

Tabla de Producción para las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral Macurije.

Ilya García-Corona¹; Angel Zaldivar Solis¹; Edilio Aldana Perira¹.

¹ Universidad de Pinar del Río Martí 270

ilia@af.upr.edu.cu

ealdana@upr.edu.cu

azaldivar@upr.edu.cu

Resumen

El presente trabajo se realizó en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, en la Empresa Forestal Integral de Macurije, perteneciente a la provincia de Pinar del Río. Mediante un muestreo sistemático se levantaron 420 parcelas temporales de 500 m², donde se midieron los diámetros a 1.30 metros del suelo (DAP), agrupándose por clases diamétricas, seguidamente se tomaron las alturas también por clases diamétricas, así como otros datos de interés para la construcción de calidades de sitio y tablas de producción o crecimiento. De los datos adquiridos y procesados se obtuvieron cinco índices de sitio y sus respectivas tablas y las tablas de producción o crecimiento correspondiente a los índices de sitios obtenidos del análisis anterior, posteriormente se realizó un análisis económico para cada uno de los índices de sitios presentes en el área.

Palabras Claves: Crecimiento, Modelación, *Pinus caribaea*, Sitio.

Summary

The present work was carried out in plantations of *Pinus caribaea* var. *caribaea*, in the Company Forest Integral of Macurije, belonging to the county of Pinar del Río. By means of a systematic sampling 420 parcels storms of 500 m² rose, where the diameters were measured to 1.30 meters of the floor (DAP), grouping for classes diamétricas, subsequently they also took the heights for classes diamétricas, as well as other data of interest for the construction of place qualities and production charts or growth. Of the acquired and processed data five place indexes and their respective charts and the production charts or growth corresponding to the indexes of obtained places of the previous analysis were obtained, later on he/she was carried out an economic analysis for each one of the indexes of present places in the area.

Key words: Growth, Modelation, *Pinus caribaea*, Site.

Introducción

La realización de estudios de crecimiento y rendimiento en las plantaciones con fines de producción maderera, los cuales, sustentados sobre la base de la experiencia acumulada hasta el presente y el desarrollo de las tecnologías del procesamiento de la información, constituyen una premisa de la planificación forestal, no puede aspirarse a un uso eficiente de los recursos forestales sin conocer el potencial productivo del bosque, hacer productivo a un bosque conlleva a la inversión de costosos recursos materiales y humanos, así como la aplicación de una tecnología apropiada; el dasónomo debe conocer la respuesta cualitativa y cuantitativa del bosque al manejo aplicado. Estos son los medios utilizados para lograr tal fin (Alder, 1980); los cuales se expresan prácticamente a través de las llamadas tablas de rendimiento o producción y más moderadamente modelos de crecimiento y rendimiento forestal, que no son más que la representación gráfica o tabular de los índices numéricos que simulan el desarrollo de un rodal en dependencia de la especie, la calidad del sitio o potencialidad productiva del ecótopo y el manejo silvícola (Mackay, 1961; Anuchin, 1970; Loetsch et al., 1973; Husch et al., 1982).

Si logramos tener en cuenta estos elementos se podría definir el tipo y momento de aplicación de los tratamientos silviculturales en relación directa con la calidad de los sitios y de esa forma se proporcionen los mejores beneficios financieros obteniendo mayores rendimientos productivos.

.Materiales y Métodos

Este trabajo investigativo se realizó en la Empresa Forestal Integral Macurije (EFI Macurije) la que se encuentra ubicada en la región más occidental de la provincia de Pinar del Río, con una superficie de 90 761 ha, ocupando los territorios de los municipios Guane y Mantua. Sus límites geográficos son los siguientes al nordeste con el municipio Minas y Santa Lucía (EFI Minas de Matahambre), al noroeste con el litoral costero, desde la ensenada de baja hasta la

ensenada de garnacha, al este con el municipio San Juan y Martínez (EFI Pinar del Río), al sur con el municipio Sandino (EFI Guanahacabibes) y al sureste con el litoral del Golfo de México comprendidos entre las desembocaduras de los ríos Cuyaguatete y Puercos.

Para 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 hectáreas (García y Tella, 1986), construyéndose mediante análisis de regresión un modelo matemático de crecimiento de la altura dominante en función de la edad. Para la determinación de los índices de sitio se utilizaron los registros de 420 parcelas temporales levantadas en la EFI "Macurije" de la provincia de Pinar del Río. Esta técnica que fue descrita por Alder en 1980, se empleó para determinar los índices de sitio utilizados en este trabajo, tomando como modelo de crecimiento de la altura dominante la ecuación de Schumacher.

$$h_o = h_{max} e^{\frac{b}{E^k}} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que en las empresas no miden las alturas dominantes sino las alturas medias, para determinar los índices de sitios se tomó como criterio, el valor de la altura dominante (h_o) (el equivalente a los 100 árboles más gruesos por hectárea) y las alturas medias en cada parcela de muestreo y se clasificaron dentro de los mismos índices de sitio, Alder (1980), García (1986), Reinnolis y Peace (1986), Peñalver (1987), Prodan et al (1997), Padilla (1998), Zaldivar (2000) e García Ilya et al (2000).

Se emplearon técnicas matemáticas de ajustes de curvas de índices de sitio.

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

Para la confección de la tabla de producción que fue elaborada para cada uno de los índices de sitio se agruparon todos los parámetros dasométricos y se determinaron los modelos para la predicción de la estructura dimensional del rodal y el rendimiento de la plantación.

Resulta conveniente que las variables que caracterizan el crecimiento sea en función de la altura máxima (h_0) pues constituye una variable combinada que expresa potencial productivo y tiempo.

La estructura dimensional del rodal depende de la distribución diamétrica y de la densidad, utilizando para el calculo de volumen la ecuación definida por González, F. (2001).

$$V = ad_{1,30}^b h^c \quad (2)$$

En esta ecuación se sustituye el valor del diámetro ($d_{1,30}$) calculado y la altura media (\bar{h}) obtenida en función de la altura máxima (h_0), donde la altura media quedó definida por la siguiente ecuación: $\bar{h} = a + bh_0$ (3)

Los demás parámetros dasométricos se definieron de la siguiente forma:

El número de árboles se determinó por la formula $G = \frac{\pi}{4} d_{1,30}^2 N$, (4)

Donde el área basal se definió en función de la NRAG 595 con una densidad de un 0.7 %.

Así mismo el diámetro se obtuvo en función de la altura máxima $d_{1,30} = a + bh_0$ (5)

El incremento medio anual (IMA) se determinó mediante la siguiente ecuación

$$IMA = \frac{V_{total}}{E} \quad (6)$$

Todo este sistema de ecuaciones se programa utilizando las facilidades del tabulador electrónico Excel y del paquete estadístico Statistica para su obtención.

Este modelo permite la simulación de crecimiento y rendimiento de plantación en diferentes calidades de sitio.

Teniendo como base las características de crecimientos del *Pinus caribaea var. caribaea*, 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 la finalidad de aserrío 20 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. la valoración económica se fundamenta en determinar cual es el momento de máxima utilidad 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.

La metodología seguida para el análisis se fundamenta en la propuesta realizada por (Hernández, 1998)

El calculo fue realizado utilizando el siguiente modelo:

$$U = V - C \quad (7)$$

Donde: U- representa las unidades 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.
$$V = \sum_{i=1}^n VSi + \sum_{j=1}^m VAj \quad (8)$$

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.
$$C = \sum_{i=1}^n CSi + \sum_{j=1}^m CAj \quad (9)$$

Donde: C- Representa el costo total de todos los trabajos forestales realizados a las plantaciones desde el comienzo hasta el momento del máximo de las utilidades.

Csi- Costos relacionados con la silvicultura donde se incluyen:

i-Tipo de trabajo silvícola.

n- Números de trabajos relacionados con la silvicultura.

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

j- Tipo de surtido.

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

Desarrollo

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

$$\ln H_o = 4.85971 + (-3.63507) * 1 / E^k \quad (10)$$

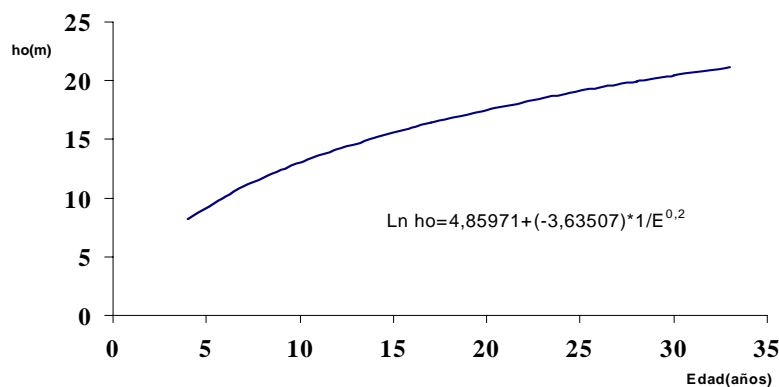
El valor parámetro k es de 0.2 ya que le corresponde el valor más pequeño del cuadrado medio del error (S^2_{error}), se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1: Ecuación obtenida del análisis del valor K

K	R	R ² ajustada	S ² _{error}
0.2	0.86	0.74	0.144
1	0.86	0.73	0.148
2	0.83	0.68	0.160

La ecuación de Shumacher obtenida $\ln H_o = -4.85971 + (-3.63507) \frac{1}{E^{0.2}}$. Observándose

el mismo en el gráfico que a continuación se expresa:



A través de los parámetros estadísticos de esta ecuación, que entre ellos están los coeficientes de correlación y determinación con valores altos justifica el buen ajuste de esta ecuación.

Una vez que la curva de crecimiento de la altura promedio fue ajustada se trazaron las curvas de índice de sitio, utilizando la edad índice de 20 años. Observándose el sistema de ecuaciones para la determinación de la calidad de sitio.

Indice de sitio	Ecuaciones
12 m	$\ln Ho = 4.481578887 + (-3.63507) * 1 / E^{0.2}$
15 m	$\ln Ho = 4.704722438 + (-3.63507) * 1 / E^{0.2}$
18 m	$\ln Ho = 4.887043995 + (-3.63507) * 1 / E^{0.2}$
21 m	$\ln Ho = 5.041194675 + (-3.63507) * 1 / E^{0.2}$
24 m	$\ln Ho = 5.174726067 + (-3.63507) * 1 / E^{0.2}$

Así vemos, como queda este sistema de curvas a partir de nuestros datos, los que nos ofrecen el resultado de cinco índices de sitio.

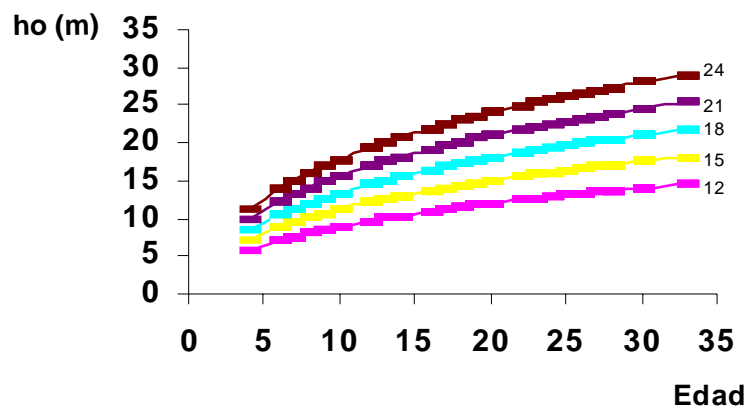


Fig. No. 2 Calidades de sitio para las plantaciones de *Pinus caribaea var. caribaea* en la EFI "Macurije".

La estructura del modelo de crecimiento y rendimiento propuesto para una especies con crecimiento relativamente rápido es debido a ello que se establecieron intervalos de 3 años.

Se definieron edades desde 6 hasta 30 años, con intervalos de 3 años y para esas edades se evaluaron en modelos de calidad de sitio determinándose la altura dominante para cada uno de los 5 índices de sitio, que dadas las características de distribución y áreas ocupadas por la especie se decidió manejar.

Con los valores de altura media (h) y alturas dominantes (ho), se realizaron análisis de regresión y se probaron diferentes modelos que al realizar comparaciones entre ellos en cuanto a los estadígrafos estadístico se observó que presentaban un buen ajuste, por lo que se definen como buenas ecuaciones para la obtención de las tablas de producción.

Para la determinación de la altura media (h) en función de la altura dominante (ho) se empleó el modelo $h(m) = -1.56884 + 1.01246*(ho)$, el cual se observa que los coeficiente de correlación $r = 0.99$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.99$ representan los valores más altos y la desviación estándar más pequeña $S_x = 0.375$.

Así coincidiendo con el diámetro ($d_{1.30}$) en función de la altura dominante (ho) cuyo modelo es $d_{(1.30)} = 3.832647 + 0.901692*(ho)$ con los valores de $r = 0.76$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.60$ representan los valores más altos y la desviación estándar más pequeña $S_x = 3.286$.

Para la zona en cuestión se determinó el modelo del volumen en función del diámetro ($d_{1.30}$) y la altura media (h) $\log v = -4.176 + 1.8485 \log d + 0.94116 \log hm$, cuyos valores están

representados por los valores de $r = 0.97$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.93$ representan los valores más altos y la desviación estándar más pequeña $S_x = 0.055$.

Otro parámetro importante presente en las tablas de producción es el área basal por hectárea (G), que en este caso fue determinado mediante la formula: $G = 0.7854 * d_{1.30}^2 * N$

El volumen extraído se calculó en función del número de árboles a extraer. En función de los valores del volumen total y la edad se calculó para cada índice de sitio los incrementos medios anuales (IMA).

Todos los parámetros expuestos anteriormente se encuentran representados en las tablas que a continuación presentamos:

Tabla No 2: Índice de sitio 12

Edad	ho	h	$d_{1.30}$	N	G	Vexi	Vext	Vt	IMA
(años)	(m)	(m)	(cm)	(árboles/ha)	(m^2/h)	(m^3/ha)	(m^3/ha)	(m^3/ha)	($m^3/ha/año$)
6	7.0	5.5	10.1	2125	17	50.68	0.00	50.68	8.45
9	8.5	7.0	11.5	2125	22	80.99	0.00	80.99	9.00
12	9.7	8.2	12.6	1452	18	75.74	49.21	124.95	10.41
15	10.7	9.2	13.4	1338	19	88.08	10.27	98.35	6.56
18	11.5	10.1	14.2	1262	20	99.90	7.99	107.89	5.99
21	12.2	10.8	14.9	1152	20	106.09	13.34	119.43	5.69

24	12.9	11.5	15.5	1066	20	111.53	11.76	123.30	5.14
27	13.5	12.1	16.0	1066	21	124.55	0.00	124.55	4.61
30	14.0	12.6	16.5	1066	23	137.23	0.00	137.23	4.57

Tabla No 3: Índice de sitio 15

Edad	ho	h	d _{1,3}	N	G	Vexi	Vext	Vt	MA
(años)	(m)	(m)	(cm)	(árboles/ha)	(m ² /h)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/año)
6	8.7	7.2	11.7	2125	23	86.03	0.00	86.026	14.338
9	10.6	9.2	13.4	1346	19	87.70	47.40	135.11	15.012
12	12.1	10.7	14.7	1230	21	110.21	9.98	120.19	10.016
15	13.3	11.9	15.8	1115	22	126.66	12.71	139.37	9.2911
18	14.4	13.0	16.8	993	22	136.04	16.50	152.54	8.4743
21	15.3	13.9	17.6	943	23	150.68	7.99	158.68	7.5561
24	16.1	14.7	18.4	906	24	165.00	6.69	171.69	7.1538
27	16.9	15.5	19.0	906	26	184.54	0.00	184.54	6.8347
30	17.5	16.2	19.6	906	27	203.67	0.00	203.67	6.7891

Tabla No 4: Índice de sitio 18.

Edad	ho	h	d _{1,3}	N	G	Vexi	Vext	Vt	MA
(años)	(m)	(m)	(cm)	(árboles/ha)	(m ² /h)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/año)
6	10.5	9.0	13.3	2125	29	133.31	0.00	133.31	22.219
9	12.7	11.3	15.3	1085	20	110.29	102.04	212.33	23.592
12	14.5	13.1	16.9	978	22	137.33	14.92	152.25	12.688
15	16.0	14.6	18.3	841	22	150.22	24.63	174.85	11.657
18	17.3	15.9	19.4	779	23	168.35	13.60	181.94	10.108
21	18.4	17.0	20.4	736	24	185.83	11.33	197.16	9.3888
24	19.3	18.0	21.3	704	25	202.89	9.56	212.45	8.8521

27	20.2	18.9	22.1	704	27	227.43	0.00	227.43	8.4233
30	21.0	19.7	22.8	704	29	251.34	0.00	251.34	8.3781

Tabla No 5: Indice de sitio 21

Edad	ho	h	d _{1,3}	N	G	Vexi	Vext	Vt	MA
(años)	(m)	(m)	(cm)	(árboles/ha)	(m ² /h)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/año)
6	12.2	10.8	14.8	1666	29	152.10	0.00	152.09	25.35
9	14.9	13.5	17.2	943	22	140.34	106.80	247.14	27.46
12	16.9	15.6	19.1	802	23	165.58	29.65	195.23	16.27
15	18.7	17.3	20.7	716	24	188.62	23.43	212.05	14.137
18	20.1	18.8	22.0	659	25	210.32	19.22	229.54	12.752
21	21.4	20.1	23.1	618	26	231.15	16.12	247.27	11.775
24	22.6	21.3	24.2	567	26	242.06	23.72	265.78	11.074
27	23.6	22.3	25.1	567	28	271.81	0.00	271.81	10.067
30	24.5	23.3	26.0	567	30	300.70	0.00	300.70	10.023

Tabla No 6: Indice de sitio 24

Edad	ho	h	d _{1,3}	N	G	Vexi	Vext	Vt	MA
(años)	(m)	(m)	(cm)	(árboles/ha)	(m ² /h)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/año)
6	13.9	12.5	16.4	994	21	126.12	14.52	140.64	23.44
9	17.0	15.6	19.1	799	23	165.97	41.37	207.34	23.038
12	19.4	18.0	21.3	702	25	203.15	29.13	232.27	19.356
15	21.3	20.0	23.1	623	26	230.30	31.31	261.61	17.441
18	23.0	21.7	24.6	548	26	246.27	35.96	282.23	15.679
21	24.5	23.2	25.9	513	27	270.03	20.49	290.52	13.834
24	25.8	24.5	27.1	469	27	282.60	29.02	311.63	12.984
27	27.0	25.7	28.1	469	29	317.49	0.00	317.49	11.759

30 28.0 26.8 29.1 469 31 351.54 0.00 351.54 11.718

Conclusiones

Del estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral de Macurije se derivan las siguientes conclusiones.

1. El sistema de curvas de índices de sitio propuesto, permite diferenciar las plantaciones en cinco calidades de sitios, las cuales quedan determinadas por el valor de la altura dominante. Los índices han sido fijados a la edad de 20 años por los valores 12, 15, 18, 21 y 24 metros.
1. El modelo de crecimiento $Lho = 4.85971 + (-3.63507) * \frac{1}{E^{0.2}}$ fue el que mejores resultados proporcionó y sirvió como guía para la obtención del abanico de curvas que define los índices de sitio para la especie.
2. Las tablas de rendimiento elaboradas constituyen herramientas de gran valor para el manejo de la especie, no solo por los índices dasométricos en ellas reflejados, sino también por estar diseñadas como ficheros de calculo que permite simular diferentes situaciones en el manejo de la densidad y las edades.
3. El análisis económico realizado permite afirmar que excepto el IS=12, los demás proporcionan utilidades, haciéndose éstas mayores a medida que nos acercamos al mejor índice de sitio correspondiente a IS=24.
4. Las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* no han sido adecuadamente manejadas ya que se puede ver uno de menos de un centímetro de diámetro por año en el índice de sitio más malo (12), por lo que sería bueno valorar plantación de otro tipo de especie en este sitio.

Bibliografía

1. Alder, D. 1980: Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: FAO # 22 Vol. 2. Roma. Editorial Argón. 118 p.
2. Alvarez O, P. A, Julio C Varona Torres. 1988: Silvicultura. Ciudad Habana: Editorial Pueblo y Educación; 354 p.
3. Anuchin, N. P. 1970: Forest mensuration (Lesnaya Taksasiya). Second Edition. Israel Program for scientific traslation. Jerusalem. 454 p.
4. Bailey, R. L. 1980: Individual tree growth derived from diameter distribution models. Forest Science Vol. 26 No. 4. pp 626-632.
5. García Abejón, J. L y Tella Ferreiro. 1986: Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. En el Sistema Pirenaico. IN/A: Comunicaciones Recursos Naturales. No. 43, Madrid. pp 17-28.
6. García Abejón, J. L y Tella Ferreiro. 1986: Tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* Ait. En el Sistema Central. Madrid. 43 p.
7. García Abejón, J. L 1981: Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. En el Sistema Ibérico. Serie Recursos Naturales. No. 10. Madrid. 47 p.
8. García Corona Ilya 2000 Tablas de Producción para las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de Pinar del Río SINFOR ISBN 959-16-0154-9.
9. González, Otero. F. 2001: Tablas dasométricas de plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral Macurije. Trabajo de Diploma. (Sin publicar).
10. Hernández Enna M. 1998: Bases metodológicas para la implantación potencial del cooperativismo en sector de la silvicultura en Cuba. Tesis presentada en opción de grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales 116 p.
11. Loetsch, F.F. Zöhrer and K. E. Haller 1973: Forest inventory. Vol. 2 BLV Verlagsgesellschaft München, Bern Wlen. p 440-472.
12. 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

13. Padilla, G.1998: Indices de sitio para plantaciones de *Pinus torpicalis* en Pinar del Río. 2do Congreso Forestal. La Habana. 14 p.
14. Peñalver, A. 1991: Estudios de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus sp* de la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción de grado científico de doctor en ciencias forestales. UPR.
15. Prodan, M; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997: Mensura Forestal. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. 586 p.
16. Rennolis. K and A. Peace. 1986: Flow models of mortality and yield for unthinned forest stands. Forestry. Vol. 59. No.1. p. 47-48.
17. Samek, V. 1967: Elementos de silvicultura de los pinares. Ed. Imp. André Voisin, Univ. Habana. La Habana. 102 p.
18. Varona J. C. 1977: Producción de semillas y regeneración natural de *Pinus caribaea* en Cajálbana. Tesis de candidatura. Universidad Forestal y de Tecnología de la madera. Zvolen. Checoslovaquia.
19. Varona J. C. 1982: Fomento de plantaciones del pino. Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana. 102 p.
20. Zaldivar Solis AI, 2001: Estudios de plantaciones de *Hibiscus elatus* en la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción de grado científico de doctor en ciencias forestales. UPR.