

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO EN ALTURA DE *Hibiscus elatus* Sw CULTIVADA EN CONTENEDORES

M. Cobas-López¹; R. Sotolongo-Sospedra²; I. García-Corona³;
I. Estévez-Valdés⁴; E. González-Izquierdo⁵

¹Doctor en Ciencias Forestales, Calle B S/n e/n F e I, Rpto. 5 de Septiembre, Pinar del Río 20100, Cuba. E-mail: mcobas@af.upr.edu.cu

²Doctor en Ciencias Forestales, Calle 52, # 4210-4, Consolación del Sur, Cuba E-mail: soto@af.upr.edu.cu

³Ingeniera Forestal, Calle C Final, Edificio 76, Apto. A-4, Rpto. Hermanos Cruz, Pinar del Río 20200, Cuba. E-mail: ilia@af.upr.edu.cu

⁴Doctor en Ciencias Forestales, Mariana Grajales, # 129, e/n Roldán y Agramonte, Pinar del Río 20100, Cuba. E-mail: iestevez@mat.upr.edu.cu

⁵Doctor en Ciencias Forestales, 5ta Final, Edificio 37, Apto. B-4, Rpto. Hermanos Cruz, Pinar del Río 20200, Cuba. E-mail: eduardo@af.upr.edu.cu

RESUMEN

Hibiscus elatus Sw. (majagua) es una especie nativa de Cuba, incluida en los planes de reforestación del país por su importancia económica, ecológica y su condición de ser una madera preciosa. En el trabajo se describe el comportamiento en vivero del crecimiento en altura de la especie, cultivada en contenedores. Se utilizaron cuatro tipos de sustratos, que fueron los siguientes: S1- Turba (40 %), humus de lombriz (40 %) y corteza de pino compostada (20 %); S2- Estiércol de caballo (45 %), composta (40 %), y humus de lombriz (15 %); S3- Humus de lombriz (30 %), composta (25 %), turba (25 %), y estiércol de caballo (20 %); S4- Testigo, consistente en suelo proveniente de una plantación de la especie. A través del análisis de regresión se probaron nueve modelos matemáticos del tipo $y = f(x)$, polinómicos, exponenciales y logarítmicos. De acuerdo con el coeficiente de determinación obtenido, del análisis de residuos y la validación de los modelos, se comprobó que la función que mejor representa el crecimiento en altura de *Hibiscus elatus* Sw., para los sustratos estudiados fue $y = b_0 + e^{b_1 t}$.

PALABRAS CLAVE: modelos matemáticos, sustratos, vivero forestal, plántulas

GROWTH IN HEIGHT OF CONTAINERIZED *Hibiscus elatus* SEEDLINGS

SUMMARY

Hibiscus elatus Sw. (blue mahoe) is a native species of Cuba included in the reforestation plans of the country because of its economic and ecological importance and also because it is a hardwood. This paper describes the growth in height of container-grown seedlings cultivated in four different growing media: S1- peat (40%), worm humus 40%, and pine bark compost (20 %); S2 - horse manure (45 %), compost (40%), and worm humus (15%); S3 - worm humus (30%), compost (25%), peat (25%), and horse manure (20%); S4 – control, consisting of soil from a plantation. Through regression analysis nine mathematical models of the polynomial, exponential and logarithmical types were tested. Based on the determination coefficient obtained from the residue analysis and the validation of the models, the function that better fits the growth in height of *Hibiscus elatus* Sw. for the growing media studied was $y = b_0 + e^{b_1 t}$.

KEY WORDS: mathematical models, growing media, forest nursery, seedlings.

INTRODUCCIÓN

La descripción del crecimiento de las plantas es importante para conocer las características de la dinámica de evolución de una especie y para analizar la influencia de diferentes factores sobre el desarrollo de la misma. En los últimos años se ha trabajado mucho en la aplicación de

diferentes funciones matemáticas para describir el crecimiento en diferentes cultivos (Soto, 1986), como por ejemplo: papa, cítricos, tomate, café, caña de azúcar. Sin embargo, en el caso de plantas forestales en vivero, las experiencias son mínimas. Solamente se ha tenido conocimiento de un mensaje escrito por South (1996) en la lista forestal finlandesa que hace referencia a varias

ecuaciones para describir el crecimiento de plantas, pero no precisa que sean para las que crecen en viveros forestales. Anteriormente Parmar *et al.* (1992) probaron un modelo para simular la germinación en viveros de Loblolly pine, porque la cantidad de semillas necesita encontrar la demanda de plantas y el costo de producción por planta. Esto es función de las características de la germinación de las semillas. Dichos autores emplearon un modelo que simula la germinación diaria como porcentaje del número total de semillas sembradas, propuesto por Boyer *et al.* (1987). Varios autores refieren la existencia de distintas fases de crecimiento de las plantas en el vivero sin indicar un modelo que las caracterice (Barnett y Brissette, 1986; Landis *et al.* 1992, 1999, 2000; Barnett y McGilvary, 1997; Peñuelas y Ocaña, 2000).

La descripción de diferentes procesos a través de distintos modelos matemáticos resulta de mucha utilidad, siendo de gran importancia en estas técnicas, la exactitud en el ajuste matemático. Según Torres (1984), es fundamental además analizar el comportamiento biológico de las variables en estudio, para no cometer graves errores en la interpretación de los resultados.

Por lo antes expuesto y teniendo en cuenta la escasa información existente acerca de la dinámica del crecimiento de las especies forestales en la fase de vivero y en particular con la utilización de sustratos artificiales de cultivo, es que se realiza el presente estudio con el objetivo de contar con información de utilidad tanto para investigadores como para profesionales de la producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló entre los meses de marzo a julio de 1999 en el vivero docente de la Universidad de Pinar del Río, Cuba. Las semillas utilizadas contaban con once meses de cosechadas y fueron obtenidas de un rodal de calidad de la especie *Hibiscus elatus* que se encuentra cerca de la universidad. Para el llenado de los envases (contenedores de 100 cm³ de capacidad), se trabajó con cuatro tipos de sustratos, tres de ellos compuestos por mezclas de diferentes componentes y una muestra testigo.

Los sustratos empleados fueron los siguientes:

S1- Turba (40 %), humus de lombriz (40 %) y corteza de pino compostada (20 %);

S2- Estiércol de caballo (45 %), compost (40 %), y humus de lombriz (15 %);

S3- Humus de lombriz (30 %), compost (25 %), turba (25 %), y estiércol de caballo (20 %);

S4- Testigo. Consistente en suelo proveniente de una plantación de la especie *Hibiscus elatus* de muy buen crecimiento.

La composta a que se hace referencia consiste en una mezcla de suelo con restos de cosechas agrícolas. Las mediciones de altura de las plantas, se realizaron cada 15 días durante todo el tiempo que la planta permaneció en vivero a partir de los 60 días y hasta 120, coincidiendo con el final del cultivo en el vivero.

Con los valores obtenidos se probaron los modelos matemáticos que aparecen a continuación en el Cuadro 1 para decidir cual de ellos se ajustaba mejor al comportamiento de la altura para cada uno de los sustratos empleados.

Para el procesamiento de los datos, se utilizó el programa estadístico SPSS (Statistical Package for Social Science) para Windows, versión 1998.

Mediante un análisis de regresión por estimación curvilínea, se determinaron los tres modelos matemáticos que mejor se ajustaron a la dinámica del crecimiento de la especie.

CUADRO 1. Modelos matemáticos empleados en el análisis del crecimiento

$y = b_0 + b_1 t$	(1)
$y = b_0 + b_1 \ln t$	(2)
$y = b_0 + \frac{b_1}{t}$	(3)
$y = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$	(4)
$y = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$	(5)
$y = b_0 t^{b_1}$	(6)
$y = b_0 + e^{b_1 t}$	(7)
$y = e^{(b_0 + b_1 t)}$	(8)
$y = b_0^{(e^{b_1 t})}$	(9)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres modelos que mejor describen el crecimiento en altura de los diferentes sustratos se representan en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Modelos matemáticos que mejor se ajustaron a la altura de las plantas en el vivero en los diferentes sustratos

Sustrato	Modelo	R ²	SE	F
S1 Turba (40%), humus de lombriz (40%) y corteza de pino compostada (20%)	S	0.92	0.11	0.006
	Crecimiento	0.95	0.09	0.003
	Exponencial	0.96	0.09	0.003
S2 Estiércol de caballo (45%), composta (40%), y humus de lombriz (15%)	S	0.91	0.12	0.007
	Crecimiento	0.95	0.09	0.003
	Exponencial	0.96	0.08	0.002
S3 Humus de lombriz (30%), composta (25%), turba (25%), y estiércol de caballo (20%)	S	0.96	0.07	0.002
	Crecimiento	0.96	0.07	0.002
	Exponencial	0.98	0.07	0.002
S4 Testigo (suelo de una plantación de la especie)	S	0.89	0.15	0.001
	Crecimiento	0.96	0.08	0.002
	Exponencial	0.97	0.08	0.001

Según Soto (1986), resulta imprescindible tener en cuenta al seleccionar un modelo, no solamente la relación que existe entre la variable analizada y el tiempo, sino que se debe realizar un análisis de los residuales, o sea, la variación de los valores prácticos con respecto a los estimados con la regresión.

Como se aprecia en la tabla anterior, no es posible basarse solamente en el coeficiente de correlación, ya que siendo así con los valores obtenidos pudo escogerse cualquiera de ellos. Sin embargo, al hacer un análisis de los residuales, o al graficar los datos, se observó que algunas de las funciones sobrestiman o subestiman los valores observados.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pudo determinar que la función matemática que mejor describe el crecimiento de la altura en el vivero de *Hibiscus elatus* para los cuatro tipos de sustratos estudiados, es la exponencial que se enuncia a continuación y a partir de la cual se obtiene el mejor ajuste y los menores errores de estimación y sobre todo, valores de los residuales más cercanos a cero.

$$y = b_0 + e^{(b_1 \cdot t)} \quad (7)$$

Pardos (1985) señala que el crecimiento de muchas plantas durante períodos cortos se ajusta a una exponencial polinomial de primer orden. Sin embargo, se ha escrito muy poco acerca de modelos de crecimiento en plantas forestales cultivadas en viveros. En el Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor de Estados Unidos, Landis *et al.* (1992) enuncian la existencia de diferentes fases de crecimiento, a las que denomina: fase de establecimiento, fase de crecimiento rápido y fase de endurecimiento. Estas tres fases del crecimiento se describen así: la fase de establecimiento

comprende desde la siembra de las semillas, sigue la germinación y emergencia para concluir cuando las plántulas jóvenes desarrollan sus hojas verdaderas (crecimiento de la plántula a través del estadio cotiledonar); la fase de crecimiento rápido, comprende el período donde las plantas jóvenes incrementan rápidamente su tamaño (con una tasa exponencial), la magnitud del incremento de esta biomasa es esencialmente en los brotes, con un diámetro en el cuello y crecimiento radical relativamente menor y la fase de endurecimiento comprende el período en el cual las plantas desvían su energía del crecimiento de los brotes al desarrollo del diámetro del tallo y el crecimiento radical y las plantas se “rustifican” para ser plantadas según objetivos culturales de la especie y los propósitos de la plantación (Landis *et al.* 1992, 1999, 2000).

Con la utilización del modelo exponencial seleccionado en este trabajo, fueron determinadas las funciones representativas de la altura en los diferentes sustratos, siendo éstas las siguientes (Cuadro 3).

CUADRO 3. Ajuste de los modelos al crecimiento en altura de las plantas.

Sustrato	Modelo
S1	Altura = 2.31 + (e ^(0.016 * edad))
S2	Altura = 2.06 + (e ^(0.017 * edad))
S3	Altura = 2.59 + (e ^(0.02 * edad))
S4	Altura = 1.39 + (e ^(0.02 * edad))

A partir de lo anterior, el comportamiento durante la fase de vivero del crecimiento en altura de la especie *Hibiscus elatus* para los cuatro tipos de sustratos estudiados se puede observar en la Figura 1.

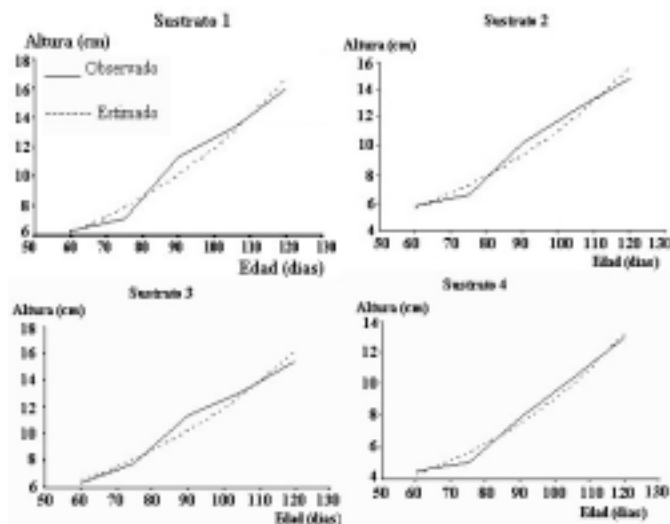


Figura 1. Comportamiento del crecimiento en altura de las plantas en función del sustrato.

El crecimiento de las plantas en los diferentes sustratos estudiados y descritos por el modelo exponencial en ninguno de los casos obedece a funciones iguales, obteniéndose para cada uno funciones muy específicas, lo que evidentemente denota las diferencias existentes en cuanto al ritmo de crecimiento en altura de la especie en los diferentes sustratos. Sin embargo, si se analizan las curvas de crecimiento resultantes de este análisis en los sustratos S1, S2 y S3; se destaca el hecho de que se distinguen claramente las tres fases de crecimiento: la primera hasta los 75 días; la segunda, desde los 75 hasta los 90 días y la tercera, desde los 90 hasta los 120 días.

Esto tiene su explicación si se analiza que estos tres sustratos fueron elaborados básicamente a partir de componentes orgánicos. Pelczar (1979) afirma que hay un primer tiempo de crecimiento lento, seguido de una etapa de crecimiento rápido, donde la velocidad de crecimiento es máxima, para finalmente ocurrir una nivelación del crecimiento.

Bajo las condiciones de cultivo señaladas en este trabajo, todo hace indicar que *Hibiscus elatus* cultivada en sustratos orgánicos se caracteriza por presentar en los primeros 75 días un crecimiento lento (fase de establecimiento). Para los pinos del sur de los Estados Unidos, Barnett y Brissette (1986) reportaron que esta fase puede durar varias semanas, dependiendo de la especie y el origen de la semilla. Mientras que a partir de los 90 días durante el cultivo *Hibiscus elatus* se produce un proceso de mineralización rápida liberándose una máxima cantidad de elementos nutrientes que se ponen a disposición de la planta y por tanto, posibilitan un crecimiento muy rápido (fase de crecimiento rápido); destacándose además el hecho de que en esta etapa las raíces de las plantas están mejor conformadas y por tanto, más preparadas para absorber con mayor rapidez los nutrientes que le aporte el

sustrato. Barnett y McGilvary (1997) reportaron para *Pinus palustris* que su fase de crecimiento rápido está determinada por el desarrollo tanto de su tallo como de sus acículas. Entre los 90 y los 120 días (fase de endurecimiento), se observa para *Hibiscus elatus* que en la medida que va pasando el tiempo el nivel de nutrientes se va agotando lo que hace que ocurra una disminución en el crecimiento de la planta en relación con la etapa anterior. Además, el sistema radical está ocupando la mayor parte del contenedor, lo que agota los nutrientes del sustrato.

En el sustrato 4 (suelo aluvial), se observa un comportamiento similar a los anteriores hasta los 75 días, y a partir de ahí se muestra más rápido pero uniforme durante todo el resto del tiempo.

Este suelo (S4), tiene un nivel de materia orgánica alto (5.21 %) y estable. Por tanto, el nivel de mineralización se mantiene constante, lo que hace que en esta condición haya una estabilización de los nutrientes, dando lugar a que el crecimiento de la planta sea uniforme en el resto del período.

Según Cairo y Fundora (1994), este comportamiento se justifica porque gracias a la capacidad de intercambio iónico del suelo, los que pueden retener, en forma intercambiable, aquellos nutrientes que como iones se han liberado por mineralización de la materia orgánica. Estos iones así retenidos en la solución interior del suelo crean una reserva de nutrientes en equilibrio con los de la solución exterior, poniéndose de manifiesto la capacidad amortiguadora (Tampón o Buffer), que hace que hasta cierto punto los nutrientes perdidos, se pongan de nuevo a disposición de las plantas.

Se observó también diferencias en cuanto a la magnitud de la altura alcanzada por las plantas en cada etapa en los diferentes sustratos, lo que está relacionado con las potencialidades desde el punto de vista nutricional de cada una de ellas.

Las plantas cultivadas en el sustrato S1 (Turba 40 %, humus de lombriz 40 % y corteza de pino compostada 20 %) fueron las que mejor comportamiento en altura manifestaron al final del cultivo y, sin embargo, en el primer tiempo de la etapa de vivero esto no resultó así, lo cual fue demostrado por Cobas *et al.* (2001). Lo que puede tener su explicación precisamente en la composición de los elementos que intervienen en la mezcla (Bustamante¹, 2002).

¹Pastor Bustamante, comunicación personal. Doctor en Ciencias Forestales. Jefe del Grupo de Productos Forestales no Madereros del Centro de Estudios Forestales de la Universidad de Pinar del Río. Martí 270, Pinar del Río, Cuba.

La corteza tiende a inhibir el crecimiento por la presencia de fenoles según Orea² (2002), pero en este caso todo parece indicar que en la medida que pasa el tiempo estos compuestos orgánicos se van liberando y por tanto, los nutrientes presentes en el sustrato se hacen más disponibles por las plantas. Otros autores, como por ejemplo Villa (2000), recomienda el uso de corteza de pino compostada como sustrato en la producción de plantas forestales en viveros.

CONCLUSIONES

-En todas las variantes de sustratos estudiados, el modelo exponencial fue el que propició un mejor ajuste a la dinámica del crecimiento en altura de las plántulas de *Hibiscus elatus*.

-Existen diferencias en cuanto al ritmo de crecimiento de la altura de las plantas en el vivero, debido a la influencia del sustrato empleado, manifestándose un mejor comportamiento en el que estuvo compuesto por turba (40 %), humus de lombriz (40 %) y corteza de pino compostada (20 %).

LITERATURA CITADA

- BARNETT, J. P.; BRISSETTE, J. C. 1986. Producing Southern Pine Seedlings in Containers. Gen. Tech. Rep. SO-59. New Orleans, LA: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 71 p.
- BARNETT, J. P.; MCGILVARY, J. M. 1997. Practical guidelines for producing longleaf pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SRS-14. Asheville. NC: USDA, Forest Service, Southern Research Station. 28 p.
- BOYER, J. N.; DUBA, S. E.; SOUTH, D. B. 1987. Emergence timing effects root-collar diameter and mortality in loblolly pine seedbeds. *New Forests* 1: 135-140.
- CAIRO, P.; FUNDORA, O. 1994. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, Cuba. 476 p.
- COBAS, M.; CASTILLO, I.; GONZÁLEZ, E. 2001. Efecto de diferentes tipos de sustratos en la morfología de plantas de *Hibiscus elatus* Sw. *Revista Tatascan*. 13(2): 63-69.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MACDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. 1992. Volume 3, Atmospheric environment. *The Container Tree Nursery Manual, Agric. Handbk. 674*. Washington, D.C: USDA, Forest Service. 145 p.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; BARNETT, J. P. 1999. Volume 6, Seedling Propagation. *The Container Tree Nursery Manual, Agric. Handbk. 674*. Washington, D.C: USDA, Forest Service. 167 p.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MACDONALD, S. E.; BARNETT, J. P.; NISLEY, R. G.; RODRÍGUEZ, D. T.; SÁNCHEZ, R. V.; ALDANA, R. B. 2000. Fertilización y riego. Volumen Cuatro. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. *Manual Agrícola 674*. Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. 126 p.
- PARDOS, J. A. 1985. Fisiología Vegetal. Editorial Fundación Conde del Valle de Salazar. E. T. S. I. M. 465 p.
- PARMAR, R. S.; MCLENDON, B. D.; MCCLENDON, R. W.; DOUGHERTY, P. M. 1992. Simulation of Southern Pine Seed Germination in a Nursery. *American Society of Agricultural Engineers*. 35(1): 2021-2026.
- PELCZAR, R. D. 1979. Microbiología. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, Cuba. 664 p.
- PEÑUELAS, J.; OCAÑA, L. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2da Edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 190 p.
- SOTO, F. 1986. Crecimiento de posturas de cafetos en viveros móviles bajo sombra controlada. Ajuste a diferentes funciones matemáticas. *Revista Cultivos Tropicales*. 8(4): 83-93.
- SOUTH, D. 1996. Modeling early seedling growth. Forest list archive: msg00044. Disponible en: <http://www.metla.fi/archive/forest/1996/11/msg00039.html> (Consulta: 21 de enero 2004).
- TORRES, W. 1984. Análisis del crecimiento de las plántulas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas, La Habana. Cuba. 32 p.
- VILLA, J. 2000. Producción de plántulas de calidad sobre corteza de pino compostada. Vivero Ciudad Guzmán. En: Memoria del I Congreso Nacional de Reforestación. 8-10 de noviembre de 2000. Montecillo. México. 60 p.

²Ubaldo Orea, comunicación personal. Doctor en Ciencias Forestales especialista en Productos Forestales no Madereros del Centro de Estudios Forestales de la Universidad de Pinar del Río. Martí 270, Pinar del Río, Cuba.