustivo de esta relación, a Krajicek et al., 1961 citado por Volkhart, 1972 y Stephan, 1980. Estos autores han demostrado que la relación entre el diámetro de la copa y el del fuste es específico para la especie y puede considerarse invariable con respecto al sitio. Al estudiar la relación en árboles que crecen con y sin competencia, Stephan (1980) y Stephan y Betancourt(1983, citados por Peñalver, 1991) han propuesto la caracterización

numérica de la disminución de la cantidad de árboles por hectáreas con el aumento en diámetro para las plantaciones de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*.

El índice de densidad de Reineke (citado por Pardé y Bouchon, 1994), fue propuesto por este investigador en USA en 1933. Se expresa comúnmente mediante la fórmula $\log N = a + \log D + b$, que relaciona el número de árboles por unidad de superficie al diámetro promedio y a las constantes (a y b) que varían con las especies.

Spurr y Barnes (1982) analizan exhaustivamente el índice de densidad de Reineke, y al compararlo con el área basal, concluyen en que ésta es la expresión más adecuada de la densidad.

Smith (1962 citado por Volkhart, 1972) considera, a su vez, que expresiones como el índice de Reineke, que conducen a un aumento considerable del área basal a lo largo del turno, son cuestionables en su aplicación a planes de raleo, en razón de que los estudios empíricos realizados indican que el área basal debe aumentar poco o nada en dicho lapso de tiempo.

Spurr (1952 citado por Zepeda y Rivero, 1984) hace un análisis crítico de la expresión citando sus inconvenientes: La relación se determina empíricamente a partir de datos de parcelas; si bien es aceptable que el diámetro represente en términos generales el espacio de crecimiento no siempre lo hace, pues este último puede haber sido modificado por muchos otros factores; parecería que la relación queda mejor representada por una curva sigmoide que por una parábola de segundo grado. Comparando la expresión con el área basal, Spurr encuentra mejor a esta última.

Hart (1928, citado por Peñalver, 1991) propuso en Holanda la expresión del espaciamiento relativo en el cual consideraba el espaciamiento triangular y la medición de las alturas de los cien árboles más altos por hectárea, Hart sugirió el uso de la fórmula $d = S \cdot H / 100$; de acuerdo a la cual el espaciamiento es una función de la altura. S es el valor del espaciamiento relativo.

Los índices que han sido resumidos en esencia relacionan la densidad con el diámetro como variable predictiva, sin embargo se han desarrollado otros que emplean la altura, como es el caso del ya expuesto anteriormente propuesto por Hart en Holanda y el índice de Hart-Becking (1935 citado por Loetsch,

Zohrer y Haller, 1973) que constituye una medida de la densidad basada en el número de árboles, de su espaciamiento y de la altura:

$$S\% = 10000/h_0 \sqrt{n}$$

Thomasius (1979 citado por Báez, 1988) desarrolla un modelo para el cálculo de la densidad

(número de árboles) en función de la altura:

$$\log N = K / \log h e^{-ct}$$

Donde c es una constante que depende de la especie, de la clase de sitio y del manejo del rodal, K constante de crecimiento, N, h y t son el número de árboles, la altura del rodal y la edad, es aplicado por González (1985 citado por Peñalver, 1991) en el ***Pinus caribaea*** en Cuba.

El crecimiento y rendimiento dependen tanto de la productividad potencial, dada por la calidad de sitio, como del grado que se aproveche dicha potencialidad a través de la cantidad y distribución del stock. La distribución espacial es importante en formaciones naturales, especialmente para los procesos regenerativos del bosque, pero no lo es en bosques sometidos a manejo intensivo (Prodan et al., 1997).

La densidad se utiliza como variable de decisión o control en intervenciones silviculturales o en modelos simuladores de desarrollo y crecimiento, también como variables predictoras. Una medida de densidad debe ser básicamente clara, consistente, objetiva y fácil de aplicar; en lo posible conviene que tenga relación con el volumen, y no debe estar relacionada con la edad ni con el sitio (Prodan et al., 1997).

El índice de densidad de rodal se emplea para expresar la densidad límite de un rodal en una forma más comprensible, que además permite disponer de una herramienta para proyectar la densidad bajo ciertas circunstancias (Prodan et al., 1997).

Los índices de espaciamiento (RS) son expresiones que representan el espaciamiento medio del rodal, como proporción del desarrollo alcanzado por los árboles (Prodan et al., 1997).

En Cuba es utilizada la escala de densidades relativas contenida en la norma ramal 595 de tratamientos silviculturales (MINAGRI, 1983), la cual establece la densidad en función del área basal (m²/ha) y la altura media del arbolado.

1.9 Calidad de sitio.

La primera fase de un estudio de crecimiento y rendimiento es la elaboración de un sistema para la clasificación de la productividad de los sitios forestales los cuales constituyen el conjunto de factores edáficos y bióticos que determinan la permanencia y la productividad de biomasa de determinada comunidad forestal, sea esta natural o creada por el hombre. (Álvarez y Varona, 1988)

La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en ese sitio en particular. Por eso la construcción de curvas altura - edad para diferentes clases de sitio es el primer paso en la construcción del modelo de crecimiento y rendimiento. Sin embargo la altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva no solo a la edad y a la clase de sitio, sino también a la densidad del rodal. La altura dominante es casi insensible a diferencias de densidades en los rodales.

El primer sistema de clasificación fue desarrollado por primera vez por Cajander (1909,1949) en Finlandia (citado por Loetsch, Zohrer y Haller, 1973). Este autor junto con Morozov son los fundadores de la tipografía de bosques (citado por Klepac, 1976). El método ha sido aplicado en Cuba por Thomasius (1974, citado por Peñalver 1991) para la clasificación de sitio en los pinares de Cajalbana, por Aldana (1983, citado por Aldana et al., 1994) y también Báez y Gra, (1988) lo proponen para los bosques de Cuba en base a la humedad y fertilidad de los suelos.

Este método constituyó la tendencia de clasificación de los sitios forestales en Rusia en el siglo pasado y no fue efectivo (Anuchin, 1970).

La diversidad de modelos matemáticos en cuanto a su estructura, componente, construcción y propósitos de utilización, se debe a que el crecimiento y la reproducción de masas son procesos complejos y por lo tanto han justificado gran número de proyectos de investigación (Mendoza, 1983 citado por Madrigal y Ramírez, 1995).

Para modelar el crecimiento de árboles y masas forestales, necesariamente debe existir un motivo, que en este caso es la administración para la producción maderable y los medios para lograr su construcción (Madrigal y Ramírez, 1995).

En Dasonomía el término sitio se utiliza en dos sentidos. Ya sea como una posición geográfica o como las condiciones del ambiente físico asociado al lugar. En este último sentido, el sitio puede definirse como un área en donde se combinan características de suelo, topografía, clima y factores bióticos (Clutter et al, 1982; Madrigal y Ramírez, 1995).

(Stage, 1963), planteó que al conocer la altura dominante y la edad de una masa coetánea puede asignársele un índice de sitio de acuerdo a la altura que dicha masa alcance a una edad determinada (Alder, 1980; Madrigal y Ramírez, 1995).

Avery y Burkhart (1983); Clutter et al (1982); Rivero y Zepeda (1990), citados por Madrigal y Ramírez (1995), señalaron que de acuerdo a las técnicas de construcción, las curvas de índices de sitio pueden ser anamórficas o polimórficas. Las últimas divididas en articuladas y desarticuladas (no cruzadas y cruzadas en el rango de edad de interés).

Las curvas anamórficas de índice de sitio se caracterizan por presentar la misma forma, ya que son proporcionales, con pendientes constantes entre ellas a una misma edad, pero son interceptadas a origen diferentes (Clutter et al., 1982), lo anterior provoca que el punto de inflexión de todas ellas ocurra a una misma edad (Zepeda y Rivero, 1984; Madrigal y Ramírez, 1995).

Las curvas polimórficas, por su parte, son familia de líneas con pendiente variable, que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre sí, no son proporcionales al no depender una de otras, por tal razón, sus puntos de inflexión ocurren en edades diferentes.

El índice de sitio es una representación gráfica que describe la relación entre la altura y la edad de un árbol, para modelar dicha relación se han utilizado diferentes modelos y técnicas para ajustarlos. La mayoría de estas técnicas, según Clutter et al., (1982), se encuadran en el método de la curva guía, el método de la diferencia algebraica y el método de la predicción de parámetros.

Estos modelos pueden construirse con datos de altura - edad provenientes de:

- Parcelas temporales (Método de la curva guía).

- Árboles muestras o parcelas permanentes.

- Análisis troncal

Los resultados del análisis de regresión no lineal de los nueve modelos probados para las dos especies de pinos utilizadas por Madrigal y

Ramírez(1995), demostraron que para la curva guía el mejor modelo es el de Schumacher ($H_0 = H_{\max} \cdot e^{\frac{b}{A} k}$) por presentar coeficientes de variación de los estimadores uniformes en las dos especies, una F calculada mayor y ser el modelo más parsimonioso.

La primera familia de curva de índice de sitio fue construida en Alemania en 1842. Posteriormente se dieron en Escandinavia los trabajos de Jhonson en 1914 y de Esterre en los Estados Unidos durante el mismo año, citado por Jones en 1969 y más tarde por Aguilar et al., (1991).

Benavides (1993), señaló que índice de sitio es un número que expresa la altura de los árboles dominantes o codominantes de un rodal, a una edad determinada. Como observación a esto se puede decir que el índice de sitio es el método más comúnmente empleado para definir la calidad de sitio, se trata de un método indirecto, utiliza únicamente la relación edad base - altura dominante, tratándose de una medida cuantitativa (Aguilar et al., 1991).

Castaños (1962 citado por Monserud, 1984), indicó que dentro de las decisiones silvícolas, la calidad debe ser incluida porque afecta en forma considerable el valor cualitativo y cuantitativo del bosque.

Para estimar la calidad de sitio existen métodos directos e indirectos y la elección para utilizarla está en función del bosque, de los recursos con que se cuente, la posibilidad de uso de los equipos para el procesamiento de datos, la precisión que se requiera y la facilidad con que pueda inferirse el método. Dentro de los métodos indirectos está el de índice de sitio (I.S), (Spurr y Barnes, 1982).

Diversos autores de los anteriormente señalados aluden que dentro de las ventajas que tiene el índice de sitio se pueden manejar las siguientes

- Es posible de cuantificar porque se expresan mediante números.
- Es fácilmente medible.
- Está libre de la influencia de las densidades del rodal.
- Es más barata su implementación que otros métodos.
- Sirve frecuentemente como un criterio básico en el desarrollo y prueba de métodos alternativos para la calidad.

Stage (1963, citado por Aguirre y Zepeda, 1985), aseguró que una familia de curvas consiste en la construcción de un sistema de curvas de crecimiento para calidades diferentes durante toda la vida del rodal.

Los procedimientos gráficos tienen la desventaja de ser inexactos y subjetivos, ya que dependen de la precisión del autor (Alder, 1980).

Aguirre y Zepeda (1985), plantearon que los procedimientos analíticos se basan en un patrón de crecimiento en altura de los árboles que representa mediante ecuaciones con la ventaja de que el ajuste es por medio de métodos matemáticos.

En general, dos métodos han sido universalmente utilizados para esta clasificación (Loetsch, Zohrer y Haller, 1973; Bobko y Aldana, 1981; Hush et al., 1982; Alvarez y Varona, 1988; Peñalver, 1991).

1. Clasificación relativa de sitio: evaluación de uno o más factores individuales de sitio (características del suelo, vegetación de los estratos herbáceos y arbustivos, etc.), los cuales son considerados estrechamente asociados al crecimiento de los árboles.

2. Clasificación absoluta del sitio: medición de aquellas características dasométricas del rodal que constituyen una expresión de la calidad del sitio.

El método de clasificación absoluta de los sitios forestales es el mayormente utilizado, pues indica directamente la magnitud de la producción, al emplear variables cuantitativas directamente relacionadas con la productividad del rodal. De las variables dasométricas del rodal, es la altura media la más usada, de acuerdo con la ley de Eichorn (citado por Klepac, 1976). La producción total de una masa coetánea esta en función de su altura media.

En Cuba es empleada oficialmente la altura media en los bosques de pinos del país para la clasificación de la calidad de sitio (MINAGRI, 1984).

En la actualidad, en lugar de la altura media del rodal se utiliza la altura media de los árboles dominantes por ser un valor casi insensible a las diferencia de densidades de los rodales (Loetsch, Zohrer y Haller, 1973; Klepac, 1976; Halaj, 1978 citado por Alvarez y Varona, 1988; Alder 1980).

Sobre la base de la altura media dominante, Peñalver (1985) propuso la división de las plantaciones de ***Eucalyptus spp***, en Pinar del Río en tres calidades de sitio. Por el mismo procedimiento Báez (1988) divide el potencial productivo de las plantaciones de ***Casuarina equisetifolia*** del sur de la provincia Habana, también en tres calidades de sitios, Gra et al.,(1990) dividen el potencial productivo de las plantaciones de ***Pinus caribaea*** para Cuba en nueve índices de sitio.

Alder, (1980) utilizó y recomendó el modelo de Schumacher porque lo considera apropiado para construir curvas de índice de sitio (I.S), Benavides (1991), asentó que al trabajar con el modelo de Shumacher en las especies ***Pinus michoacana* Martínez y *Pinus oocarpa* Shiede**, se presentan buenos resultados al utilizar análisis troncales. La elección del modelo de Shumacher usando la metodología de Alder (1980), se debe a que es uno de los más simples y puede ser utilizado en computadoras pequeñas. Benavides (1993), señaló que las calidades que obtuvo con ese modelo pueden usarse con fines de manejo.

1.10. Tablas de producción.

Cualquier tabla de producción contiene implícitamente una tarifa de cubicación de masas en pie. Es este un método de estimación muy simple y razonablemente aproximado cuando se utiliza una tabla precisa, pero reservado al caso de masas regulares de una sola especie.

Los inventores de las tablas de producción son los alemanes (Cotta, 1821; los diversos Institutos de Investigaciones Forestales Alemanes en el período 1874-1880), también Assmann, 1961 y 1970 encuentra los mejores análisis y realiza estudios críticos sobre el tema. En su forma clásica estas tablas que se presentan también bajo forma gráfica, resumen en datos numéricos la evaluación probable en el tiempo de masas regulares, clasificadas por especies y por clases de calidad de los suelos que las sustentan (Pardé y Bouchon, 1994)

Los datos se calculan por hectárea, separados la mayoría de las veces por intervalos de tiempo de 5 ó 10 años. Se podrá leer, por ejemplo a cualquier edad, tanto para la masa principal como para la masa extraída: número de pies, área basimétrica, diámetro medio, volumen, crecimientos, etc.

Cuanto más numerosas sean las parcelas de investigación, bien elegidas y bien estudiadas mejores serán las tablas de producción. Una tabla de producción no podrá, pues, proporcionar resultados suficientemente precisos más que en la región donde ha sido construida; cuanto más se aleje, el clima se modifica y con más reserva deberá utilizarse (Pardé y Bouchon, 1994).

En resumidas cuentas, una tabla de producción tiene un carácter completamente regional, estando cada región definida por características climáticas bastante homogéneas.

Para la predicción del crecimiento hay una amplia variedad de modelos posibles a utilizar, aunque para generarlos, el principal factor limitante de la efectividad de los mismos, es la disponibilidad de los datos acerca de las plantaciones en cuestión, que cubran una amplia gama de sitios, edades y densidades de los rodales (Alder, 1980; Cuevas et al., 1992).

El crecimiento y rendimiento de los bosques uniformes pueden ser modelado a nivel del rodal completo, por categorías diamétricas o por el árbol individual. Los modelos a nivel de rodal son apropiados para la mayor parte de los propósitos y mucho más simple de construir (Alder, 1980; Cuevas et al., 1992). La relativa alta precisión que es posible lograr con los modelos de crecimiento y rendimiento para rodales uniformes, proviene en parte de la posibilidad de clasificar sitios. Esto es una consecuencia de la edad normalmente conocida y de que las dimensiones de los árboles pueden ser estimadas fácilmente (Alder, 1980).

Los componentes del rendimiento de mayor interés para los administradores forestales son: Volumen, diámetro y el número de árboles que usualmente son la base para definir tratamientos silviculturales en función de la clasificación de sitio y a su vez para determinar la producción maderable (Alder, 1980).

Generalmente se usa la altura dominante para definir la altura del rodal, ya que ésta es casi insensible a diferencias de densidad del rodal (Klepac, 1976; Alder, 1980 y Campos, 1989).

Según Thren (1993), las primeras tablas de producción se remontan al siglo XVIII y fueron desarrolladas por Paulsen y más tarde por Hartig. Para su construcción se toman como base los rodales “normales”, los cuales se usan para estimar los volúmenes intermedios y principales de madera. La estructura de las tablas que utilizamos actualmente fue establecida hace más de cien años.

En cada calidad de sitio su producción lo mismo en volumen que en estructura y dimensiones de los fustes, dependerá del número de árboles de la masa, lo que hace necesario conocer en cada caso el número de pies por hectárea (García y Gómez, 1984).

El crecimiento anual de una masa de árboles no es constante, sino que experimenta un incremento de año en año hasta llegar a un máximo a una edad determinada para después ir disminuyendo paulatinamente (García y Gómez, 1989).

Unas tablas completas deben presentar además de las producciones en volumen de las distintas edades de la masa en pie y extraída, sus correspondientes secciones normales, diámetros, alturas, crecimientos, etc. (García, 1981; García y Gómez, 1984 y García y Tella, 1986).

Las tablas de producción tienen un valor predicho y han de servir al gestor forestal para tres importantes funciones:

1. Hacer una clasificación y agrupación de estaciones forestales de similares capacidades productivas.
2. Hacer previsiones en cuanto a la producción en volumen y a las dimensiones de los productos.
3. Indicar un modelo de silvicultura.

(Gómez, 1996).

No todas las repoblaciones se han realizado con la misma finalidad (producción, protección), ni han causado los mismos impactos social y ecológico, ni tampoco tienen porque desembocar en una misma forma de masa (Madrigal y Ramírez, 1995; Gómez, Grau y Montoto, 1998)

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DASOMÉTRICOS DEL *Pinus tropicalis*

Con el desarrollo de la Dasometría están unidos nombres como: Schiffee, Simony, Guttenberg, Weise, Baur, Schubert, Eichorn, Lorey y Knuchel, entre otros.

En la primera mitad del siglo XX los métodos de medición y cálculo dasométricos fueron ajustados a una base biométrica moderna. Entre los forestales destacados pueden resaltarse particularmente Hohenadl (1856 - 1950) y Krenn (1908 - 1949).

Desde el principio, los métodos matemáticos encontraron en la Dasometría un amplio empleo. Esta disciplina se basa en la Matemática y en la Estadística Matemática y se encarga de la medición y cálculo del volumen de madera en pie, del incremento y de la determinación de la edad.

Según Prodan (1965 citado Por Pardé y Bouchón, 1994) esta es en forma amplia la teoría y esencia de la dasometría y por ende de las tablas dasométricas construidas con su aporte teórico práctico y a la cual este autor ha designado como la teoría de la medición de madera.

La cubicación de árboles en pie o incluso apeados en rollo, no ha sucedido mas que en una época reciente. Todavía al final de la Edad Media, la generalidad de los desechos de uso excluían parece ser, cualquier importancia al comercio de los árboles en pie. Cuando se vendía era “a la estima”, es decir, sin tener en cuenta su volumen real por un procedimiento científico.

2.1 Condiciones experimentales.

2.1.1 Objeto de estudio.

La provincia de Pinar del Río cuenta con un total de 6907.6 hectáreas de plantaciones de *Pinus tropicalis* y se encuentran distribuidas en cuatro de las siete empresas forestales del territorio. Las principales empresas con plantaciones de esta especie son en orden descendente en superficie plantada las siguientes: Macurijes, Viñales, Pinar del Río y Minas de Matahambre con 2967.8 ha, 1475.7 ha, 1003.2 ha y 977 ha respectivamente. Además, existen solo 10.7 ha en la EFI La Palma y 4 ha en Guanahacabibes. Con otros fines no netamente productivo existen 467 ha plantadas con esta especie de pino en la zona protegida de Mil Cumbre (MINAGRI, 1998; ver figura 1).

Después de realizar un análisis de los resultados cartográficos y los registros de ordenación de los proyectos de organización y desarrollo de las empresas

forestales antes mencionadas (MINAGRI, 1980 a 1986) podemos asegurar que las plantaciones de esta especie han sido establecidas en lo fundamental en dos regiones naturales en correspondencia con los suelos en donde se desarrolla que son en las areniscas y cuarcitas (pizarras) de la formación San Cayetano y en la arena de la sabana, faltando en suelos lateríticos y en suelos derivados de esquisto. Esto corresponde con lo planteado por Samek (1967) y por Samek y del Risco (1989).

La caracterización del estado actual de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la provincia de Pinar del Río fue utilizada realizando una muestra al azar de 41 rodales, empleando las descripciones de tasación de los mismos según el último inventario forestal ejecutado para la ordenación de las empresas forestales integrales (EFI). La tabla 1 permite caracterizar el estado actual de las plantaciones diferenciadas por estratos según las edades muestreadas y sobre la base de los rodales seleccionados.

Los índices dasométricos actuales de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** confirman lo planteado anteriormente por Lara et al (1996), relacionado con el deficiente manejo de las mismas (no aplicación de chapeas necesarias, no haber hecho reposición de fallas y ausencia de raleo), lo que ha provocado una disminución o deterioro en el rendimiento y los posibles surtidos a obtener en el momento que se realice el aprovechamiento.

2.1.2. Clima

En toda la zona donde se desarrollo el estudio se considera según las informaciones meteorológicas que el clima que predomina es caliente con una temperatura media de 25°C y un valor promedio de precipitaciones acumuladas de 1 400 mm anuales. Esta zona presenta períodos poco lluviosos al año, de no más de cuatro meses, lo que hace que se ubique en el tipo bioclimático denominado THERMOXEROCHIMENICO (Gaussen, 1954), es decir, clima caliente con invierno seco.

Los vientos predominantes son del norte y el este durante todo el año, con velocidad promedio de 3 m/seg. La humedad relativa está comprendida en el rango entre 70 y 90 %, lo que corresponde con los períodos poco lluviosos y los de mayor lluvia respectivamente.

Por encontrarse estas plantaciones en la casi totalidad en las alturas de pizarras y por estar comprendida desde la parte más occidental del país hacia el centro y este de la provincia de Pinar del Río, se puede afirmar que no existen grandes diferencias en cuanto al comportamiento del clima, el mismo es uniforme en general en el territorio y no tiene por qué constituir una fuente de variación en el crecimiento y rendimiento de esta especie forestal.

2.1.3 Suelos.

La caracterización de los tipos de suelos sobre los que han sido establecidas las plantaciones de ***Pinus tropicalis***, se realizó con la ayuda de la cartografía de suelos y utilizando la segunda clasificación genética 1979, de la Delegación Provincial del MINAGRI de Pinar del Río (1989). Para esta clasificación se emplean los mapas 1: 50 000 de 1980 con la segunda clasificación morfológica de 1979 convertida a la segunda clasificación genética de suelos, por medio de la tabla de correlación de suelos del MINAGRI (1984). El procedimiento empleado para conocer los tipos de suelos presentes y su distribución areal relativa fue mediante la ubicación de los mapas de suelos de los rodales seleccionados como muestra.

2.2 Procedimiento de muestreo empleado para la toma de la información.

Para la realización de la investigación son seleccionadas las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de las EFI Macurijes, Viñales, Pinar del Río y Minas de Matahambre, las cuales poseen en su conjunto el 93 % de la superficie total plantada con esta especie, el por ciento que resta en otras entidades o es mínimo o no tiene categoría de bosque productor.

En estas cuatro empresas forestales de la provincia de Pinar del Río se muestreó un total de 41 rodales en las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en los cuales se levantaron un total de 396 parcelas con una superficie de 500 m² cada una. En todo momento se tuvo presente que en los rodales muestreados estuvieran representadas todas las edades, tipo de suelos y diferentes condiciones de las localidades (sitio) de las plantaciones ya establecidas con la finalidad de que fueran representativos de todas las áreas plantadas con esta especie. Como las edades de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en la provincia de Pinar del Río varían entre 8 y 33 años fueron formados estratos en

base a la edad. Los rodales se seleccionaron aleatoriamente dentro de los respectivos estratos y dentro de los rodales seleccionados se distribuyeron las 396 parcelas mediante un muestreo sistemático. Estas parcelas tienen un carácter temporal en las cuales se midieron las variables dasométricas de interés y se seleccionaron, derribaron y cubicaron los árboles tipos para la elaboración de las respectivas tablas dasométricas. En total fueron derribados y cubificados 264 árboles.

El estudio del crecimiento y rendimiento de estas plantaciones es hecho en base al modelo predictivo de Schumacher del estado de los rodales construido con informaciones obtenidas por muestreos, alternativa que permite la obtención de resultados a corto plazo, a través del establecimiento de parcelas de pruebas temporales, establecidas en los rodales elegidos.

Los datos obtenidos fueron procesados por medios automatizados empleando los sistemas computarizados y computadoras Pentium ó 486 existente.

Los softwares disponibles para el procesamiento y presentación de la información son los siguientes:

- Paquetes estadísticos Microstat y Statistica.
- Tabulador electrónico Microsoft Excel.
- Procesador de textos Microsoft Word.
- Derive (versión 3.14)

Estos en correspondencia con las tareas de investigación concebidas para la elaboración del modelo permiten la obtención de los siguientes resultados.

- Estructura diamétrica de las plantaciones.
- Evaluación de la calidad de los sitios a través de los respectivos índices.
- Estimación del volumen de madera del fuste del árbol.
- Determinación del coeficiente mórfico
- Estimación de los surtidos maderables.
- Definición de la norma y elaboración de la tabla de densidades.
- Simulación del crecimiento y rendimiento de rodales bien tratados.

Durante el período 1988 - 1996 se establecieron parcelas temporales de muestreo en los rodales seleccionados aleatoriamente en las diferentes empresas anteriormente mencionadas.

Se trabajó con el 5% de intensidad de muestreo y se pudo verificar que debido a la poca variabilidad existente es posible trabajar con mayor exactitud y con un menor error de muestreo en la estimación de los valores medios de los índices dasométricos.

Cuadro 1. Ubicación de las unidades de muestreo.

Empresas	Rodales	No. de parcelas	Forma
Macurijes	15	126	Rectangular(20 *25)
Viñales	7	78	Rectangular (20*25)
P. del Río	10	114	Rectangular (20*25)
M. Matahambre	9	78	Rectangular (20*25)

Las áreas de mayor concentración de plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en las empresas muestreadas son las siguientes:

EFI Macurijes	Las Cañas, 20 de mayo, Bartolo y Sábalo.
EFI Viñales	Los Jazmines.
EFI P. Del Río	San Juan y Martínez y Cerro de Cabras.
EFI M. De Matahambre	Unidades silvícolas Gilberto León y Malas Aguas.

En cada parcela se midieron todos los diámetros a 1.30 m a los árboles existentes dentro del perímetro de la unidad de muestreo y las 10 alturas más cercana al centro de la parcela, sin dejar de incluir las alturas dominantes para la posterior determinación de los índices de sitio. Los diámetros se midieron con forcípulas o cintas diamétricas, las alturas con hipsómetros y las distancias con cinta métrica con errores de $\pm 1cm$; $\pm 0.5m$; $\pm 0.1m$, respectivamente.

Los rodales seleccionados al azar y las parcelas de pruebas levantadas en cada uno de ellos están en correspondencia con lo planteado por Cailliez, 1980; Alder, 1980; FAO, (1981citado por Evans, 1990). El levantamiento está basado en los datos de los registros de ordenación de las unidades silvícolas o sectores donde se realizó el muestreo.

El número de parcelas está en correspondencia con la superficie del rodal y se muestreó a razón de una parcela por cada hectárea ya que las mismas eran de

500 m², lo que significaba el 5% de intensidad de muestreo. Este muestreo es superior al que se pudo determinar después en base a la variabilidad existente en los rodales muestreados y nos permite obtener un error de muestreo por debajo del 15%.

Después de delimitar las parcelas muestreadas en cada uno de los rodales elegidos se procedió de la siguiente forma:

- Enumeración de los árboles dentro de la parcela.
- Medición del diámetro a 1.30 m a todos los árboles enumerados con diámetros superiores a 3 cm agrupándolos en clases diamétricas con intervalos de 2 centímetros.
- Se midieron las 10 alturas más cercanas al centro de la parcela con hipsómetro y aproximación a 0.5 m.
- Se determinó la altura dominante, basada en la definición más ampliamente aceptada, altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea.

2.3 Distribución de frecuencia diamétrica.

El procedimiento corriente para ajustar una distribución diamétrica a una función de densidad probabilística, que puede ser usada para elaborar modelos de crecimiento y rendimiento forestal según Bailey (1980) es el siguiente:

- a- Seleccionar la función de densidad teórica.
- b- Obtener las muestras de distribución de frecuencia.
- c- Estimar los parámetros de la función de densidad para cada muestra.
- d- Ajustar una ecuación de regresión para predecir los parámetros de la función de densidad a partir de los índices dasométricos del rodal tales como la edad, el índice de la calidad del sitio, la densidad, etcétera.

La teoría de probabilidades explica, mediante el teorema del límite central de Moivre - Laplace (Koroliuk, 1986), que cualquier función probabilística tiende a la normal cuando aumenta el número de muestras de la variable aleatoria, función que es definida por la varianza y la media poblacional.

La media y varianza calculadas a partir de una muestra constituyen estimadores máximos verosímiles de sus correspondientes parámetros poblacionales (Cue y col., 1987), por lo que resulta acertado probar en primer lugar la curva normal para el ajuste de las distribuciones observadas, ya que esta es una función de uso frecuente y se encuentra tabulada en los textos de

estadística. Esta curva de distribución normal, válida para masas regulares está

expresada por la siguiente función: $y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}$ donde $e=2.7183$ y

$z=(x-\mu)/\sigma$. En el estudio se utilizan 396 muestras de distribuciones de frecuencias diamétricas las cuales se obtuvieron en las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la provincia de Pinar del Río, a la misma le fue aplicada la prueba de χ^2 (Ji cuadrado) para la bondad del ajuste de las frecuencias observadas a la distribución normal.

Según De la Rosa (1985) estos cálculos pueden ser realizados automáticamente usando el paquete estadístico Microstat, que divide los datos en ocho intervalos equiprobables usando los z valores. Actualmente es más usado el paquete estadístico denominado Statistica por estar montado sobre Window y presentar ventajas sobre el anterior.

Es usual en los estudios de la distribución de frecuencias diamétricas expresar los diámetros promedio, esto permite comparar muestras de distribuciones correspondientes a rodales de diferentes dimensiones absolutas, transformación aplicada en el presente trabajo.

Para la caracterización de la distribución diamétrica se calcularon los valores medios de los diámetros relativos mínimo y máximo, el del coeficiente de variación y los de simetría y curtosis.

Considerando que el coeficiente de variación de los diámetros relativos es equivalente a la desviación standard relativa, se puede plantear que:

$$cv = \frac{s}{\bar{x}}$$

\bar{x} = diámetro medio =1

entonces $(cv)^2 = s^2$

Pudiendo calcularse el intervalo de confianza del coeficiente de variación por la formula usual (Cue y Col, 1987).

$$\left[\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}}, \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}} \right]$$

Donde:

\bar{x} = Diámetro relativo (mínimo o máximo) promedio.

S = desviación standard de \bar{x} .

n = número de muestras.

t = t de Student.

α = nivel de significación (0.05)

Con los valores medios calculados en cada parcela de muestra se realiza un análisis de correlación y se evalúa el grado de asociación entre estos valores y la edad.

Se determinaron las frecuencias esperadas en cada clase de diámetro, suponiendo una distribución normal por lo que se estandarizaron los valores del diámetro relativo desde el mínimo al máximo, en clases de 0.1 de amplitud con el coeficiente de variación promedio obtenido mediante la variable normal z:

$$z = \frac{dr - \bar{d}}{s}$$

Donde: dr =diámetro relativo
 \bar{d} =diámetro medio
s =desviación standard

2.4 Determinación de índice de sitio.

La relativamente alta precisión que es posible alcanzar con los modelos de crecimiento y rendimiento para rodales uniformes, en parte proviene, de la precisión con la cual es posible clasificar sitios. Esto es, en sí mismo, una consecuencia del hecho de que la edad es normalmente conocida a través de los registros de ordenación y de que la altura de los árboles dominantes puede ser normalmente medida con hipsómetros o instrumentos similares.

Uno de los factores más importantes que influyen en el crecimiento de las masas arboladas, es la calidad de la estación, definida como la capacidad potencial de producción de madera de un sitio para una especie en particular o para un tipo de bosque, en si es un índice relacionado a la máxima cantidad de volumen de madera que el suelo puede producir en cierto período (Clutter et al, 1982; Davis y Jhonson, 1987, citado por Madrigal y Ramírez, 1995).

Cuando se realiza la evaluación de la calidad de un sitio se toma como criterio la calidad productiva el valor de la altura promedio del equivalente en cada parcela de muestreo de los cien árboles más gruesos por hectárea (Andrulot et

al., 1972; García y Tella, 1986; Rennolls y Peace, 1986), construyéndose mediante análisis de regresión un modelo matemático de crecimiento de la altura dominante en función de la edad.

Los valores de la altura dominante (h_o), altura media (h_m) y edad (A) fueron obtenidos de las parcelas temporales de muestreo. El método para la construcción de las curvas de índice de sitio conocido como técnica de la curva guía (Bruce, 1926 y Brickwell, 1968 citados por Monserud, 1984) ha sido ampliamente utilizada para este propósito, Alder (1980) explica en detalle esa metodología, la cual fue empleada en este trabajo.

El modelo de crecimiento de la altura dominante seleccionado en el presente trabajo es conocido como ecuación de Schumacher (1939 citado por Alder, 1980) y se expresa a continuación:

$$h_o = h_{\max} e^{\frac{b}{a^k}}$$

Donde:

h_o : Altura dominante

h_{\max} : Máxima altura que la especie alcanza.

e: Base de los logaritmos neperianos.

a, b, k: Parámetros a ser ajustados.

Alder (1980), aseguró que cuando k es un valor conocido entonces a y b pueden ajustarse por regresión lineal, cuando ese valor es desconocido los parámetros se estiman por regresión no lineal. Pero el valor de k también puede elegirse por aproximaciones, ya que para la mayoría de las especies de coníferas su valor oscila entre 0.2 y 2, buscando aquel que presente el cuadrado medio del error más pequeño.

A partir de este criterio se ajustó la ecuación anterior transformada mediante logaritmos para permitir su ajuste por el método de los mínimos cuadrados, utilizando el método de regresión "paso a paso" para la determinación de la constante k.

Los cálculos se hicieron automáticamente mediante los paquetes estadísticos Microstat y Statistica para microcomputadoras. Teniendo como base la curva guía y la dispersión de los valores medidos de alturas medias y dominantes en

particular los extremos, se fijaron los valores de los índices de sitio necesarios para abarcar la gama de calidades presentes a la edad base que se decida.

Como aún actualmente constituye una limitante para la determinación de los índices de sitio el hecho de que las empresas productivas no midan las alturas dominantes sino las alturas medias, se determinó en este trabajo el índice de sitio para estas plantaciones usando la altura dominante y las alturas medias y se clasificaron dentro de los mismos índices de sitio.

Se emplearon técnicas matemáticas de ajuste de curvas de índice de sitio. Se utilizó el método de regresión múltiple con un modelo simple de crecimiento en altura empleando la ecuación de Schumacher:

$$h_o = h_{max} \exp\left(\frac{b}{A^k}\right)$$

Se empleó también la técnica logarítmica de base e (Ln), para transformar la ecuación anterior, la cual quedó del siguiente modo:

$$Ln h_o = Ln h_{max} + \frac{b}{A^k}$$

Donde:

$a = Ln h_{max}$ y entonces a y b se pudieron ajustar por regresión lineal una vez que se determinó el mejor valor de k.

Se ajustaron las diferentes ecuaciones en función de la altura usada para la determinación de los índices.

Se determinaron las ecuaciones para el crecimiento promedio de la altura mayor y la altura media constituyendo la curva guía para la definición de los índices de sitio.

Se proponen nueve índices de sitio, correspondiendo con el índice treinta y tres de la curva guía, que representa las dos terceras partes del turno que se sugiere por autores como Samek y Varona, el cual sirvió de base para la fijación del turno propuesto por nosotros posteriormente en este trabajo.

2.5 Valoración de diferentes modelos matemáticos para el cálculo volumétrico.

Los métodos de determinación del volumen de rodales se subdividen en dos categorías:

- Métodos de cálculo.
- Métodos de estimación del vuelo.

El volumen del vuelo se define a través de los parámetros dasométricos de la masa, que son:

- Número de árboles.
- Área basal (Σ de secciones normales).
- Alturas.
- Coeficiente mórfico.

Se le calcula generalmente en metros cúbicos a partir de un diámetro mínimo comercial (hasta 7 - 10 cm de diámetro mínimo). En este trabajo se calcula el volumen hasta que el diámetro sea 6 cm y se expresa siempre en metros cúbicos.

El trabajo se ha elaborado con una muestra de 264 árboles distribuidos en las plantaciones de las Empresas Forestales Integrales (EFI) Macurije perteneciente a los municipios Guane y Mantua (126), en el municipio Minas de Matahambre (59) y 79 árboles fueron cubrados en la EFI Pinar del Río del municipio del mismo nombre.

Los fustes se cubraron por el método de Smalian para trozas de igual longitud, mediante un Software de computación denominado Statistica, se obtuvieron los volúmenes totales con y sin corteza para toda la longitud del fuste excluido el tocón.

Se empleó el método estadístico para la construcción de los modelos matemáticos de volumen, utilizando el Excel y el Statistica para el procesamiento de las informaciones.

El rango de diámetro estuvo entre 6 y 48 cm a la altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo, con corteza y de 6 a 24 m de altura total.

Se consideran los diámetros a 1.30 m sobre el nivel del suelo y los diámetros metro a metro a partir de 30 cm, altura a la que fueron derribados los árboles, es decir desde la base del fuste hasta el final del mismo, en cada caso se midió el grosor de la corteza.

Para el cálculo de los volúmenes de cada troza se empleó la siguiente fórmula:

$$V = 0.7854 * (d_1^2 + d_2^2 / 2) * L$$

d^2 - Diámetro al cuadrado en (m) en los extremos de la troza

L - Longitud de la troza.

El volumen de la última troza se consideró como un cono al poseer dimensiones variables el cual fue calculado por la fórmula:

$$V = 1/3 G \cdot L_t$$

Donde:

G=área basal en la última sección que equivale a la base del cono

V= volumen de la última troza

L_t = longitud de la troza

Entre las variables de más amplia aplicación en la construcción de modelos matemáticos se pueden considerar las siguientes:

Variables dependientes: V_{cc} y V_{sc} y su transformación logarítmica $\log V_{cc}$ y $\log V_{sc}$.

Variables independientes: d , h , d^2 ; $\log d$, $\log d^2$, h , $\log h$, $\log d^2$; d^2h .

Donde:

V_{cc} - Volumen con corteza.

V_{sc} - Volumen sin corteza.

d - Diámetro normal (1.30 m).

h - Altura total.

El conocimiento del error en la estimación del volumen por las ecuaciones se calcula por las fórmulas que aparecen posteriormente y que están muy en correspondencia con lo planteado por Gra et al., (1990); Peñalver, (1991) y Andrade, (1998).

$$Error(E) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V})$$

$$\text{Error medio absoluto \%} = EM_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| 100 \frac{(V_i - \hat{V}_i)}{\hat{V}_i} \right|$$

Además se calculó la desviación global (DG%) y porcentual (Dp) como indicadores de la calidad de la estimación (Alder, 1980; Bruce, 1920 citado por Husch et al., 1982; Peñalver, 1991 y Andrade 1998).

$$DG\% = \frac{\sum_{i01}^n V_i - \sum_{i01}^n \hat{V}_i}{\sum_{i01}^n \hat{V}_i} 100$$

$$Dp = \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \hat{V}_i|}{\sum_{i=1}^n \hat{V}_i} 100$$

Donde:

V_i - Volumen medio del árbol de la muestra.

\hat{V}_i - Volumen estimado del árbol i de la muestra.

n - Número de árboles.

El modelo seleccionado para el cálculo del volumen es el que mejor se ajusta a la muestra al poseer un mayor coeficiente de determinación y un menor error.

2.5.1 Modelos matemáticos.

Se probaron trece modelos matemáticos, todos lineales, algunos de primer orden y otros de función logarítmica. Estos últimos fueron los modelos de mejor ajuste por presentar mayores coeficientes de determinación y menor error lo que demuestra que para datos variables o de fluctuaciones como son los diámetros de los árboles los modelos más apropiados son los logarítmicos, esto se corresponden con algunos autores e investigadores los cuales plantean criterios similares y otros que han demostrado dicho planteamiento en varias especies forestales para las cuales se ha realizado el estudio. A continuación aparecen los modelos usados en el trabajo que presentaron mejor ajuste y posteriormente se eligió el modelo más conveniente para esta especie forestal.

$$\log V = a + b \log d_{1.30}^2 h$$

$$\log V = a + b \log d_{1.30} + c \log h$$

$$\log V = a + b \log d_{1.30}$$

$$\log V = a + b \log d_{1.30} + c \log^2 d_{1.30} + d \log h + e \log^2 h$$

El segundo que se muestra en los modelos presentados resultó ser el de mejores resultados y por ello se le realizó un análisis de varianza, que reafirma lo antes planteado y que aparece en el capítulo 3.

2.6 Determinación del coeficiente mórfico o factor de reducción.

Se tomó una muestra de 264 árboles tipos cortados y cubicados por el método de Smalian en diferentes áreas de plantaciones de esta especie, distribuidas en tres de las cuatros empresas con plantaciones de este tipo. Se determinó el volumen del cono o volumen real utilizando trozas de un metro de longitud, se calculó el volumen del cilindro y estos valores facilitaron la obtención del factor de forma para cada uno de los árboles. Posteriormente se llegó a obtener el factor mórfico promedio utilizando la siguiente fórmula:

$$f = 1 / n \sum_{i=1}^n \frac{Vi}{\frac{\pi}{4} (D_r^2 * Hi)}$$

Donde:

Vi - Volumen real del árbol.

Dr - Diámetro relativo o de referencia.

Hi - Altura.

n - Número de árboles

El cálculo de los volúmenes reales o por trozas se realizó con la fórmula de Smalian citada anteriormente.

2.7 Surtido de Madera.

Según Prieto y López Quero (1993) una función de forma del árbol es una expresión que relaciona los diámetros o secciones del tronco en cualquier punto del mismo con la altura a la que se encuentre. Por tanto la estimación de los surtidos maderables se puede realizar mediante la construcción de un modelo matemático del perfil del fuste tal y como plantean Prieto y López Quero, al redefinir una función de forma o perfil del árbol como una expresión que relaciona los diámetros relativos o secciones relativas a lo largo del tronco con la altura relativa a que se encuentren.

Para la realización de esta tabla de surtido se utilizaron los datos de los 264 árboles de muestra, calculando en cada uno de ellos los siguientes parámetros como variables independientes o dependientes .

La muestra de 264 árboles contiene un total de 4 320 mediciones con corteza y sin ella a intervalos de un metro, desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol.

$$\frac{di}{d_{1.30}}; \frac{hi}{ht}; \left(\frac{hi}{ht}\right)^2; \left(\frac{hi}{ht}\right)^3 \quad (1).$$

Donde:

d - Diámetro del árbol en las respectivas trozas de a metro.

d 1.30 - Diámetro a 1.30 metro.

hi - Altura correspondiente a cada diámetro mínimo prefijado según el surtido.

ht - Altura total.

Se probó esta ecuación para diversas variables independientes y finalmente resultó ser la ecuación con tres variables independientes (ecuación 1) la que mejor se ajustaba por poseer un mejor coeficiente de determinación y menor error estándar.

En esta ecuación: $\frac{hi}{h} = x$

Por lo que al sustituir quedaría del siguiente modo:

$$\frac{di}{d_{1.30}} = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (2)$$

Si despejamos (2) para determinar el diámetro la ecuación sería la siguiente:

$$di = (a + bx + cx^2 + dx^3) * d_{1.30} \quad (3).$$

De ahí que:

$$V = \int (a + bx + cx^2 + dx^3) * \frac{\pi}{4} * d_{1.30}^2 * ht \quad (4).$$

Después de determinar las hi con el Software denominado Derive versión 3.14, se calculó el volumen de madera para los diferentes surtidos (leña, madera rolliza y madera en bolo 1 y 2).

Para este fin se utilizaron diferentes intervalos de diámetro:

Cuadro 2. Surtidos a obtener

Surtido	Diámetro (cm)
Leña	Menor de 6
Madera rolliza	6 – 13
Madera en bolo 1	13 – 24
Madera en bolo 2	Mas de 24

Con la ecuación que aparece debajo se obtuvieron los coeficientes necesarios para poder determinar posteriormente el volumen maderable total y por surtido exceptuando la corteza para la cual fue necesario utilizar la segunda ecuación, o sea la utilizada para la tabla de volumen con corteza. Son ellas:

$$1- \frac{dcc}{d_{1.30}} = 1.1192 - 1.5224 \frac{Hi}{H} + 1.7340 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 1.2644 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3$$

$$2 - \log V_{cc} = -3.8920 + 1.9799 * \log d_{1.30} + 0.5665 * \log Ht$$

Fue necesario hacer esta operación porque la ecuación de perfil describe una línea recta y para el por ciento de corteza, esto no es lógico puesto que el por ciento de ésta disminuye cuando aumenta el volumen del árbol.

Es importante tener presente que la integración de la ecuación de volumen nos permite obtener los volúmenes totales y por surtidos usando lógicamente los valores de los coeficientes (a, b, c y d) obtenidos en el análisis de regresión con el uso del paquete estadístico denominado Statistica.

Las fórmulas para el cálculo de los volúmenes anteriormente enunciados son las siguientes:

$$V_t = \left(\frac{d^2}{7} + \frac{cd}{3} + \frac{2bd + c^2}{5} + \frac{ad + bc}{2} + \frac{2ac + b^2}{3} + ab + a^2 \right) \frac{\pi}{4} * d_{1.30}^2 * h$$

Si $hi=6$ (en función del surtido a obtener), entonces:

$$V_s = \left[\left(\frac{d^2 * \left(\frac{hi}{H} \right)^7}{7} + \frac{cd \left(\frac{hi}{H} \right)^6}{3} + \frac{\left(\frac{hi}{H} \right)^5 + (2bd + c^2)}{5} + \frac{\left(\frac{hi}{H} \right)^4 * (ad + bc)}{2} \right) + \left(\frac{\left(\frac{hi}{H} \right)^3 * (2ac + b^2)}{3} + ab \left(\frac{hi}{H} \right)^2 + a^2 \left(\frac{hi}{H} \right) \right) \right] GH$$

Donde:

a, b, c y d - Son coeficientes de la ecuación usada en función de las variables independientes.

Vs - Volumen según los surtidos a obtener (sea 6, 13 ó 24).

hi - Denominación del surtido.

H - Altura total.

Vt - Volumen total del bolo.

G -Área basal del bolo

2.8 Tabla de densidad.

El índice de densidad debe ser definido en términos relativos y absolutos y debe estar correlacionado con las otras variables del rodal, así como ser independiente de la edad y el sitio. Por tales razones Carron (1968), utiliza el índice de Reineke, pues éste selecciona directamente el número de árboles con el diámetro medio (partes componentes del área basal).

El índice de densidad de Reineke se obtiene mediante la regresión del número de árboles (N) y el diámetro perteneciente al árbol de área basal media (dg), en las parcelas inventariadas.

Si se expresa en forma logarítmica esta relación es lineal y representa la densidad promedio (Husch et al., 1982).

En este estudio se utilizaron los valores del número de árboles por hectárea (N) y diámetro del área basal media (dg) y además se determinó el área cubierta de copa en cada una de las clases diamétricas posibles a existir (fig.11), como producto de una gran cantidad de mediciones en áreas con diferentes calidades de sitio para conocer la posibilidad real de densidad por no existir la cantidad de árboles necesarios en toda la extensión del arbolado, lo que no da posibilidades de coger como parcelas de referencias o parcelas normales a aquellas que posean un adecuado incremento diamétrico anual (I.D.A). El procedimiento de cálculo, se realizó con el Microsoft - Excel.

2.9 Tablas de producción.

El desarrollo que se necesita en la construcción de tablas de producción en el país está aún muy lejos de ser alcanzado. No obstante, existen algunos antecedentes. Löschau (1974, citado por Bobkó y Aldana, 1981) propuso una tabla para ***Pinus caribaea*** sin carácter oficial o sea una tabla preliminar, con semejantes principios construyó Peñalver (1985), una tabla de rendimiento para ***Eucalyptus*** en la provincia de Pinar del Río; Báez (1988), elaboró la tabla de producción para las plantaciones de ***Casuarina equisetifolia*** y Gra et

al., (1990), construyeron las tablas de producción para las plantaciones de ***Pinus caribaea*** en Cuba.

El modelo de simulación del crecimiento y rendimiento aplicado se clasifica dentro de aquellos que relacionan las variables de crecimiento y rendimiento del rodal en función de la edad, la densidad y la calidad de sitio (Sadig y Beckwith, 1986).

EL modelo utilizado tiene suficiente flexibilidad de acuerdo con Alder (1980) de modo que se pueda realizar la tabulación de los índices dasométricos mediante simulación tanto estática como dinámica.

Según Decourt (1972, citado por Bartet y Bolliet, 1976 y por Aguirre y Zepeda 1985), este modelo se estructura en dos sistemas de ecuaciones:

- 1- De predicción de la calidad del sitio.
- 2- Para la predicción del rendimiento del rodal.

La simulación parte de los siguientes supuestos:

- 1- la densidad inicial de la plantación es considerada con marcos de plantación de 2 x 2 m y 2 x 2.5 m (Vega, 1998).
- 2- El incremento en diámetro de rodales no tratados es igual al de rodales tratados silviculturalmente, siempre que la densidad de aquellos (número de árboles) no sobre pase la densidad máxima permisible que se defina.
- 3- Los raleos serán selectivos y preferentemente hechos por lo bajo, según la definición de este concepto dada por Samek (1967), tipo de raleo recomendado universalmente para el género *Pinus* (Varona, 1982; Ugalde, 1983; Alvarez y Varona, 1988).

La intensidad medida en número de árboles a cortar esta en relación directa con la calidad del sitio y la etapa de desarrollo en los rodales. El raleo es indicado cuando la densidad es mayor o igual que la máxima permisible.

- 4- En un rodal no raleado, la reducción del número de árboles con el tiempo será consecuencia de la mortalidad natural, equivalente a un aclareo ligero y por tanto sin alterar en mayor medida la distribución de frecuencias de los diámetros.

Para los parámetros fundamentales de esta tabla se procesaron las 396 parcelas anteriormente empleadas y fueron agrupadas por índices de sitio lo

que constituye el primer paso para la construcción de tablas de rendimiento o de producción.

En cada índice de sitio se determinaron los siguientes parámetros:

$$N = f(A, h, h_0, d_{1.30}, G, V_t, V_{ext})$$

$$d = f(A, h, h_0, N, G, V_t, V_{ext})$$

$$h = f(h_0, V_t)$$

Donde:

N - Número de árboles por hectárea.

A - Edad en años.

d - Diámetro medio en centímetros.

h - Altura media en metros.

G - Area basal en metros cuadrados.

V_t - Volumen total.

V_{ext} - Volumen a extraer.

h₀- Altura dominante

CAPÍTULO 3

TABLAS DASOMÉTRICAS BASADO EN EL ANÁLISIS DE DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS

La actividad forestal de un país se desarrolla en torno a cómo poner eficiente y permanentemente al servicio de la sociedad, los bienes y servicios derivados del ecosistema bosque. Consecuentemente el objetivo básico de la producción forestal a través de las plantaciones forestales es obtener del bosque la máxima cantidad de un determinado producto, de la mejor calidad, en el menor tiempo, al menor costo posible y sin dañar la capacidad productiva del ecosistema.

Una plantación forestal puede ser manejada para maximizar su crecimiento por hectárea o para maximizar el crecimiento de los árboles individuales de la misma. Bajo la primera opción se obtendrá de la plantación en el menor tiempo posible la máxima cantidad de material leñoso de diámetro pequeño, que puede utilizarse para leña, astillas, postes, pulpa, etc., bajo la segunda opción se obtendrá de la plantación un volumen menor, pero compuesto de árboles grandes, para aserrar, laminar, postes eléctricos, etc.

El crecimiento y rendimiento futuro del rodal depende del manejo que este haya recibido. Teniendo en cuenta que el crecimiento de un árbol (medido en metros cúbico por año) depende de varios factores entre los cuales podemos señalar la competencia a que están sometidos, su estado sanitario, sus características genotípicas, el manejo silvicultural aplicado y la calidad de sitio donde estos crecen es que en este capítulo se aborda todo lo relacionado con las tablas dasométricas utilizando los modelos matemáticos de mejor ajuste con el objetivo de obtener el mayor rendimiento por superficie plantada.

3.1. Índices dasométricos de las plantaciones estudiadas.

La tabla 1 permite valorar por hectáreas y por estratos en función de la edad los diferentes índices dasométricos medios y en general de las parcelas muestreadas.

El número de parcelas levantadas (396) fueron distribuidas en cada uno de los seis estratos y se realizó la distribución teniendo en cuenta la participación por edades de esta especie en la superficie plantada. Se consideró suficiente la muestra tomada para alcanzar la exactitud prefijada ($< 15\%$ de error), puesto que se muestreó a razón de una parcela por hectárea, con un tamaño de 500 m² y una intensidad de 5%, lo cual posibilita obtener valores más confiables que los que exigen los bosques regulares por su poca variabilidad, cuestión demostrada al determinar el tamaño de la muestra.

Como se observa en esta tabla el número de árboles está por debajo de lo que a esas edades iniciales debían existir y esto trae consigo una mala utilización de la superficie forestal y bajos rendimientos a la hora del aprovechamiento. El crecimiento e incremento medido en las plantaciones analizadas no se consideró malo, aunque es evidente que en suelos de mejores características y correctas atenciones silviculturales los resultados pueden ser superiores. Sin embargo es importante reforestar o forestar las áreas con poca fertilidad y difícil acceso con esta especie forestal ya que es una de las pocas que en esos lugares puede desarrollarse en correspondencia con sus características. Esto se corresponde con lo planteado por autores como Matos (1963); Samek (1967) y Varona (1982), no obstante se considera que el no haber realizado la reposición de fallas trajo como consecuencia una baja densidad poblacional y esto a su vez una disminución en los rendimientos al final del turno y en los surtidos a extraer en las intervenciones silviculturales. Por tales razones se aprecian bajos resultados por hectárea en determinadas edades tanto en área basal como en volumen de madera.

Los marcos de plantación utilizados actualmente según información del MINAGRI son 2x2 y 2x2.5 lo que corresponde a 2500 ó 2000 plantas por hectáreas respectivamente.

Analizando algunos de los estratos de la muestra tomada se puede observar que la densidad está por debajo de los límites permisibles por el organismo encargado de estos controles y por ende sería necesario en tiempos actuales

volver a realizar la plantación, tarea y responsabilidad del Servicio Estatal Forestal.

En general, los crecimientos e incrementos de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** son inferiores a los de ***Pinus caribaea*** informado por Gra et al.(1990) y por autores como Samek (1967) y Varona (1982). Esto es evidente por las características propias de la especie y por los sitios donde el pino hembra se desarrolla.

Por todo lo que se ha explicado y por no haber realizado tratamientos silviculturales durante la vida de la plantación es que la figura 2 y 3 se comportan diferentes a lo que debía ocurrir en este tipo de bosque si las alternativas de manejos y atenciones iniciales se aplicaran como corresponde. El número de árboles debe disminuir a medida que aumenta el diámetro del área basal media. Esto se corresponde con lo planteado por Reineke (1933 citado por Peñalver, 1991), sin embargo en las plantaciones objeto de estudio no hay afectaciones de incremento diamétrico por la densidad poblacional, pero tampoco ha existido una correcta atención silvicultural, por tales razones el número de árboles se mantiene estable independientemente de los incrementos en diámetro. De forma similar ocurre en la figura 3 , en la relación número de árboles y diámetro del ancho de copa. Si se realiza un gráfico con estas mismas variables según las tablas elaboradas en este trabajo los resultados son muy diferentes y se corresponde con lo planteado por Reineke.

En posteriores estudios, será conveniente relacionar los incrementos para determinadas zonas donde se desarrolle el ***Pinus tropicalis*** con carácter de bosque regular. En este trabajo no es posible analizar esas relaciones por no existir investigaciones detalladas y por ser una especie endémica de esta zona occidental donde se microlocaliza aún más por encontrarse a escala de bosque productor en sólo cuatro de las siete Empresas Forestales de la Provincia.

Como en otras especies forestales, el desarrollo de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** depende de la calidad de los sitios donde se establezca y de la atención silvicultural que reciba. Sin lugar a dudas los valores de incrementos no tienen que aproximarse, ni mucho menos podrán ser como los reportados por Jacobs (1981), superiores a los 30 m³/ha/año en plantaciones de ***Eucalyptus***, pero con toda seguridad se obtendrá un mayor rendimiento y un

indudable mejor aprovechamiento tanto de la superficie cubierta como del volumen maderable.

3.2. Parámetros estadísticos obtenidos a partir de la distribución de frecuencia.

En las 350 parcelas procesadas, se usó la prueba de Ji cuadrado (χ^2) para la bondad del ajuste de las distribuciones de frecuencias diamétricas observadas a la distribución normal y sólo a 10 de ellas fue necesario aplicarle la prueba de Kolmogorov Smirnov por ser esta mucho más flexible y permitir ajustar los datos a la distribución normal con mayor facilidad. En la muestra analizada la hipótesis de que la distribución es normal no puede ser rechazada para un nivel de significación de 0,05. (Ver Fig. 4).

En el siguiente resumen se expresan los valores promedios de los estadígrafos calculados:

- diámetro relativo mínimo = 0,51 (dr. min.).
- Diámetro relativo máximo = 1,53 (dr. max).
- Coeficiente de variación = 0,26 (cv).
- Coeficiente de simetría = 0,09 (b_1).
- Coeficiente de curtosis = 2,77 (b_2)

Las parcelas que no pudieron ser ajustadas a la distribución normal aplicando la prueba de χ^2 (Ji cuadrado) y a las cuales fue necesario aplicarles la de Smirnov fue debido a la poca variabilidad de sus diámetros, lo cual determina una falta de normalidad en sus distribuciones diamétricas, quizás como consecuencia de la no aplicación de tratamientos silviculturales y la no reposición de fallas lo que aparenta una correcta o baja densidad poblacional por hectárea, pero una similitud en los diámetros de árboles que forman grupos densos en determinadas áreas y claros pronunciados en otras.

Intervalos de confianza del coeficiente de variación:

Considerando que el coeficiente de variación de los diámetros relativos es equivalente a la desviación standard relativa, entonces:

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}}$$

$$\bar{X} = \text{dr medio} = 1$$

$$(\text{Cv})^2 = S^2$$

$$(0,26)^2 = 0,068 = S^2$$

De esto resulta que los intervalos de confianza para la varianza son:

$$]0,0419; 0,1273[$$

Que es equivalente a :

$$0,20 < \text{Cv} < 0,36$$

Intervalos de confianza de los diámetros relativos mínimos y máximos:

$$0,40 < \text{dr min} < 0,59 \quad \text{y} \quad 1,40 < \text{dr max} < 1,59$$

En la matriz de correlación que aparece en los anexos se puede observar el análisis de correlación de las variables que caracterizan la distribución de frecuencias diamétricas. El diámetro medio y el diámetro del área basal media tienen una ligera dependencia de la edad, sin embargo esos mismos parámetros manifiestan una fuerte dependencia del número de árboles. Se aprecia una aceptable relación entre la altura y los diámetros con independencia de la no correcta aplicación de tratamientos silviculturales.

El coeficiente de simetría tiene una ligera correlación con el número de árboles, el diámetro y la altura, no así el coeficiente de curtosis o de apuntamiento.

El diámetro del área basal media y el diámetro medio absoluto no tienen una fuerte relación con la edad, pero sí con la densidad poblacional.

En el presente estudio las parcelas siguen una distribución normal o al menos la hipótesis no puede ser rechazada para un nivel de significación de 0,05. Esto se corresponde con trabajos similares desarrollados por García (1989), en 72 muestras de *Pinus caribaea* donde fue ajustada el 100 % de ellas, a Peñalver (1991) en *Eucalyptus spp.* con 56 muestras sólo le fueron ajustadas el 53,5 %

y a Gra et. al (1992) en 422 muestras empleadas en el país en plantaciones de ***Pinus caribaea*** el número de parcelas a las cuales la hipótesis de seguir una distribución normal no pudo ser rechazada ascendió a 368.

En base a los resultados anteriores se puede plantear que el coeficiente de variación promedio estimado (cv) igual a 0,26 comprendido dentro del intervalo de confianza]0,20; 0,36[, corresponde a la correlación dada por Prodan (1962, citado por Anuchin, 1970) de que el coeficiente de variación promedio en rodales homogéneos es de 30 %.

Los valores de los coeficientes de simetría y apuntamiento (b_1 y b_2), permiten afirmar que la distribución diamétrica aunque ajusta satisfactoriamente a la normal, es ligeramente asimétrica y positiva, algo menos apuntada que la distribución normal ($b_1=0$ y $b_2=3$).

Estandarizando el valor del diámetro relativo desde 0,5 a 1,5 en clases de 0,1 de amplitud con un coeficiente de variación de 0,26, mediante la variable normal z, se obtuvo la siguiente distribución de frecuencias esperadas en clases de diámetros relativos:

Cuadro 3. Distribución de frecuencia relativa

dr	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
%	2.54	4.46	8.64	11.67	14.87	15.6	14.88	11.64	8.29	4.87	2.14

Como conclusión se puede plantear que la distribución de frecuencias del diámetro de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** siguen una distribución normal o al menos esa hipótesis, no se puede rechazar en base a las muestras analizadas. La distribución encontrada es ligeramente asimétrica, positiva y algo menos apuntada que la distribución normal, Peñalver (1991), llegó a conclusiones muy similares para plantaciones de ***Eucalyptus spp.***, aunque al igual que Stephan (1980), obtuvo una distribución del diámetro relativo más amplio (0,4; 1,8), (0,4; 1,7) respectivamente. En plantaciones de ***Pinus caribaea*** García (1989) y Gra et al. (1992), realizaron estudios sobre distribuciones diamétricas y la distribución relativa de los diámetros es igual a la obtenida en este trabajo con valores muy similares de asimetría (0,03) y

Curtosis (3,0) y (0,53) y (3,05), respectivamente, con ligeras discrepancias en el coeficiente de variación pero que en todos los casos está alrededor del 30 % o por debajo en la variabilidad del diámetro.

Este resultado es de importancia en la modelación de la estructura dimensional del rodal, para su aplicación práctica en la estimación de surtidos maderables y opciones a utilizar en el manejo silvicultural.

3.3 Tablas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus tropicalis* .

Para el índice de sitio se tomó como criterio de calidad productiva el valor de la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea (Keogh, 1979 citado por García y Tella, 1986; Rennolls y Peace, 1986; Báez, 1988; Aguilar et al. 1991; Peñalver, 1991 y Gra et al., 1992), ajustándose los valores de altura dominante (h_o) y edad (A) obtenidos en las diferentes parcelas mediante análisis de regresión.

El resultado del análisis de regresión aplicado para el ajuste del modelo de crecimiento seleccionado usando la altura dominante y la altura media es el siguiente:

$$\ln h_o = 2.7309 + (-38.9185) \frac{1}{33^{1.67}}$$

$$r = -0.8685 \quad r^2 = 0.7543 \quad SCR = 3.0734$$

$$\ln h_m = 2.6872 + (-42.0414) \frac{1}{33^{1.6}}$$

$$r = -0.8307 \quad r^2 = 0.6901 \quad SCR = 6.9281$$

Atendiendo al grado de dispersión de la altura dominante y la altura media se propone diferenciar las calidades de sitio por el valor del índice de sitio a la edad de 33 años tomando como base un turno de aprovechamiento de 50 años de edad con intervalos de 2 metros, rangos similares han sido empleados en la URSS y en EEUU (Anuchin, 1970), también han sido propuesto en Cuba para *Casuarina equisetifolia* por Báez (1988); por Gra et al. en *Pinus caribaea* (1990) y por Peñalver (1991) para *Eucalyptus spp*

Las ecuaciones determinadas representan el crecimiento promedio de la altura mayor y la altura media constituyendo la curva guía para la definición de los índices de sitio. Estos índices de sitios son similares a los encontrados por Aguirre y Zepeda (1985), en México, indicados también por Alvarez y Varona (1988).

Los índices de sitio propuestos son los siguientes 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22 y 24 metros, correspondiendo con la edad índice de 33 años de la curva guía la cual representa las dos tercera partes del turno que se propone.

La tabla 2 refleja los valores estimados de la altura dominante para su empleo en la esfera productiva y se reportan valores de altura media con la misma finalidad que en la anterior en la tabla 3. Realizamos el mismo procedimiento para la estimación del índice de sitio en los dos casos, o sea, la altura mayor y la altura media, pues aunque se conoce que la altura mayor es un mejor indicador para el índice de estación (Anuchin, 1970; Alder, 1980; Gra et. al, 1990; Peñalver, 1991), no es usual en la producción estimar dicho índice dasométrico.

La curva de crecimiento de altura dominante que determina cada índice de sitio se define como proporcional a la curva guía mediante el cálculo del término independiente:

$$a_i = \ln S - \frac{b}{A^k}$$

Donde b y k provienen de la curva promedio. De esta forma quedaron definidas las ecuaciones para cada índice de sitio en función de la altura dominante y la altura media.

Cuadro 4: Ecuaciones de Indices de sitio para alturas dominantes.

Índice de sitio (m)	Ecuación para h_0
8	$\ln h_0 = 2.1927 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
10	$\ln h_0 = 2.4158 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
12	$\ln h_0 = 2.5982 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
14	$\ln h_0 = 2.7523 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
16	$\ln h_0 = 2.8858 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
18	$\ln h_0 = 3.0036 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
20	$\ln h_0 = 3.1090 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
22	$\ln h_0 = 3.2043 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$
24	$\ln h_0 = 3.2913 + 38.9185 \cdot 1/A^{1.67}$

Cuadro 5: Ecuaciones de Indices de sitio para alturas medias

Índice de sitio (m)	Ecuación para h_m
8	$\ln h_m = 2.2358 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
10	$\ln h_m = 2.4589 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
12	$\ln h_m = 2.6412 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
14	$\ln h_m = 2.7954 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
16	$\ln h_m = 2.9289 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
18	$\ln h_m = 3.0467 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
20	$\ln h_m = 3.1521 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
22	$\ln h_m = 3.2474 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$
24	$\ln h_m = 3.3344 + 42.0414 \cdot 1/A^{1.6}$

Gráficamente el resultado puede apreciarse en las figuras 5, 6 y 7, con mayor claridad en esta última.

En las tablas 2 y 3 se reflejan los valores predictivos en intervalos de 5 años dada las características de crecimiento de esta especie, de esta forma aparecen las alturas posibles a alcanzar dominantes y medias respectivamente

para cada uno de los índices de sitio, valores que nos permiten la evaluación práctica de la calidad de sitio en las plantaciones existentes.

Las curvas de índices de sitios propuestas en este trabajo permiten diferenciar claramente las calidades de los mismos y de esta forma poder clasificar las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la provincia de Pinar del Río según su productividad potencial (figura 7).

El sistema de índice de sitio propuesto, expresa directamente la calidad del mismo en valores absolutos de altura dominante, elemento indicador por excelencia de la calidad de la estación, también aparecen los valores absolutos de altura media en cada uno de estos sitios. Esto nos permite efectuar la comparación con otras especies, pero con mayor uso y eficacia con otros lugares donde se desarrolle la especie objeto de estudio.

El expresar la calidad de estación mediante la altura dominante a una edad determinada es un criterio universalmente aceptado (Moosmayer, 1957; Dagnelie, 1957; Parde, 1957; Kramer, 1959; Decourt, 1969; Hamilton y Christie, 1971; Asman, 1975 citados por Bara y Toval, 1983; Narváez, 1992), por ser dicho valor independiente del tratamiento selvícola de la masa, expresando fielmente la potencialidad productiva de la estación.

Muy en correspondencia con estos criterios, en este trabajo se determinan los índices de sitios para las cuatro empresas donde se desarrolla la investigación teniendo en cuenta los dos tipos de alturas posibles a obtener, sin dudar nunca que la determinante siempre será la dominante por ser la única que prevalece en los rodales tratados o no.

No se consideró importante el agrupamiento por índice de sitio para las áreas muestreadas, puesto que la extensión del trabajo podrá ser mayor con el uso de estas tablas en la nueva ordenación empresarial que comenzará próximamente con el recién creado grupo de ordenación y al cual se le facilitaron y facilitarán todo lo que a este trabajo se refiera y pueda ayudar al éxito del mismo.

Si se pudo constatar que las diferencias en cuanto a índices de sitio que se producen en las empresas estudiadas no son marcadas y dependen más bien de las prioridades que en un determinado momento hayan existido en una empresa u otra. Así se puede señalar en cuanto a clasificación absoluta que las áreas de mayor desarrollo se encuentran en la Unidad Silvícola de Sábalo

perteneciente a la EFI “Macurijes” y en las Cuchillas de San Simón correspondiente a la empresa Pinar del Río.

Según la última clasificación de suelo los pinares formados por esta especie se desarrollan en suelos muy similares y sólo en lugares puntuales hay diferencias visibles de materia orgánica o profundidad de suelo.

Las diferencias detalladas no son posibles plasmar en el marco de este trabajo, puesto que esta clasificación es absoluta y está basada sólo en los parámetros dasométricos del rodal y para ello es necesario realizar la investigación de los factores del sitio tanto los topográficos como los edáficos ya que son ellos la causa de la principal fuente de variación del potencial productivo de los sitios.

Según Alder (1980), utilizar como variables predictoras el contenido de nutrientes, la profundidad y textura del suelo entre otros pueden considerarse modelos de predicción de la calidad del sitio.

Yordanov (1989 citado por Peñalver, 1991) considera adecuado estudiar la relación entre el índice de sitio y factores tales como la profundidad del suelo, el contenido de humus, la capacidad de retención de agua, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio y los niveles de micronutrientes.

Existen diversos criterios para evaluar la calidad y se pueden agrupar del siguiente modo:

1. Clasificación basada en criterios ecológicos.
2. Clasificación basada en criterios florísticos.
3. Clasificación basada en criterios dasométricos.

La última clasificación es la empleada en este trabajo, donde se estudia la producción de masas artificiales a través de la evaluación de características medias muy estrechamente ligadas con el volumen maderable.

No obstante se sugieren investigaciones de los factores básicos de la producción del sitio, así como las características físicas y químicas del suelo.

3.4 Confección de tablas de volúmenes.

Para la confección de estas tablas se probaron un grupo de ecuaciones matemáticas para el cálculo del volumen del fuste total con y sin corteza. Sin embargo si “Y” tiende a aumentar en cantidades más pequeñas cada vez en lugar de aumentar su pendiente, la curva se hace más plana. Para estos casos se necesita según Webster (1996) un modelo semilogarítmico ó logarítmico que

halla la regresión de y o del \log . de y en función del logaritmo de x . Existe un momento a partir del cual la función de incremento es decreciente, esto se corresponde con muchas especies forestales y más aún con la especie objeto de estudio por las características de crecimiento que posee. En el cuadro 6 aparecen los modelos logarítmicos probados y se puede ver que el modelo $\log V = a + b \log d_{1.3} + c \log h$ es el de mayor coeficiente de determinación y menor error típico de la estimación, sólo es superado por el que posee cuatro variables independientes, que es mucho más complejo y la superioridad es insignificante. Este modelo logarítmico de dos variables independiente resultó ser el que mejor ajuste presentó tanto para volumen con corteza como sin ella.

La misma ecuación fue elegida por resultados similares para la confección de tablas de volúmenes en ***Casuarina equisetifolia*** por Báez (1988) y por Gra et al. (1990) en plantaciones de ***Pinus caribaea***.

La calidad de las funciones logarítmicas (modelo de Spurr, 1952, citado por Loetsch, Zohrer y Haller, 1973), coincide con Wensel (1973, citado por Wensel y Krumland, 1983) y con Webster (1996) en que el ajuste de ecuaciones de volumen por procedimientos logarítmicos proveen de consistentes y lógicos estimadores así como que satisface los requisitos usuales de la regresión, por lo que no se considera necesario otro tipo de transformación.

Además de los ya señalados, otros autores han realizados trabajos semejantes con diferentes especies. Ibarra et al., (1996) utilizaron este procedimiento para ***Pinus tropicalis*** en la (EFI) Minas y la ecuación de mejor ajuste fue la ecuación logarítmica escogida en este trabajo, asimismo Rodríguez y Moreno (1982) elaboraron tablas de volumen para ***Pinus montezumae*** Lamb.

También Peñalver (1987), elaboró tablas de volúmenes con la ecuación $\log V = a + b \log d^2 h$, la cual fue probada por Báez (1988), por Gra (1990) y también en este trabajo donde ha presentado una alta precisión, o sea, alto coeficiente de determinación y reducido error.

La ecuación de mejor ajuste presentada fue la de transformación logarítmica al diámetro y a la altura total como variables independientes (Cuadro 6), con la misma se elaboró la tabla de volumen con corteza (tabla 4).

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión para Volumen con corteza

Ecuaciones	R	R ²	E
Log V=a+b log d ² h	0.9902	0.9806	0.0529
Log V=a+b log d +c log h (* * *)	0.9917	0.9836	0.0487
Log V=a+b log d	0.9873	0.9749	0.0603
Log V=a+b log d +c log ² d+d log h+e log ² h	0.9920	0.9840	0.0485

(* * *): Ecuación elegida.

R= coeficiente de correlación

R²=coeficiente de determinación

E=Error

Log Vcc=-3.8920+1.9799 log d_{1.30}+0.5665 log H.

Coeficiente de determinación (r²)=0.9836

Coeficiente de determinación ajustado (r²)= 0.9835

Error (E)= 0.0487

Análisis de varianza para la regresión

Fuente	Sum. de cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	37.3873	2	18.6936	7857.19	0.00
Residual	0.6209	261	0.0024		
Total	38.0083				

La misma ecuación fue la mejor ajustada para la determinación del volumen sin corteza y con ella se elaboró la (tabla 5).

Log Vsc =-4.1056+2.0806 log d_{1.30} +0.4855 log H

Coeficiente de determinación (r^2)=0.9624

Coeficiente de determinación ajustado (r^2)=0.9621

Error (E)=0.0765

Análisis de varianza para la regresión

Fuente	Sum. de cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	39.1981	2	19.5990	3341.79	0.00
Residual	1.5307	261	0.0058		
Total	40.7288				

Los valores calculados para evaluar la calidad de las ecuaciones, error medio (EM), error medio absoluto (Em_a %), desviación global (DG%) y porcentual (Dp), aparecen a continuación y reflejan la calidad de la ecuación para los volúmenes con corteza y sin ella.

Cuadro 7. Valores Estadísticos

.	Vcc	Vsc
EM	0.0326	0.0448
Em_a %	9.0	11.03
DG%	1.66	3.74
Dp%	10.36	17.14

En todos los casos los errores y las desviaciones calculadas para el volumen sin corteza son superiores a los obtenidos en el volumen con corteza, quizás por la variabilidad de la misma a lo largo del fuste, lo que se manifiesta de forma diferente en cada individuo. Además es importante tener en cuenta que las mediciones de los diámetros sin corteza o del grosor de la corteza generalmente son menos precisa que las mediciones con corteza y esto puede contribuir a que el error sea superior.

Las tablas de volúmenes que en este trabajo se presentan para las plantaciones de *Pinus tropicalis* son sin lugar a dudas lo suficientemente

precisas si tenemos en cuenta el error y las desviaciones ya comentadas y mucho más confiable que las actuales, pues éstas son hechas con carácter más generalizado y en algunos casos se han construido empíricamente lo que pudo haber resuelto el problema en determinado momento pero la confiabilidad no está en correspondencia con la necesidad del desarrollo forestal actual.

3.5 Coeficiente mórfico o factor de reducción

La muestra tomada ascendió a 264 árboles tipos, cortados y cubicados por el método de Smalian en las distintas áreas de plantaciones de la especie. El volumen del cono o volumen real se determinó utilizando trozas de un metro de longitud, se calculó el volumen del cilindro y estos valores facilitaron la obtención del factor de reducción para cada uno de los árboles. Posteriormente se obtuvo el coeficiente mórfico promedio utilizando la fórmula que aparece en el epígrafe 2.6 del capítulo 2

Cada volumen que pueda considerarse en un árbol tiene su correspondiente factor de forma, el más común es el que se refiere al volumen total del tallo con relación al diámetro a 1,30 metros y se denomina coeficiente mórfico. El mismo se determina en este trabajo a partir de todas las informaciones obtenidas, las cuales incluyen un alto número de datos de las diferentes clases diamétricas.

Según Anuchin (1970), los factores de forma son una etapa pasada en la medición forestal y puede ser descartada en la práctica moderna.

En este trabajo se considera importante determinar el factor de reducción para usarlo en el cálculo de volumen para árboles en pie, no así cuando se trate de árboles derribados donde la tabla de volumen puede ser más exacta y dinámico el trabajo.

La dificultad en la precisión para la medida de altura, a diferentes longitudes del árbol puede hacer menos usual la ecuación del perfil del fuste, pero sin duda esa será más exacta en la estimación.

Usando la fórmula expuesta anteriormente en el capítulo 2 se determinó el factor promedio ponderado de los factores mórficos individuales, calculados por la relación del volumen real obtenidos en las trozas metro a metro y el volumen del cilindro conociendo la longitud total.

$$f = \frac{84.45649}{181.1} = 0.4663 \approx 0.47$$

En la figura 8 se observa que hay una ligera tendencia de disminución del factor de reducción con el aumento de la altura del árbol y se puede apreciar una aparente estabilización de ese factor a la altura de 14 metros. La figura 9 muestra cuales serian los diámetros del arbolado para los coeficientes mórficos determinados por clases diamétricas.

Siguiendo entonces la metodología de Montaña y Eremeev (1977) se obtuvo un coeficiente de 0.54 hasta 14m de altura y uno de 0.45 para más de 14m. Finalmente se concluye este epígrafe diciendo que el factor de reducción para la especie en su conjunto es de 0.47.

3.6 Tabla de surtido.

La ecuación de regresión obtenida entre las variables relativas $Y=d/d_{1.30}$ y $X=h_i/H$ de los 264 árboles de muestra para tres variables independientes es:

$$(H_i/H); (H_i/H)^3$$

$$R=0.9592$$

$$R^2=0.9201$$

$$\text{ajuste } r^2=0.9200$$

$$\text{Error Standard estimado}=0.09535$$

$$\text{STd error}=0.003332$$

Análisis de varianza de la regresión					
Fuente	Sum. de cuadrado	GL	cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	414.6253	3	138.2084	16561,2	0.00
Residual	36.0017	4314	0.0083		
Total	450.6270				

Finalmente la ecuación para el cálculo de los coeficientes necesarios para determinar el volumen de surtido con corteza quedaría del siguiente modo:

$$\frac{dcc}{d_{1.30}} = a + bx + cx^2 + dx^3$$

$$\frac{dcc}{d_{1.30}} = 1.1192 - 1.5224 \frac{Hi}{H} + 1.7340 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 1.2644 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3$$

Los cálculos del diámetro sin corteza para tres variables independientes arrojaran los siguientes resultados:

R=0.9459

r²=0.8947

ajuste r²=0.8946

Error Standard estimado=0.8634

STd error =0.003149

Análisis de varianza de la regresión

Fuente	Sum. de cuadrado	GL	cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	273.3503	3	91.1167	12221.86	0.00
Residual	32.1619	4314	0.00746		
Total	305.5122				

La ecuación para conocer los coeficientes que se usaron para determinar el volumen de surtido sin corteza es la siguiente:

$$\frac{D_{sc}}{D_{1.30}} = 0.90188 - 1.0972 \frac{Hi}{H} + 1.1441 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 0.84729 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3$$

Con estas ecuaciones obtenidas para los volúmenes con corteza y sin ella fue posible determinar los volúmenes totales y por surtido, después de calcular las Hi a través del software Derive lo que facilita una aceptable precisión con el uso de la siguiente expresión F (x, a, b, c)

Donde:

x= Valores de Hi según los surtidos.

a= Diámetro aprovechable (6, 13, 24).

b= Diámetro a 1.30m.

c= altura total.

Con el uso de las fórmulas de volumen total y por surtido que aparecen en el epígrafe 2.7 y usando el paquete estadístico Statistica se determinaron los valores de volúmenes en cada uno de los casos y por diferencia debía obtenerse el porcentaje de volumen de corteza. Esto último no fue posible, ya que la ecuación de perfil del fuste, describe una línea recta a lo largo del tronco del árbol y el por ciento de ese residuo se mantiene constante, lo que no se corresponde con la realidad, pues de todos es conocido que a medida que aumenta la clase diamétrica disminuye el porcentaje de corteza en relación al volumen total de madera. Tal problema fue resuelto usando la ecuación logarítmica con dos variables independientes elegida para el cálculo en la tabla de volumen, la cual aparece también en el epígrafe antes mencionado.

Así, finalmente pudo construirse la tabla de surtido para las plantaciones de *Pinus tropicalis* en la provincia de Pinar del Río (tabla 6).

3.7 Tablas de densidad y de producción de madera.

3.7.1 Tabla de densidades.

Como elemento primordial e importante se debe señalar que los resultados obtenidos para estas últimas tablas se pueden considerar de confiabilidad aceptable sólo hasta la edad de 35 años. A partir de esta edad los resultados que se obtienen se extrapolan mediante la curva guía, los modelos matemáticos utilizados y los incrementos medios calculados, ya que no existen plantaciones de 34 años de edad y por ende en nuestra muestra de estudio no se consideran plantaciones con edades superiores a ésta. Se utilizan incrementos medios anuales que pueden sobrestimar un poco el volumen de madera, pero si se supone una disminución del incremento incurriríamos en una subestimación sin la seguridad de que ocurra de ese modo, por eso consideramos más adecuado manejar los resultados con mayor confiabilidad sólo hasta 35 años y de esa edad en adelante usar las tablas sujetas a posibles cambios de incrementos medios, lo cual pudiera traer como consecuencia resultados no exactamente igual a los aquí señalados.

La construcción de esta tabla está basada en la relación que plantea Reineke (1933 citado por Volkart, 1972) del número de árboles y el diámetro del área

basal media y a su vez se tuvo en cuenta la espesura, pues se conocía la superficie cubierta de copa promedio en cada una de las clases diamétricas y además se conoce cuales son los incrementos medio anual en diámetro y en altura y cómo se comporta en los nueve índices de sitio propuestos.

Se plantea como premisa que la superficie normal cubierta por las copas de los árboles sea el 70% o a lo máximo 75% por tiempo muy breve si se quiere lograr que el incremento en diámetro no tenga afectaciones mayores. Es preciso recordar que la forma de la copa de los árboles no es cuadrada por lo que el 100% de la superficie no puede ser cubierta por las copas, aún en el bosque normal. En lo que respecta a las coníferas se puede decir que el perfil vertical de la copa es más bien redondeado o algo elíptico y en el ***Pinus tropicalis*** es más cónico que en el ***Pinus caribaea*** donde se considera más irregular. Esta condición unido al hecho de desarrollarse en suelos de peor fertilidad y condiciones físicas posibilita que en las diferentes etapas del desarrollo del rodal exista un mayor número de individuos en el primero de las dos especies de pino anteriormente mencionada, considerando necesario en alguno de los casos establecer marcos de plantación más estrechos de manera que sea posible un mejor aprovechamiento de la superficie y una mejor conservación del suelo. Para la elaboración de la tabla de densidades se usan los marcos de plantación vigentes en la esfera productiva (2x2 ó 2x2.5), que equivale a 2500 y 2000 plantas por hectárea, usando como base para los cálculos el 80% de sobrevivencia, valor aceptado por el Servicio Estatal Forestal para retribuir a las empresas o entidades los gastos en los que se incurrió hasta que las plantaciones puedan considerarse como establecidas.

Esta tabla de densidad se elabora sobre la base del índice de sitio medio y es uno de los elementos básicos en la construcción de las tablas de producción en cada uno de los índices de sitio propuestos para esta especie.

Para elaborar esta tabla se consideró que la densidad (1) era la óptima para facilitar los incrementos en diámetro de las plantaciones, por tal motivo por encima de ese valor se considera necesario ralea y bajar hasta 1 y si es inferior, por debajo del valor óptimo no es necesario realizar intervención silvicultural. Este procedimiento esta en correspondencia con el usado por Gra et al. (1990) para la construcción de tablas de densidad en plantaciones de ***Pinus caribaea*** y difiere del usado por Montaña y Eremeev (1977) para la

norma ramal 595 en que estos últimos usan 0.7 como densidad óptima para facilitar el incremento en diámetro.

Al comienzo de este epígrafe fue puntualizada la necesidad de admitir como datos de mayor confiabilidad los que aparecían hasta la edad de 35 años y se explica la razón por la cual esto es necesario. Sin embargo, como el índice de sitio es medio, de esa edad en adelante no se proponen raleo y en diez años solo hay un incremento en altura de menos de 1m (ver tabla 3), y utilizando el incremento medio anual determinado hasta esa edad (0.7cm/año), se convierten en 7cm de diámetro como incremento, cuestión que produce un salto considerable en los valores del área basal. Este último valor de la tabla está sujeto a posibles cambios en función de que se mantenga o disminuya el incremento medio anual de estas plantaciones.

A diferencia de las tablas elaboradas por Gra et. al (1990) para ***Pinus caribaea***, esta tabla llega a alcanzar alturas medias muy inferiores.

Las primeras llegan a obtener el doble de la altura media alcanzadas en la tabla que aquí se presenta (tabla 3).

Es importante señalar que los sitios medios donde se desarrolla el ***Pinus tropicalis***, objeto de nuestro trabajo son los de peores condiciones en el patrimonio forestal y es esa la principal causa que motiva la utilización de este tipo de pino que es capaz de desarrollarse donde otros no lo hacen y que es endémico de la parte más occidental del país.

3.7.2 Tablas de producción.

Para construir las tablas de producción para la especie y para las zonas objeto de estudio se tienen en cuenta un grupo de aspectos entre los cuales se encuentran la edad, los índices de sitio y los índices dendrométricos y dasométricos fundamentales en función de esos sitios.

Para confeccionar las tablas de producción, se fijaron las edades, en función de las características de la especie, el turno de tala y los objetivos para los cuales son destinados los productos a obtener.

Cuando las especies son de crecimiento rápido, cuyos incrementos pueden ser apreciados en tiempos muy cortos es posible establecer las edades con intervalos hasta de un año como mínimo. Esto se corresponde con el criterio de González (1986) al construir tablas de producción para ***Populus***

Euroamericana en España y con Báez (1988) para ***Casuarina equisetifolia*** en los suelos cenagosos de la provincia Habana.

Por el contrario si las especies son de crecimiento más lento, las condiciones ecológicas menos favorables y los turnos más largos, los intervalos de edades son más amplios.

Así, Lembcke et al., (1981), confeccionaron tablas de producción en Alemania con edades de hasta 130 años e intervalos de 5 años, también Bailey (1980), para ***Pinus elliottii*** en EEUU elaboró tablas con intervalos de 5 años para turno de 30 años., Gra et al., (1990), elaboraron tablas muy similares para ***Pinus caribaea*** con turno de 30 años.

Utilizando la clasificación absoluta de sitio realizada en función de la muestra escogida, las tablas de densidad y los incrementos medios anuales en diámetro para cada sitio se elaboraron las tablas de rendimiento para cada uno de los 9 índice de sitio definidos para ***Pinus tropicalis*** en la Provincia de Pinar del Río (tablas 7 a 16).

En estas tablas se recogen valores de los índices dasométricos tales como edad (A), altura media (hm), altura media dominante (h_0), diámetro a 1.30 metros ($d_{1.30}$), según ocurren los incrementos en las diferentes calidades de sitio, número de árboles usando el 80 % de sobrevivencia por índice de sitio (N/ha), área basal (G/ha), volumen en existencia (Vexi/ha), volumen extraído como resultado del tratamiento silvicultural (Vext/ha), volumen total que constituye la suma de ambos volúmenes para un mismo período (Vt/ha).

La calidad del sitio es un indicador básico en la confección de tablas de producción y en la determinación de otros aspectos en el manejo de las especies.

En dependencia de la variabilidad de los suelos y de la extensión en la cual haya sido obtenida la muestra para el desarrollo de la investigación será necesario mayor o menor cantidad de índices de sitio en función de la extensión cubierta por dicha plantación. Así por ejemplo García y Tella (1986), construyeron en España tablas de producción para tres calidades de sitio para ***Pinus silvestris***.

En Cuba Peñalver (1985), elaboró las tablas de rendimiento para las plantaciones de ***Eucalyptus spp.***, basado en 5 índices de sitio, tomando en cuenta que el territorio donde fueron tomadas las informaciones para la

investigación era lo suficientemente extenso para tales variaciones, aún mayor fue el territorio y por ende la variabilidad existente en los suelos donde se desarrollan en el país las plantaciones de ***Pinus caribaea*** razón por la cual se establecieron por Gra et al. (1990) 9 índices de sitio.

En los análisis realizados en las parcelas muestreadas a diferentes edades se pudo constatar la no dependencia de la relación $N = f(d)$, puesto que el número de árboles por hectárea está muy por debajo de lo que debía existir en función del marco de plantación que se utiliza para esta especie, más aún cuando no se han aplicado intervenciones silviculturales según se refleja en los registros de ordenación de las empresas forestales, esto como es lógico afectó la densidad inicial y el por ciento de superficie cubierta de copa, pero a su vez permitió que se produjeran los incrementos diamétricos sin muchas dificultades que no fueran las causadas por fallas en algunos grupos y excelente supervivencia en otros cercanos lo cual aparenta ocasionalmente una densidad poblacional baja y diámetros que no se corresponden con la misma (tabla 1).

En la figura 10 y 11 de los anexos se puede aceptar una aceptable relación de diámetro y altura y del diámetro del fuste del árbol con la copa del mismo lo que demuestra lo planteado antes en cuanto a la densidad y posibilidades de incremento en diámetro.

Los valores de los incrementos medio anual en diámetros y altura por hectárea según la muestra empleada sobre la base del volumen total con corteza y la edad estuvieron en 0,7 cm por año en diámetro y en 60 cm de altura.

Esta última se ajusta cuando se define la ecuación guía y los índices de sitio para la especie según la muestra utilizada. Los incrementos en diámetros, muy en correspondencia con la altura, permiten saber como ocurren los mismos en cada uno de los índices de sitio y como aún, en general, no existen afectaciones en los incrementos diamétricos.

Se definió, en función del índice de sitio y en correspondencia con la altura del mismo que los incrementos diamétricos (IDA), ocurrieron del siguiente modo:

Cuadro 8: Incremento medio anual en diámetro/Índice de sitio.

I.S(m)	24	22	20	18	16	14	12	10	8
IDA(cm)	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4

Donde:

IS- Índice de sitio absoluto en metros en correspondencia con la edad índice (33 años).

IDA- Incremento diamétrico anual (cm/año).

Estos valores y lo conocido antes en relación a los índices de sitio y densidades permiten elaborar con relativa seguridad las tablas de rendimiento y su potencial maderero a obtener, lo cual, por supuesto, difiere mucho de lo que actualmente se puede adquirir, como consecuencia de la no correcta atención a la plantación y la ausencia de intervenciones silviculturales, parámetros definitorios en la obtención de un bosque regular sustentable.

La tabla de rendimiento constituye una herramienta muy útil en manos del planificador forestal, independientemente que esta haya sido construida sobre la base de observaciones obtenida en muestreos y no por experimentación.

3.8 Validación del Modelo.

La validación es el procedimiento para determinar en qué medida el modelo representa la realidad: dadas las características de la información empleada para la simulación del crecimiento y rendimiento, lo difícil que resulta la toma de algunas de las informaciones, algunas de cuales pudieran medirse muy fácilmente de forma experimental, con la existencia de parcelas permanentes de producción.

Este problema se corresponde con trabajos realizados por Alder (1980) y por Goodwin y Candy (1986) en la validación de su modelo. Sin embargo, usando las técnicas estadísticas de análisis residual entre los valores estimados por el modelo y los datos para su construcción, se puede encontrar una alternativa práctica de validación, según Alder (1980), quien además considera que normalmente es suficiente hacer los estudios de validación sobre el volumen total. Siguiendo el procedimiento, se aplica el modelo a 80 árboles de prueba

para estimar su volumen utilizando como variables independientes el diámetro a 1.30 metros y la longitud total del fuste. Se considera que el modelo elegido para la construcción de tablas de volúmenes realiza una estimación satisfactoria, esta es una predicción básica en el pronóstico del rendimiento. Con el uso de estas tablas para el cálculo del volumen hay una subestimación del volumen real pero el error es solo de 3.2% y 4.4%. para volumen con corteza y sin ella respectivamente.

La validación del modelo para el crecimiento y rendimiento no fue posible realizarlo no solo porque no existan parcelas de producción permanente sino porque no hay plantaciones con edades superiores a 34 años de edad y no se conoce como se comportará la especie a partir de dicha edad.

3.9 Aplicación práctica de las tablas.

Las tablas obtenidas durante el desarrollo de esta investigación tienen de hecho aplicabilidad en la esfera productiva y facilitan el mejor manejo en cada uno de los sitios y los rodales donde se produce madera de esta especie, así como una mayor exactitud al momento de realizar determinaciones volumétricas o planificar la producción sostenida en los bosques regulares de ***Pinus tropicalis***.

La determinación de los índices de sitio para las plantaciones de esta especie en la provincia sirve como una herramienta importante para el trabajo que desarrolla el grupo de ordenación provincial, pues le permite clasificar según el estado de desarrollo en que se encuentre, la calidad del sitio en la que está incluida y las posibilidades potenciales de producción. Como se refleja en la figura 7, la clasificación por índices de sitio para las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** trajo como resultado un total de nueve índices motivado por la diversidad de la muestra tomada y la variabilidad de la calidad de los sitios en las Empresas muestreadas.

En función de esta clasificación y utilizando otras herramientas necesarias entre las cuales podemos señalar la relación número de árboles y diámetro del área basal media, el diámetro de la superficie de copa y el incremento diamétrico anual por índices de sitio. Se elaboraron las tablas de producción las cuales reflejan en que forma manejar el proceso productivo y como tratar cada

uno de los rodales en dependencia del índice de sitio en el que se encuentre según la clasificación potencial productiva. Todo esto permite elaborar tablas de producción capaces de proporcionar alternativas óptimas de manejo silvícola según corresponda en los índices de sitio propuesto. Lo anterior se puede apreciar en las tablas (8-16).

Las tablas de volúmenes elaboradas usando el modelo matemático de mejor ajuste facilitan obtener los volúmenes maderables existentes de determinadas masas forestales para la referida especie con características dendrométricas similares y cuando se analiza o valora en términos específicos, se puede asegurar que usando el cálculo más realista a través de la cubicación por trozas y comparándola con el obtenido en esta tabla, hay una gran similitud. Esto nos da mayor confiabilidad en la ecuación utilizada, sobre todo porque usándola se incurre en una ligera subestimación de los volúmenes, pero de un peso no significativo en la medición de los parámetros dendrométricos (ver tablas 4 y 5).

La tabla de surtido elaborada utilizando una muestra considerable de árboles derribados permite conocer los por cientos de los diferentes surtidos a obtener en dependencia del desarrollo que posea la plantación donde se realiza el aprovechamiento o la intervención silvicultural en función de sus clases diamétricas. Así clasifica los surtidos en madera en bolo de dos categorías diferentes con el objetivo de suministrarla a los aserraderos, madera rolliza y leña, excluyendo la corteza que envuelve la madera del arbolado (Tabla 6).

El coeficiente mórfico o factor de reducción medio determinado (0,47) facilita el cálculo de volumen con una aproximación mucho más confiable que utilizando el coeficiente general empleado para las coníferas según se plantea en la norma ramal 595 del MINAGRI, para determinar el volumen de árboles en pie. Este sólo es superado por la ecuación del perfil del fuste, pero esta última resulta de uso más complejo sobre todo por la medición de altura a diferentes niveles del fuste.

De igual forma la tabla de densidades deja muy claro la máxima cantidad de árboles permisibles por superficie en las distintas etapas de desarrollo del arbolado y después sobre esta base y la ya obtenida tabla de índices de sitio es posible elaborar las tablas de producción para cada uno de los índices de sitio que serán, sin duda alguna, la orientación más segura a seguir para lograr

el crecimiento y rendimiento y el mejor momento del aprovechamiento forestal para estas plantaciones según el análisis económico realizado.

3.10. Fijación del turno.

Determinar el turno constituye una de las decisiones claves del ordenador forestal, esto es, sin lugar a dudas, un elemento importante en el manejo de los bosques uniformes, puesto que la estructura del método de regulación elegido queda determinado por el período de rotación establecido (Davis, 1954 citado por Prieto y López, 1993).

Para fijar el turno en los bosques productores, se necesita tener en cuenta un grupo de factores, entre los cuales pueden citarse los siguientes:

La productividad del sitio, las edades a las que se alcanzan los máximos incrementos, los máximos ingresos monetarios, los objetivos de la producción maderera, las dimensiones de los productos y su forma y los medios de aprovechamiento (Bobkó y Aldana, 1981).

La fijación del turno según Bobkó y Aldana (1981), es una tarea de optimización mediante la cual se busca que, además del cumplimiento de las exigencias técnicas (máxima producción de los surtidos maderables), represente el óptimo entre los turnos de máxima producción en volumen y el mayor ingreso financiero.

Según se define por Corral (1935), Mackay (1961) y Rivero (1984), los criterios de cortabilidad que se consideran para la definición del turno son los de cortabilidad absoluta o forestal y técnica y financiera.

En las zonas objeto de estudio donde están establecidas las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** se presentan 9 índices de sitio, por lo que evidentemente deben existir diferentes turnos con el objetivo de alcanzar la máxima rentabilidad de la especie, para el destino de la madera, sea este de uso directo (rolliza y leña) o para madera de aserrado (bolo 1 y bolo 2).

Este trabajo no pretende establecer categóricamente los turnos para la satisfacción de las necesidades económicas según los surtidos maderables que producen las plantaciones de esta especie de pino, las decisiones a este respecto corresponden a otras instancias y a las que se determinen según la política forestal del país, por ello en el siguiente epígrafe se hace el análisis económico referente al cultivo de esta especie forestal y se sugiere cuales deben ser los momentos óptimos de aprovechamiento y los fines u objetivos

de producción para cada índice de sitio propuestos, teniendo en cuenta el momento de mayores utilidades o máxima ganancia.

3.11. Valoración económica.

Teniendo como base las características de crecimiento del ***Pinus tropicalis***, las exigencias ecológicas y nutricionales, los sitios donde se desarrollan y las sugerencias y recomendaciones dadas por autores dedicados a la investigación de las coníferas en Cuba, dentro de los cuales podemos citar a Samek (1967) y Varona (1982), se asume al iniciar este trabajo como turno técnico para el aprovechamiento con finalidad de aserrío 50 años.

En correspondencia con este turno se determinó la edad índice de la plantación, necesaria para elaborar las curvas de índice de sitio, base elemental para la confección de tablas de producción.

Las tablas de producción se corresponden con el turno técnico para las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en la provincia de Pinar del Río, sin embargo la valoración económica se fundamenta en determinar cual es el momento de máximas utilidades en el bosque, puesto que evidentemente la decisión no puede estar fundamentada únicamente en los criterios técnicos sino que es necesario la fundamentación de la misma a partir de una valoración técnico - económica.

Esta valoración tiene como base que al manejar racionalmente las plantaciones se logrará una buena gestión técnico - económico de las mismas, lo cual se vería reflejado en la obtención del máximo de utilidades que garanticen el posterior desarrollo del proceso de producción forestal.

Las utilidades fueron calculadas en cada uno de los intervalos de edad (10 años), hasta llegar a 50 años, teniendo en cuenta los índices de sitio determinados, como base para la elaboración de las tablas de producción. Estos índices fueron elaborados con rango de 2 metros de altura desde 24 metros como mejor índice hasta 8 como peor de todos (IS: 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8).

El cálculo fue realizado utilizando el siguiente modelo (Propuesto por Hernández, 1998)

$$U=V-C$$

Donde:

U - representa las utilidades a obtener en cada intervalo.

V - Representa el total de valores que reportan los ingresos que se podrán obtener de la plantación en cada intervalo de edad.

$$V = \sum_{i=1}^n VSi + \sum_{j=1}^m VAj$$

Donde:

VSi - Valor que se obtiene de los productos que se extraen de los raleos.

i - Tipo de raleo.

n - Número de raleo a realizar.

VAj - Valor que se obtiene de las plantaciones en cada intervalo de edad, según la existencia de volumen de madera por surtido.

j - Tipo de surtido.

m - Número de surtido en existencia en cada intervalo de edad.

$$C = \sum_{i=1}^n CSi + \sum_{j=1}^m CAj$$

Donde:

C - Representa el costo total de todos los trabajos forestales realizadas a las plantaciones desde el comienzo hasta los 50 años.

CSi - Costos relacionados con la silvicultura donde se incluyen:

i - Tipo de trabajo silvícola.

n - Número de trabajos relacionados con la silvicultura.

CAj - Costos relacionados con la extracción del volumen de madera en existencia por cada intervalo de edad.

j - Tipo de surtido.

m - Número de surtidos en existencia en cada intervalo de edad.

Para la determinación de los costos fueron empleadas las fichas de costos elaboradas por la subdirección económica de las Empresas Forestales Integrales (EFI): Pinar del Río, Macurijes, Viñales y Minas de Matahambre, para las actividades de establecimiento de la plantación que incluye: producción de posturas, preparación de tierra, plantación y mantenimiento de los tres primeros años de vida, chapea intermedia, raleos, protección al bosque y extracción de madera en bolo, rolliza y leña (tablas 17- 25).

Después de realizado los cálculos relacionados anteriormente se obtuvieron las utilidades en cada intervalo de edad y para cada una de los índices de sitio estudiados.

Como se puede observar en las tablas antes mencionadas en el primer intervalo de edad (0 a 10 años), se obtienen pérdidas, las cuales se incrementan a medida que el índice de sitio es peor, observándose que en el índice de sitio 12 se producen pérdidas hasta el intervalo de 10 a 20 años. Y en los índices 10 y 8 la plantación no se justifica desde el punto de vista económico, sino que sólo sería factible hacerlo con fines de protección, pues los costos son mayores que los valores que reportan la existencia de madera en todo el turno.

Con todos los elementos hasta aquí valorados no sólo en el análisis económico sino en el trabajo en su conjunto, se considera que existan las bases sólidas para sugerir las propuestas de turno para cada índice de sitio.

Es importante destacar que aunque en los índices de sitio desde 24 hasta 18 el punto de máximas utilidades se obtiene a los 40 años, lo cual implica que desde el punto de vista económico no se justifica la existencia de esa plantación hasta los 50 años, desde el punto de vista técnico no en todos los casos se debe hacer lo que a primera vista se aprecia económicamente.

Se recomienda mantener un turno de 50 años en aquellos sitios que las plantaciones en su edad índice tengan alturas de 24 metros, puesto que aunque el momento de máximas utilidades es a los 40 años, las pérdidas por utilidades no son considerables como para no poderlas compensar con el hecho de obtener valores y diámetros en correspondencia con la demanda de madera para aserrío a la edad de 50 años.

Es importante recordar que los incrementos en diámetros en estos sitios están muy próximos a los incrementos medios para ***Pinus caribaea*** (1 cm/año) y en 10 años el volumen de madera asciende considerablemente.

En los índices de sitio 22; 20 y 18 ya no es recomendable ni económica ni técnicamente prolongar el turno a 50 años pues las pérdidas por utilidades son marcadas y los incrementos ya no serán tan reconocidos, por eso es más correcto utilizar turnos de 40 años.

En el índice de sitio 16 se propone un turno de 30 a 35 años en correspondencia con las máximas utilidades, los posibles surtidos y los incrementos que se producen en este tipo de sitio.

En los índices de sitio 14 y 12 se propone un turno de 30 años y ya en los índices de sitio 10 y 8 sólo se justifica establecer plantaciones con carácter protector, porque incluso para obtener madera rolliza no es recomendable, puesto que sería mucho más práctico producir la misma con otras especies y en otros sitios. (tablas 17 - 25).

CONCLUSIONES

Con el estudio del crecimiento y rendimiento de las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la provincia de Pinar del Río resumimos las siguientes conclusiones:

- Las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** han sido desde sus inicios muy mal manejadas, no se realizaron reposiciones de fallas lo que, a la larga, favorece el no haber aplicado intervenciones silviculturales en casi ninguno de los casos.
- El sistema de curvas de índice de sitio permite diferenciar las plantaciones en 9 índices de sitio, las cuales se determinan para la altura dominante y la altura media y se evita la posible limitación de uso, aunque es la primera la verdadera indicadora de la calidad de sitio. Los índices han sido fijado a la edad de 33 años por los valores 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8 metros.
- La distribución de frecuencia diamétrica puede ser ajustada a la función probabilística de Gauss, usando la distribución normal y Los modelos logarítmicos probados estiman satisfactoriamente el volumen total de madera con y sin corteza.
- La densidad poblacional por hectárea encontrada para las diferentes edades e índices de sitio, tuvo ciertas variaciones, pero en casi todos los casos se considera inferior a la densidad permisible por superficie según las características de la especie y las condiciones de los suelos donde esta se desarrolla.
- La delimitación de los suelos donde crece con cierta facilidad el ***Pinus caribaea***, para en el resto de ellos preferir la plantación del ***Pinus tropicalis*** es un aspecto importante si se desea mejorar la composición, los incrementos y el desarrollo de las plantaciones de Pinares.
- La determinación del coeficiente mórfico a través del volumen real por trozas utilizando la fórmula de Smalian da la posibilidad de calcular volúmenes para árboles en pie con mayor exactitud que la realizada hasta hoy, pues se demuestra que este pino es menos cónico que lo planteado empíricamente en la norma ramal 595. El valor medio calculado fue de 0.47.
- Existe gran diversidad de índice de sitio lo que trae como consecuencia turnos de aprovechamiento diferentes en correspondencia con su potencialidad y fines

productivos determinando la edad de cortabilidad según los criterios volumétricos, técnicos y financieros.

RECOMENDACIONES.

- Diferenciar las plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en calidades de sitio utilizando las tablas de índices de sitio propuestas.
- Realizar un manejo adecuado de las plantaciones de esta especie en correspondencia con sus índices de sitio empleando las tablas de producción elaboradas durante este estudio.
- Utilizar siempre la altura dominante como indicador del índice de sitio.
- Sustituir la escala de densidad propuesta por la Norma Ramal 595 de tratamientos silvícolas para el ***Pinus tropicalis*** por la confeccionada en este trabajo sujeta a posibles cambios a partir de 35 años de edad.
- Emplear las tablas de volúmenes y surtido elaboradas a partir de las ecuaciones logarítmicas y de perfil del fuste, así como el coeficiente mórfico determinado para el cálculo del volumen de árboles en pie.
- Delimitar los suelos con características de fertilidad propias para ***Pinus tropicalis*** y establecer en ellos plantaciones de esta especie.
- Valorar la definición del turno propuesto y usar los mismos obteniendo las mayores utilidades posibles en correspondencia con las exigencias técnicas y la finalidad de los rodales.

BIBLIOGRAFIA

1. Comandante en jefe Fidel Castro Ruz (1967): La historia me absolverá 6^{ta}. Edición. Homenaje al XIV Aniversario del asalto al Moncada. Ediciones políticas Instituto del libro. La Habana 33 p
2. Partido Comunista de Cuba (1987): Programa del Partido Comunista de Cuba . Editora Política. La Habana 72 p
3. Proyecto de Resoluciones V Congreso del Partido Comunista de Cuba. Editora Política. La Habana 1997. 6 p.
4. Aguilar R. Mario et al (1991): Determinación de la “calidad de la estación” en los bosques de la comunidad indígena de nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Revista Ciencia Forestal V16 N69 35-57 pp.
5. Aguirre, O.A y E. M. Zepeda (1985). Estimación de índice de sitios para ***Pinus pseudoestrobis*** Lind de la región de Iturbio. Nuevo León . Ciencia Forestal N 56 10
6. Aldana et al., (1994): Manual de Dasometría. Centro Universitario de Pinar del Río. 183 p
7. Alder D. (1980): Estimación del volumen y predicción del rendimiento Vol 2. Estudio FAO: Montes 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma 118 p
8. Alvarez González J.G. y Ruiz González A.(1998): Análisis y modelación de las distribuciones diamétricas de ***Pinus pinaster*** Ait en Galicia. Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales. V7 N1y2 123-127 pp.
9. Alvarez P. A. Y J. C. Varona (1988): Silvicultura. Pueblo y Educación. Combinado “Juan Marinello” 354 p
10. Andenmatten. E y F. Letourneau (1997): Funciones de intersección de crecimiento para predicción de índice de sitio en ***Pinus ponderosa*** de aplicación en la región Andino Patagónica de Río Negro y Chubut. Quebracho. N 5. Septiembre. 5 - 10. pp.
11. Androlot, E. R., L. P. Blacwell and P. y Burns (1972): Effects of thinning on yield Loboly Pine in Central Lousiana. División of Recherchez colleague.

12. Anuchin, N P (1970): Forest mensuration (Lesnaya Taksasiya) second Edition (1960). Israel Program for scientific. Translation. Jerusalem. 454 p
13. Báez, R. y Gra, H. (1988): Estudio dasométrico en **Casuarina equisetifolia**. Tabla de volumen. Revista Forestal Baracoa V 18 N2 41-52 pp.
14. Báez, R.(1988): Estudio dasométricos de plantaciones de **Casuarina equisetifolia** Forst en suelos cenagosos de la provincia de la Habana. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias agrícolas ISCAH "Fructuoso Rodríguez" INCA 125 p
15. Bailey. R. L. and T.R. Dell (1973): "Quantifying Diameter. Distribution with the Weibull Function". Forest Science. 97-104 pp
16. Bailey, R.L. (1980): Individual tree growth derived from diameter distribution models. Forest Science V26 N4 626-632 pp.
17. Bara. S y Toval G. (1983): Calidad de estación del **Pinus pinaster** AIT., en Galicia. Serie recursos naturales. N 24 67 p.
18. Baranenkova G. Et al. (1988): Problemas y ejercicios de análisis matemático. Editorial MIR Moscú 9^{na} reimpresión. 168-170 pp.
19. Benavides S. J. de D. (1991): "Índices de sitio "para estimar "la calidad de sitio" en Bosques de coníferas. Revista Ciencia Forestal V 16 N 69 3-34 pp.
20. Benavides, S. J. de D.(1993): "Estimación de la calidad de sitio" mediante índices de sitio de **Pinus michoacana** cornuta Martínez y **Pinus Oocarpa**. Schiede, para el ADF Tapalpa, Estado de Jalisco. Revista Ciencia Forestal V 18 N 74 121-138 pp.
21. Betancourt A. (1983): Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Editorial Científico - Técnica, 1987. 427 p.
22. Bobkó, A. y Aldana E. (1981): Ordenación de Montes. Partes I y II. Unidad docente de Ingeniería Forestal. Centro Universitario de Pinar del Río 134 p.
23. Burdon, R.D. (1982): Monocultures. How vulnerable. What's new Forest Research N 115 .Forest Research Institute.
24. Caballero M.(1970): Empleo de coeficientes móricos en la elaboración de tablas de volúmenes de Cedro rojo. Inst. Nac. Invest. For 26b. México 27 p
25. Caballero M. (1972): Tablas y tarifas de volúmenes. Subsecretaría Forestal y de la fauna. Dirección general del inventario nacional forestal. México. DF. INF N 7 55p.

26. Cailliez, F. (1980): Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento V 22/1: Estimación del Volumen. Estudio FAO. Montes. Roma. 91p.
27. Campos A. J. (1989): Curvas de índice de sitio para ***Eucalyptus camaldulensis*** en América Central. In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Actas de reunión IUFRO. Guatemala. Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica 351-365 pp.
28. Carron, L.T. (1968): An outline of forest mensuration with special reference to Australia. Australian National University. Press Canberra. 224 p.
29. Clutter, J. L. Et al (1982): Timber management. A quantitative approach. 333p
30. Corral, J. I. (1935): Curso de ordenación y valoración de Montes. Imprenta Ramblá, Bouza y Cia. La Habana 222 p.
31. Cue, J.L.; E. Castell y J. M. Hernández (1987): Estadística. Primera Parte. Universidad de la Habana. Facultad de Matemática Cibernética. Ciudad de la Habana. 243 p.
32. Cuevas García X. et al (1992): Modelo de crecimiento para una plantación de caoba (***Swietenia macrophylla*** King). Revista Ciencia Forestal V17 N71 87-101 pp.
33. De la Rosa, R. (1985): Manual de utilización del paquete de programas estadístico Microstat. Sad MINAGRI .139 p.
34. De Nacimiento, J. F.; O. González; H. Benítez ; E. Abreu y J. Pérez (1983): Tabla preliminar de rendimiento para ***Pinus caribaea***. Pinar del Río. Revista Forestal Baracoa V 13 N 2 103-122 pp.
35. Decourt, N. (1972): Méthode utilisée pour la construction rapide des tables de production Provisoires en France. Annales des sciences forestier, V 29 N 1, 35-48 pp.
36. Demidovich, B. (1983): Problemas de las matemáticas superiores. Editorial MIR Moscu. 410-412 pp.
37. Egas Fernando A. (1998): Consideraciones para el incremento de la Eficiencia de la conversión de la madera en rollo de ***Pinus caribaea*** var. Caribaea. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencia Forestales 116 p.
38. Evans, J (1982): The usutu forest : 20 years later. Unasyuva V10 N36 159 p.

- 39.Evans.J (1990): Long-term productivity of forest plantations status in 1990. Proceedings of IUFRO XIX World congress, Montreal. Vol 1:165-181 pp.
- 40.FAO (1988):Studies on the volume and yield of tropical forest stands. 112 p.
- 41.Fernández Tomás J. G. (1996): Bases Económicas de la Ordenación de Montes arbolados: I.Máximo de utilidades y criterios Técnicos-Forestales 95-110 pp.

II. Modelos Económicos de turnos financiero.

- 111-124 pp.
- 42.Fors A. J. (1967): Manual de silvicultura. 4ta Edición. Instituto del libro. Habana. 251 p.
- 43.García Abejón, J.L. (1981): Tablas de producción de densidad variable para ***Pinus sylvestris*** L. En el sistema ibérico. Serie Recursos naturales N 10 Madrid 47 p.
- 44.García Abejón, J.L.y Gómez Loranca, J.A.(1984): Tablas de producción de densidad variable para ***Pinus sylvestris*** L. En el sistema central. Serie Recursos naturales N 29 Madrid 36 p.
- 45.García , J.Ly Tella G. (1986): Tablas de producción de densidad variable para ***Pinus sylvestris*** L. en el sistema pirenaico. INIA: Comunicaciones. Recursos naturales N 43 28 p.
- 46.García Abejón ,J.L.y Gómez Loranca J.A.(1989): Tablas de producción de densidad variable para ***Pinus pinaster*** Ait en el sistema central. Madrid 43 p.
- 47.García. I.(1989): Contribución para el establecimiento de tablas de rendimiento de ***Pinus caribaea*** en la provincia de pinar del Río. 90 p.
- 48.Gaussen, H. (1954): Théories et classification des climats et microclimats. Proceedings of the Eight International Botanical Congress, Paris 125-130
- 49.Gómez Barrantes M. (1998): Elementos de Estadística descriptiva. Tercera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. Primera parte 407 p.
- 50.Gómez Loranca J. A. (1996): ***Pinus nigra*** Arn en el sistema ibérico. Tablas de crecimiento y rendimiento. Collección monográficas inias N 93 . Madrid 106 p.

51. Gómez Loranca, Grau. J.M, Montoto. J.L (1998): Aplicación de tablas de producción a una repoblación de ***Pinus sylvestris*** L. En el sistema central. N 6 77 - 85. pp.
52. Gómez Ricaño, J.R.; Feliciano F.; Eremeev, A. y Kalutskii, k. (1976): Clasificación de los bosques de Cuba por la importancia de las especies forestales. Revista forestal Baracoa N3-4 27-43 pp.
53. González O. (1981): Ordenación Forestal. Pueblo y Educación 160 p.
54. González F. (1986): "Tablas de cubicación de ***Populus x euroamericana***. Guinier. Campeador". Comunicaciones I.N.I.A. Series Recursos Naturales. N 8 Madrid España 1-23 p.
55. Goodwin, A.N. and S.G. Candy (1986): Growth models for ***Eucalyptus globulus*** plantation. Australian Forest Research V16 N2 133-134 pp.
56. Gra et al (1990): Confección de tablas de volúmenes, surtido y densidad del ***Pinus caribaea*** en plantaciones puras para Cuba.
57. Gra et. al (1992): Estudio dasométrico en plantaciones de ***Pinus caribaea*** var *caribaea*. Distribución de frecuencia. Revista Baracoa. V 22, N 3, 89 - 95 pp.
58. Green, E.J; H.E. Burkhart and T. R. Clason (1984): A model for basal area distribution in loblolly Pine. Forest Science. V 30. N 3. 617 - 628. pp.
59. Hafley, W.L. and H.T. Schreuder (1977): Statistical distribution for fitting diameter and height data in even aged stands. Canadian journal of forest research 7. 481 - 487. pp.
60. Hagglund, B. (1981): "Evaluation of forest site productivity " Commonwealth Forestry Bureau. Forestry Abstracts 515-527 pp.
61. Hernández Domínguez E. M. (1998): Bases metodológicas para la implantación potencial del cooperativismo en el Sector de la Silvicultura en Cuba. Tesis presentada en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales 116 p.
62. Hunter. I. R y Gibson A. R. (1984): Predicting ***Pinus radiata*** site index from environmental variables. New Zealand Journal of Forestry Science 14 (1). 53 – 64 pp.
63. Husch, B.; C. I. Miller and T.W. Beers (1982): Forest mensuration. Third Edition. John Wiley and sons 402 p.

- 64.Ibarra R. et al. (1996): Elaboración de Tabla de Volumen y referencia de índices de sitio para plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en la (EFI) Minas de Matahambre. Forum de Ciencia y Técnica 18 p.
- 65.Keenan. R. J y Candy S. (1983): Growth of young ***Eucalyptus delagatensis*** in relation to variation in site factors. Australian Forest Research. V 13. 197 – 205 pp.
- 66.Klepac D. (1976): Crecimiento e incremento de árboles y masa forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México 365 p.
- 67.Koroliuk,V. S. (1986): Manual de la teoría de probabilidades y estadística matemática. Primera reimpresión. Editorial Mir . Moscú 579 p.
- 68.Lanly, J.P.(1982): Manual d'inventaire forestier, avec références particulières aux forest tropicales hétérogènes. Rome, FAO. 200 p.(Versión francesa).
- 69.Lara O. et al. (1996): Estudio del coeficiente mórfico, incremento y surtido en plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la Empresa Forestal Integral (EFI) Minas de Matahambre . Jornada Científica Estudiantil 12 p.
- 70.Lembcke, G.; E. Knapp y O. Dittmar (1981): Die neue DDR-Kiefernenertragstafel 1975. Beitrage fur den Forstwirtschaft Heft 2 55-64 pp.
- 71.Little. S. N (1983): Weibull diameter distributions for mixed stand of western conifers. Canadian Journal of Forest Research. V 13. 85 - 88.pp.
- 72.Lockow. K. W; E. Hafemann y H. Gra (1982): Schafholzvolumen und schafholzformzahltafel fur ***Pinus caribaea*** (Morelet) auf Kuba. Beitrage fur den Forstwirtschaft heft 2. 87 - 89.pp.
- 73.Loetsch, F;F.Zohrer and K. E. Haller (1973): Forest inventory V 2 BLV Verlagsgesellschaft Munchen, Bern Wien 472 p.
- 74.Mackay, E. (1961): Fundamentos y métodos de la ordenación de montes. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Primera parte. Segunda Edición. Madrid 336 p.
- 75.Madrigal, H.S Y Ramirez, M.H.(1995): Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación de índice de sitio en Michoacán. Revista Ciencia Forestal V 20 N78 35- 37 pp.
- 76.Malleux, Orjeda J. (1982): Inventarios en bosques tropicales, Lima U.N.A. 414 p.
- 77.Matos. E.(1963): Las coniferas en Cuba. Departamento Forestal y Frutal, INRA, La Habana. 22 p.

78. MINAGRI(1983): Tratamientos silviculturales. Coníferas y Latifolias. Raleos en plantaciones y bosque naturales. Norma ramal 595. Ministerio de la Agricultura. Dirección de Silvicultura. Cuba 25 p.
79. MINAGRI(1984): Suelos de la provincia de Pinar del Río. Ministerio de la Agricultura. Dirección general de Suelos y Fertilizantes. Editorial Científico Técnico. Ciudad de la Habana .177 p.
80. MINAGRI(1998): Situación de la reforestación en la provincia de Pinar del Río según la última dinámica forestal. Servicio Estatal Forestal
81. Monserud R. A.(1984): "Height growth and site index curves for irland ***Douglas fir*** based on stem analysis data and forest habitat type" Forest Science 39 p.
82. Montaña, A. y Eremeev A. (1977): "Métodos para determinar los volúmenes de madera en los bosques de Cuba ". Revista Baracoa V 5 N20 83-90 pp.
83. Montero. G, Gómez. J.A y Ortega. C (1991): Estimación de la productividad aérea en una repoblación de ***Pinus pinaster*** AIT. En el centro de España. Sistemas y recursos forestales. Vol 0. N° 17. 91 - 202.pp.
84. Narváez Flores R. (1992): Suelo-calidad de estación en el área experimental Forestal Maderera, Chihuahua. Revista Ciencia Forestal V17 N71 3-26 pp.
85. Novales, A. (1996): Estadística y Econometría. Facultad de Economía. Universidad Complutense de Madrid 558-580 pp.
86. Padilla, G.(1997): Distribución de frecuencia diamétrica en plantaciones de ***Pinus tropicalis*** de la provincia de Pinar del Río. Forum de Ciencia y Técnica 15 p.
87. Padilla, G.(1998): Índices de sitio para plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en Pinar del Río. 2do Congreso Forestal. La Habana 14 p.
88. Pardé, J y Bouchon J. (1987): Dasometría "L'école nationale du genie Rural des eaux et des forest" 387 p.
89. Parde, J y Bouchon, J (1994): 2da Reimpresión. Versión Española Dasometría. Editorial Paraninfo. Madrid
90. Peñalver, A.(1985): Tabla preliminar de Rendimiento para las plantaciones de ***Eucalyptus Spp*** de la provincia de Pinar del Río. III Conferencia Científica del Centro Universitario de Pinar del Río 8 p.

91. Peñalver, A. (1987): Estudio de la forma del fuste del ***Eucalyptus Spp***. Informe de investigación. Facultad Forestal. Centro Universitario de Pinar del Río 13 p
92. Peñalver, A. (1989): Distribución de Frecuencia diamétrica para plantaciones de ***Eucalyptus Spp***. En Pinar del Río. 12 p.
93. Peñalver, A. (1991): Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de ***Eucalyptus Spp*** de la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias forestales. UPR. "Hermanos Saíz Montes de Oca". 101 p.
94. Prieto, A. y López Quero, M. (1993): Manual de Ordenación Forestal. Versión Española del Manuel D'aménagement. 261 p.
95. Prodan, M. et al (1997): Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. Costa Rica. 586 p
96. Rennolls, K and A. Peace (1986): Flow models of mortality and yield for unthinned forest stands. Forestry. V 59. N 1. 47 - 48.pp.
97. Rivero, P (1984): Determinación de longitudes de turno (criterios financieros). Ciencia Forestal. V 9 N 47. Enero - Febrero. pp 21 - 47.
98. Sadig, R. A and A. F. Becwith (1986): Modified Australian stand growth formula for managed plantations. Australian forest Research. V 16. 301 - 312.pp.
99. Samek, V y del Risco, E. (1989): Los pinares de la Provincia de Pinar del Río.
100. Samek, V. (1967): Elementos de silvicultura de los pinares. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Biología. Universidad de la Habana 102 p.
101. Santillan, J. (1986): Elementos de Dasonomía. Universidad autónoma. Chapingo, México 346 p.
102. Savill, P. S. And Evans, J (1986): Plantation silviculture in temperate regions with special reference to the british Isles. Clarendon pres, Oxford.
103. Schmidt, M. G y Carmean W. H. (1988): Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. Canadian Journal of Forest Research. V 18. 297 - 305.pp.
104. Schreuder, H.T.; W.L. Hafle y F. A. Bennett (1979): Yield prediction for unthinned natural slash pine stands. Forest Science V25 N1 25-30 pp.

- 105.Selpa, R. y Montero, L. (1998): Confección de Tabla de Volumen y Surtido para plantaciones de ***Pinus tropicalis*** en la provincia de Pinar del Río. Trabajo de Diploma 48 p.
- 106.Spiegel, M.R.(1977): Teoría y problemas de estadística. 4ta Reimpresión. Editorial Pueblo y Educación. 358 p.
- 107.Sprinz, P. T.y H.E.Burkhart (1987): Relationship between tree crown, Stem and Stand characteristics in unthinned loblolly pine plantations. Canadian Journal of Forest Research V 17 534-538 pp.
- 108.Spurr, S. H y Barnes, B. V (1982): Ecología forestal. Ed. Agr. México 690 p.
- 109.Stephan, G.(1980): La variación del número de árboles en plantaciones de ***Pinus caribaea***. Technische. Universitat Dresde. Sektion Forstwirtschaft. 13 p.
- 110.Sterba. H. (1987): Kstimating potential density from thinning experiments and inventory data. Forest Science V33 N4 102-103 pp.
- 111.Thren M. (1993): Dasometría. Serie Técnica Forestal, Volumen 1. 150-185 pp.
- 112.Ugalde L.A. (1983): Rendimiento y Aprovechamiento de dos intensidades de raleo selectivo en ***Eucalyptus deglupta***. Turrialba. Costa Rica V33 N2 143-150 pp.
- 113.Ugalde L.A.y A.Otarola(1984): Tablas de volumen para ***Eucalyptus camaldulensis*** en Nicaragua. Turrialba V34 N3 377-384 pp.
- 114.Varona. J.C.(1982):Fomentos de plantaciones de pino. Editorial Pueblo y Educación. 101 p.
- 115.Vega G. (1998): Comunicación personal. Especialista de la Delegación Provincial del MINAGRI. Pinar del Río .
- 116.Volkart C. M.(1972): Revisión de Expresiones de densidad de masa aplicables en las prescripciones de raleo. Séptimo Congreso Forestal Mundial.
- 117.Webster Allen L.(1996): Estadística aplicada para la Empresa y para la Economía. Segunda edición 800-821 pp.
- 118.Wensel. L.C y B. Krumland (1983): Volume and taper relationships for redwood, Douglas - fir and other conifers in California North Coast. Division of Agricultural sciences. University of California. Bulletin 1907.

- 119.Wormald T.J. (1995): Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales. Estudio FAO. Roma. 166 p.
- 120.Zepeda. E.M. y P. Rivero(1984): Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio. Ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia forestal V9 N51 3-39 pp..México.

D / Ht	Volumen Total con Corteza							D(cm)/Ht(m)											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01												
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02									
8	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03									
10			0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06						
12			0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08						
14			0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14
16			0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18
18			0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23
20			0.13	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28
22						0.20	0.21	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34
24						0.24	0.26	0.27	0.28	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
26						0.28	0.30	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.46	0.47
28								0.37	0.38	0.40	0.42	0.44	0.45	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53	0.54
30								0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.55	0.57	0.59	0.60	0.62
32								0.48	0.50	0.52	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71
34								0.54	0.56	0.59	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.80
36										0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.80	0.82	0.84	0.87	0.89
38										0.74	0.77	0.80	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	0.99
40										0.81	0.85	0.88	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.10
42										0.90	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.18	1.21
44										0.98	1.03	1.07	1.11	1.15	1.18	1.22	1.26	1.29	1.33
46										1.07	1.12	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45
48												1.27	1.31	1.36	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57
50												1.37	1.43	1.48	1.52	1.57	1.62	1.66	1.71
52												1.49	1.54	1.59	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85
54												1.60	1.66	1.72	1.77	1.83	1.88	1.94	1.99
56												1.72	1.78	1.85	1.91	1.97	2.02	2.08	2.14
58												1.84	1.91	1.98	2.04	2.11	2.17	2.23	2.29
60												1.97	2.05	2.12	2.19	2.25	2.32	2.39	2.45

Tabla 4. U/M(m³).

Volumen Total sin Corteza D(cm)/Ht(m)																					
D / Ht	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00											
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01											
8	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02								
10			0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04								
12			0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
14			0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	
16			0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	
18			0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	
20			0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	
22						0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	
24						0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26	0.26	0.26	
26						0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.31
28								0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.35	0.36	0.36	0.36
30								0.30	0.31	0.32	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42
32								0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.48	0.48
34								0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.53	0.54	0.54	0.54
36										0.47	0.49	0.50	0.52	0.54	0.55	0.57	0.58	0.59	0.61	0.61	0.61
38										0.53	0.55	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.65	0.66	0.68	0.68	0.68
40										0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.70	0.72	0.74	0.76	0.76	0.76
42										0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.84	0.84
44										0.71	0.74	0.77	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.92	0.92
46										0.78	0.81	0.84	0.87	0.89	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.01	1.01
48												0.92	0.95	0.98	1.00	1.03	1.06	1.08	1.11	1.11	1.11
50												1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.20	1.20	1.20
52												1.08	1.12	1.15	1.18	1.22	1.25	1.28	1.31	1.31	1.31
54												1.17	1.21	1.25	1.28	1.32	1.35	1.38	1.41	1.41	1.41
56												1.26	1.30	1.34	1.38	1.42	1.45	1.49	1.52	1.52	1.52
58												1.36	1.40	1.45	1.49	1.53	1.56	1.60	1.64	1.64	1.64
60												1.46	1.51	1.55	1.59	1.64	1.68	1.72	1.76	1.76	1.76

Tabla 5. U/M (m³).

Altura

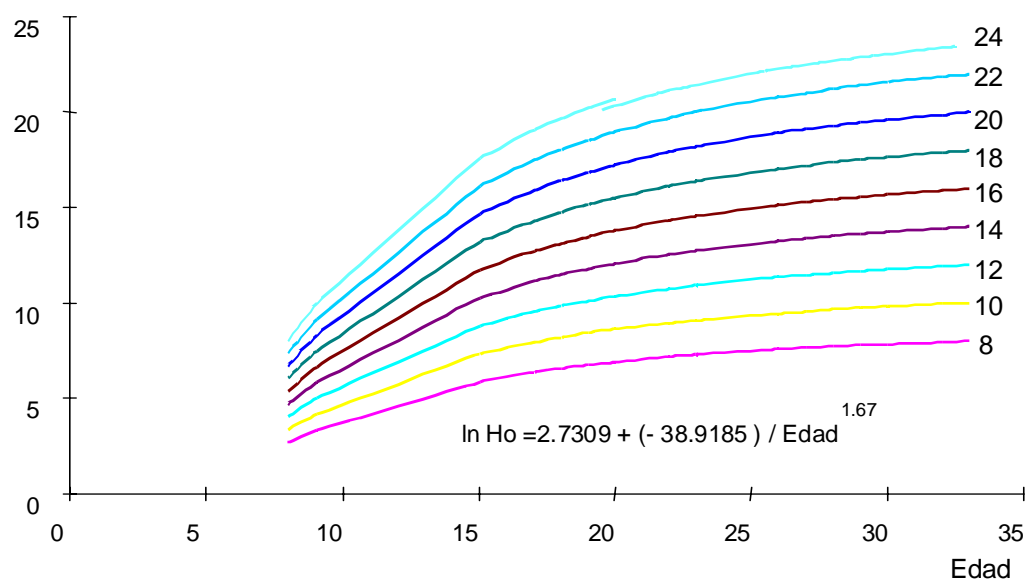


Figura 7: Indices de sitio para plantaciones de *Pinus tropicalis*.

Tablas (17 - 25): Precios y costos normativos utilizados para la valoración económica por índice de sitio.

Significación de los parámetros utilizados para los cálculos realizados.

C_1 - Costo del establecimiento de la plantación.

C_2 - Costo de chapea I (5 - 7 años).

C_3 - Costo de chapea II (10 - 15 años).

C_4 - Costo de raleo: I – 20 años

II – 25 años

III – 35 años

C_5 – Costo de protección.

C_6 – Costo de la extracción.

Costo acumulado = $\sum C_1 + C_2 \dots C_5$

0 – 10 años – C_1 y C_2

C.I.Edad = Costo intervalo edad

C.A. = Costo acumulado

C.A./C.E./I = Costo acumulado + Costo de extracción por intervalo.

INDICE DE SITIO 24 (Tabla 17).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	34.1 1	28.7 8	-	-	5.32	-	-	-	-	-
11 – 20	190. 8	43.4 2	138.4 6	-	8.89	50	25	-	11.7	86.7
21 – 30	345. 1	17.4 8	134.9 3	182.3 1	10.00	65	35	-	5.3	105.3
31 – 40	393. 9	12.1 3	63.73	309.5 6	8.43	70	60	50	15.6	195.6
41 - 50	635. 7	15.5 1	43.16	567.8 7	9.21	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Eda	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V.

d											Total
0 – 10	999.29	966.04	-	-	33.25	-	-	-	-	-	999.99
11 – 20	11661.8	1457.2	10149.12	-	55.56	1678	1832.5	-	73.13	3583.6	15245.5
21 – 30	23914.9	598.7	9890.37	13363.3	62.5	2181.4	2565.5	-	33.13	4780.03	28994.9
31 – 40	27821.9	407.08	4671.41	22690.7	52.69	2349.2	4398	3665	97.5	10509.7	38331.6
41 - 50	45366.6	520.52	3163.63	41644.8	57.56	-	-	-	-	-	45366.58

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	561.8	-	30.59	592.38
11 – 20	847.6	4984.56	51.12	5833.2
21 – 30	348.2	11420.64	57.50	11826.8
31 – 40	236.78	13438.44	48.47	13723.69
41 – 50	402.76	21997.08	52.96	22352.8

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.9	592.4	1741.27	1741.27	2333.65	(1334.36)
11 –	-	-	212.3	353.0	171.9	5883.	737.3	2478.6	8361.81	6883.6

20			9	1		2				8
21 – 30	-	-	-	431.9 8	171.9	11826 .4	603.8	3082.4 5	14908.83	13786. 11
31 – 40	-	-	-	485.1 1	171.9	13723 .7	617.01	3739.5	17463.15	20868. 49
41 – 50	-	-	-	-	171.9	22352 .8	171.9	3911.3 6	26264.16	19102. 42

INDICE DE SITIO 22 (Tabla 18).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	24.6	17.00	-	-	7.59	-	-	-	-	-
11 – 20	149.7	10.46	90.99	-	8.24	40.00	20.00	-	3.5	63.5
21 – 30	281.9	23.51	178.58	70.16	9.61	50.00	40.00	19.00	7.1	116.1
31 – 40	315.6	11.87	77.64	218.14	7.95	80.00	60.00	60.00	20.9	220.9
41 – 50	510.9	13.44	56.71	431.15	9.60	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	617.96	570.52	-	-	47.44	-	-	-	-	-	617.96
11 – 20	8414.51	1693.44	6669.57	-	51.5	1342.4	1466	-	21.87	2830.27	11224.7
21 – 30	19081.69	788.99	13089.91	5142.73	60.06	1678	2932	1392.7	44.37	6047.07	25128.76
31 – 40	22128.72	398.36	5691.01	15989.6	49.69	2684.8	4398	4398	130.63	11611.43	33740.15
41 –	36271.	451.0	4156.8	3160	60.0	-	-	-	-	-	36271

50	19	5	4	3.3	0						.19
----	----	---	---	-----	---	--	--	--	--	--	-----

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	331.84	-	43.64	375.48
11 – 20	984.98	3275.64	47.38	4308
21 – 30	458.91	8954.64	55.26	9468.81
31 – 40	213.70	10648.08	45.71	10907.49
41 – 50	262.35	17562.96	55.20	17880.51

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	375.48	1741.27	1741.27	2116.75	(1498.79)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.9	4308	737.3	2478.57	6786.57	4458.21
21 – 30	-	-	-	431.98	171.9	9468.81	603.88	3082.45	12551.26	12577.5
31 – 40	-	-	-	485.11	171.9	10907.49	657.01	3739.46	14646.95	19093.20
41 – 50	-	-	-	-	171.9	17880.51	171.90	3911.36	21791.87	14479.32

INDICE DE SITIO 20 (Tabla 19).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	22.3	15.4 1	-	-	6.88	-	-	-	-	-
11 – 20	182. 9	61.6 6	111.1 7	-	10.08	-	-	-	-	-
21 – 30	364. 1	30.4 0	230.6 6	90.62	12.42	40	30	-	9.1	79.1
31 – 40	302. 8	11.3 9	74.49	209.3 0	7.63	100	90	80	60.5	330.5
41 - 50	489. 9	12.8 8	54.38	413.4 3	9.21	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	550.16	517.16	-	-	43	-	-	-	-	-	560.16
11 – 20	10281.07	2069.31	8148.76	-	63	-	-	-	-	-	10281.07
21 – 30	24647.68	1020.22	16907.38	6642.45	77.63	1342.4	2199	-	56.88	3598.28	28245.96
31 – 40	21231.75	382.25	5460.12	1534.17	47.69	3356	6597	5864	378.13	16195.13	37426.86
41 - 50	34780.28	432.25	3986.05	30304.4	57.56	-	-	-	-	-	34780.28

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	300.80	-	39.56	340.36
11 – 20	1203.60	4002.12	57.96	5263.68
21 – 30	593.41	11566.08	71.41	12230.9
31 – 40	222.33	10216.44	43.87	10482.64
41 – 50	251.42	16841.16	52.96	17145.54

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	340.36	1741.27	1741.27	2081.63	(1521.47)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.90	5263.68	737.3	2478.57	7742.25	2538.82
21 – 30	-	-	-	431.98	171.90	12230.9	603.88	3082.45	15313.35	12932.61
31 – 40	-	-	-	485.11	171.90	10482.64	657.01	3739.46	14222.1	23204.78
41 – 50	-	-	-	-	171.90	17145.54	171.9	3911.36	21056.9	13723.38

INDICE DE SITIO 18 (Tabla 20).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	19.2	13.27	-	-	5.93	-	-	-	-	-
11 – 20	117.2	62.05	47.04	-	8.11	20	12	-	7	39
21 – 30	250	28.05	212.63	-	9.33	70	40	15	8	133
31 – 40	218.1	11.28	85.28	115.22	6.32	100	80	30	16.8	226.8
41 - 50	350.6	10.80	56.73	275.54	7.50	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	482.4	445.34	-	-	37.06	-	-	-	-	-	482.4
11 – 20	5581.12	2082.40	3448.03	-	50.69	671.2	879.60	-	43.75	1594.55	7175.07
21 – 30	16585.45	941.36	15585.78	-	58.31	2349.2	2932	1099.5	586.4	6967.1	23552.55
31 – 40	15114.71	378.56	6251.02	8445.63	39.5	3356	5864	2199	105	11524	26638.71
41 - 50	24764.	362.4	4158.3	20197	46.8	-	-	-	-	-	24764

	72	5	1	.08	8						
--	----	---	---	-----	---	--	--	--	--	--	--

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	259.03	-	34.09	293.13
11 – 20	1211.22	1693.44	46.63	2951.29
21 – 30	547.54	7654.68	53.65	8255.87
31 – 40	220.19	7218	36.34	7474.53
41 – 50	210.82	11961.72	43.12	12215.67

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	293.13	1741.27	1741.27	2034.4	(1549)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.90	2951.29	737.30	2478.57	5429.86	1745.81
21 – 30	-	-	-	431.98	171.90	8255.87	603.88	3082.45	11338.82	12214.23
31 – 40	-	-	-	485.11	171.90	7474.53	657.01	3739.46	11213.99	15424.72
41 – 50	-	-	-	-	171.90	12215.67	171.9	3911.36	16127.03	8636.97

INDICE DE SITIO 16 (Tabla 21).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	174	12.0 3	-	-	5.37	-	-	-	-	-
11 – 20	105. 3	55.7 5	42.27	-	7.29	20	10	-	6	35
21 – 30	148. 4	16.6 5	126.2 1	-	5.54	70	25	-	9.5	104.5
31 – 40	194. 2	10.0 4	75.93	102.6	5.63	15	15	5	4.5	39.5
41 - 50	315.	9.73	51.10	248.1	6.76	10	12	10	3.3	35.3

	8			9						
--	---	--	--	---	--	--	--	--	--	--

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	437.29	403.73	-	-	33.56	-	-	-	-	-	437.29
11 – 20	5014.92	1870.97	3098.39	-	45.56	67.12	733	-	31.25	1435.45	6450.37
21 – 30	9844.59	558.77	9251.19	-	34.63	2349.2	1832.5	-	59.38	4241.08	14085.6
31 – 40	13458.38	336.94	5565.67	7520.58	35.19	503.4	1099.5	366.5	28.13	1997.53	15455.9
41 - 50	22306.75	326.54	3745.63	18192.3	42.25	335.6	879.6	733	20.63	1968.83	24275.58

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	234.83	-	30.88	265.7
11 – 20	1088.24	1527.72	41.92	2651.88
21 – 30	325	4543.56	31.85	4900.41
31 – 40	195.98	6427.08	32.37	6655.43
41 – 50	189.93	1774.44	38.87	11003.24

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	265.70	1741.27	1741.27	2006.97	(1569.68)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.90	2651.88	737.30	2478.57	5130.45	1320.74
21 – 30	-	-	-	431.98	171.90	4900.41	603.88	3082.45	7982.86	6103.14
31 – 40	-	-	-	485.11	171.90	6655.43	657.01	3739.46	10394.89	5061.02
41 – 50	-	-	-	-	171.90	11003.24	171.90	3911.36	14914.6	9360.98

INDICE DE SITIO 14 (Tabla 22).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	10.8	3.78	-	-	6.04	-	-	-	-	-
11 – 20	71.4	60.4 4	4.08	-	6.88	25	10	-	6.3	41.3
21 – 30	112. 5	25.6 1	81.64	-	5.25	30	25	15	13.7	83.7
31 – 40	135. 2	11.2 8	85.65	33.65	4.61	5	10	10	2.5	22.5
41 - 50	219. 3	9.71	66.93	136.7 6	5.92	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	164.61	126.8 6	-	-	37.7 5	-	-	-	-	-	164.6 1
11 – 20	2370.4 3	2028. 37	299.06	-	43	839	733	-	39.3 8	1611. 38	3981. 81
21 – 30	6876.4 9	859.4 7	5984.2 1	-	32.8 1	1006. 8	1832. 5	1099 .5	85.6 3	4024. 43	10900 .92
31 – 40	9152.0 7	378.5 6	6268.1 5	2466. 55	28.8 1	167.8	733	733	15.6 3	1649. 43	10001 .5
41 - 50	15293.	325.8	4905.9	10024	37	-	-	-	-	-	15293

	35	7	7	.51							.35
--	----	---	---	-----	--	--	--	--	--	--	-----

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	73.79	-	34.73	108.52
11 – 20	1179.79	146.88	39.56	1366.23
21 – 30	499.91	2939.04	30.19	3469.14
31 – 40	220.19	4294.8	26.50	4541.49
41 – 50	198.54	7332.84	34.04	7556.42

R. Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I. Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	108.52	1741.27	1741.27	1849.79	(1685.18)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.90	1366.23	737.30	2478.57	3844.8	137.01
21 – 30	-	-	-	431.98	171.90	3469.14	603.88	3082.45	6551.59	4349.33
31 – 40	-	-	-	485.11	171.90	4541.49	657.01	3739.46	8280.95	2520.55
41 – 50	-	-	-	-	171.90	7556.42	171.90	3911.36	11467.78	3825.97

INDICE DE SITIO 12 (Tabla 23).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	6.6	2.31	-	-	3.69	-	-	-	-	-
11 – 20	53.9	45.4 9	-	-	8.41	-	-	-	-	-
21 – 30	85.7	28.8 9	52.09	-	4.72	10	10	-	14.4	44.4
31 – 40	95.1	14.8 5	76.35	-	3.91	15	15	10	7.34	57.54
41 - 50	153. 4	10.0 2	74.94	63.66	4.79	-	-	-	-	-

Valor en existencia	Valor extraído
---------------------	----------------

R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	100.58	77.52	-	-	23.06	-	-	-	-	-	100.58
11 – 20	1579.2	1526.64	-	-	52.56	-	-	-	-	-	1579.2
21 – 30	4817.25	969.55	3818.20	-	29.5	671.2	733	-	90	1494.2	6311.45
31 – 40	6119.27	498.37	5596.46	-	24.44	839	1099.5	733	45.88	2717.36	8836.65
41 - 50	10525.59	336.27	5493.10	4666.28	29.94	-	-	-	-	-	10525.59

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	45.09	-	21.22	66.30
11 – 20	887.96	-	48.35	936.32
21 – 30	563.93	1875.24	27.14	2466.31
31 – 40	289.87	2748.6	22.48	3060.95
41 – 50	195.59	4989.6	27.54	5212.73

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	66.30	1741.27	1741.27	1807.57	(1706.99)
11 –	-	-	212.3	353.0	171.9	936.3	737.30	2478.5	3414.89	(1835.6

20			9	1	0	2		7		9)
21 –	-	-	-	431.9	171.9	2466.	603.88	3082.4	5548.76	762.69
30				8	0	31		5		
31 –	-	-	-	485.1	171.9	3060.	657.01	3739.4	6800.41	2036.2
40				1	0	95		6		4
41 –	-	-	-	-	171.9	5212.	171.90	3911.3	9124.09	1401.5
50					0	73		6		0

INDICE DE SITIO 10 (Tabla 24).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Eda d	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	3.4	-	-	-	3.4	-	-	-	-	-
11 –	28.8	19.9	-	-	8.89	-	-	-	-	-

20		1								
21 – 30	49.7	42.07	2.84	-	4.79	18	-	-	4.7	22.7
31 – 40	50.2	16.92	30.51	-	2.77	15	15	-	7.6	37.6
41 - 50	81.3	12.69	65.27	-	3.34	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	21.25	-	-	-	21.25	-	-	-	-	-	21.25
11 – 20	723.74	668.18	-	-	55.56	-	-	-	-	-	7223.74
21 – 30	1649.98	1411.87	208.17	-	29.94	604.08	-	-	29.38	633.46	2283.44
31 – 40	2821.53	567.84	2236.38	-	17.31	503.4	1099.5	-	47.7	1697.9	4519.43
41 - 50	5231.05	425.88	4784.29	-	20.88	-	-	-	-	-	5231.05

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	-	-	19.55	19.55
11 – 20	396.61	-	51.12	447.73

21 – 30	821.20	102.24	27.54	950.98
31 – 40	330.28	1098.36	15.93	1444.57
41 – 50	247.71	2349.72	16.20	2616.63

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.98	212.39	-	-	171.90	19.55	1741.27	1741.27	1760.82	(1739.57)
11 – 20	-	-	212.39	353.01	171.90	447.73	737.30	2478.57	2926.3	(2202.56)
21 – 30	-	-	-	431.98	171.90	950.98	603.88	3082.45	4033.43	(1749.99)
31 – 40	-	-	-	485.11	171.90	1444.57	657.01	3739.46	5184.03	(664.60)
41 – 50	-	-	-	-	171.90	2616.63	171.90	3911.46	6527.99	(1296.94)

INDICE DE SITIO 8 (Tabla 25).

Volumen en existencia						Volumen extraído (raleo)				
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total
0 – 10	2.8	-	-	-	2.8	-	-	-	-	-
11 – 20	19.3	13.34	-	-	5.96	3.4	-	-	-	34
21 – 30	33.1	28.02	1.89	-	3.19	11	-	-	2.9	18.9
31 – 40	35.3	11.90	21.46	-	1.95	10	6	-	3.9	19.9
41 - 50	47	10.70	34.11	-	2.19	-	-	-	-	-

Valor en existencia						Valor extraído					
R.Edad	Total	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	M.R.	M.B ₁	M.B ₂	Leña	Total	V. Total
0 – 10	17.50	-	-	-	17.50	-	-	-	-	-	17.50
11 – 20	484.94	447.69	-	-	37.25	114.10	-	-	-	114.10	599.04
21 – 30	1098.83	940.35	138.54	-	19.94	369.16	-	-	18.12	387.28	1486.11

31 – 40	1984.5 7	399.3 6	1573.0 2	-	12.1 9	335.6	439.8	-	24.3 7	799.8	2784. 37
41 - 50	2873.0 4	359.0 9	2500.2 6	-	13.6 9	-	-	-	-	-	2873. 04

I. de Edad	Costo de M.R.	Costo de M.B.	Costo de leña	C ₆
0 – 10	-	-	16.1	16.1
11 – 20	260.40	-	34.27	294.67
21 – 30	546.95	68.04	18.34	633.33
31 – 40	232.29	772.56	11.21	1016.06
41 – 50	208.86	1227.96	12.59	1449.41

R.Edad	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C.I.Edad	C.acum	C.A.I.C.E /T.	Utilidades
0 – 10	1356.9 8	212.3 9	-	-	171.9 0	16.1	1741.2 7	1741.2 7	1757.37	(1739.8 7)
11 – 20	-	-	212.3 9	353.0 1	171.9 0	294.6 7	737.30	2478.5 7	2773.24	(2174.2 0)
21 – 30	-	-	-	431.9 8	171.9 0	633.3 3	603.88	3082.4 5	3715.78	(2229.6 7)
31 – 40	-	-	-	485.1 1	171.9 0	1016. 06	657.01	3739.4 6	4755.52	(1971.1 5)
41 – 50	-	-	-	-	171.9 0	1449. 41	171.90	3911.3 6	5360.77	(2487.7 3)