

MODELACION DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO MORFOLOGICO DE LA *Leucaena leucocephala* EN UN AGROECOSISTEMA SILVOPASTORIL.

P.P. Del Pozo¹
Lucia Fernández¹
Irma Jeréz¹
P. Padilla¹
J. Ginoria.¹

RESUMEN

En un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones se estudió la dinámica de crecimiento y desarrollo morfológico de *Leucaena leucocephala* cv. Ipil Ipil durante el establecimiento en un agroecosistema silvopastoril en el período de julio 1998- a agosto del 1999. Se midió con una frecuencia de 42 días la altura (H), rendimiento de masa seca total (RMST), de hojas (RH), tallos (RT) y la relación entre ellos, el número de hojas y ramas por planta. Todas las variables se analizaron estadísticamente y se probaron los modelos: Logístico, Gompertz, Richards, Polinomio cúbico y el Logarítmico. Para la estimación de los parámetros se utilizó el método de los mínimos cuadrados para los modelos lineales y en el caso de los no lineales el método de Marquart (1963).

Los modelos que mostraron mejor ajuste para el rendimiento de masa seca total y la altura fueron: $RMST = 211.16 / (1 + 735.09e^{-0.051t})$ $H = 210.29 / (1 + 4.778e^{-0.003t})^3$. El RH y RT variaron ($p < 0.001$) con la edad, con valores entre 1.0 a 57.6 y 0.41 a 170 gMS/planta para 42 y 336 días, respectivamente, cuya relación entre ellos fue más desfavorable a partir de los 168 días de sembrada. El número de hojas y ramas por planta variaron ($p < 0.001$) con la edad. Se discute la potencialidad de los modelos obtenidos para analizar el crecimiento y desarrollo de esta especie, así como definir el momento de iniciar su explotación durante el establecimiento bajo diseños de plantación semejantes.

Palabras claves: Modelos, análisis del crecimiento, *Leucaena leucocephala*

ABSTRACT

The dynamic of growing and morphologic development of *Leucaena leucocephala* cv. Ipil Ipil was studied in a complete blocks design with four repetitions during the establishment in an agroecosystem of trees that the eaten by animals from July 1998 to August 1999.

Height (H), total production of dry mass (RMST) leaves (RH) and branches (RT), and the relationship among them, number of leaves and branches per plant were measured in a 42 days frequency. All the variables were statistically analyzed and were tested by the logistic, Gompertz, Richards, cubic polynomy and logarithmic models.

To estimate the parameters the minimum square method was used for the lineal models, and in the case of the non-linear models Marquart (1963) method was used. The Richard model showed the best adjustment for total dry mass production and height was:

1. Profesores Universidad Agraria de la Habana, Cuba. e-mail: delpozo@isch.edu.cu

$RMST = 211.16/(1+735.09e^{-0.051t})$ $H = 210.29/(1+4.778e^{-0.003t})^3$. El RH y RT varied ($p < 0.001$) with the age, the variation was between 1.0 a 57.6 y 0.41 170 gMS/ per plant for 42 and 336 days respectibly. This relationship among them was non benefitiable starting at 168 after planting. Number of leaves and branches per plant varied ($p < 0.001$) with the age.

The potentiality of the models to analyze the growing in development in this species is under discussion as well as the definition of the moment to start harvesting ander litely plantatium desings.

Key words: models, growing analyzis, *Leucaena leucocephala*.

INTRODUCCION

El estudio del establecimiento de la *Leucaena leucocephala* como componente arbóreo asociado con gramíneas C4, en bancos de proteínas o en el área total del pastizal ha sido una temática abordada por Ruiz y Febles, 1987 y más recientemente por Ruiz et al, 1997, 1999, cuyos resultados han hecho posible que en la actualidad se cuente con conocimientos básicos en el manejo del establecimiento de esta especie bajo condiciones de trópico húmedo.

El análisis funcional del crecimiento ha demostrado ser una valiosa herramienta para caracterizar de forma continua el crecimiento de las plantas a partir de los valores instantáneos de los índices fisiológicos derivados de las expresiones que la representan (Valero et al, 1993; Soto, 1994; Poorter y Gainer, 1996), a través de los cuales se pueden visualizar y definir los mecanismos que explican la acción limitante de cualquiera de los factores que afectan el crecimiento (Del Pozo, 1998).

El objetivo del presente trabajo consistió en obtener los modelos que permitan representar y analizar funcionalmente el crecimiento y desarrollo de la *Leucaena cv. Ipil Ipil* durante su establecimiento en un agroecosistema silvopastoril a través de indicadores morfofisiológicos.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo experimental se desarrolló durante el establecimiento de 2 ha de leucaena en áreas de un módulo silvopastoril, cuyo suelo pertenece al agrupamiento Ferralítico rojo (Hernández et al, 1995), con pendientes suaves y contenidos de materia orgánica y fósforo por debajo de 2.5 y 10 ppm, respectivamente.

La siembra se realizó en franjas de doble surco con una distribución entre ellas de 8 metros. Cada franja se compone de dos hileras con una distancia de camellón de 1 m y una distribución de 10 a 12 plantas por metro lineal. Antes de la siembra se aplicó en el surco carbonato de calcio a razón de 1 t/há y las semillas se inocularon con rizobio.

Tratamiento y Diseño

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 réplicas donde los tratamientos fueron la edad, desde los 42 hasta 294 días de siembra con una frecuencia de cada 42 días. En cada edad se midió la altura el rendimiento de materia seca total (RMST), el de hojas (RH), tallos (RT) y sus relaciones, número de hojas (NH), ramas (NR). En cada réplica se cosecharon 10 plantas (5 por surco).

Análisis Estadístico

Cada variable se analizó estadísticamente y se probaron los modelos Logístico,

Gompertz, Richards, Polinomial Cúbico y Logarítmico para la descripción y análisis del comportamiento del rendimiento de masa seca total y la altura a partir de los valores promedios, cuyas expresiones y características del crecimiento se muestran a continuación:

Ecuación	Punto de inflexión	Tasa de crecimiento TCC
1. $-W = \beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_1^2 + \beta_3 \ln(t_i) + e_i$	$t_i = -\frac{\beta_2}{3\beta_3} s i \frac{\beta_2}{\beta_3} < 0$	$W' = \beta_1 + 2\beta_2 t_i + 3\beta_3 t_i^2$
2. $-W = \beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_1^2 + \beta_3 \ln(t_i) + e_i$	$t_i = \sqrt{\frac{\beta_3}{2\beta_2}} s i \frac{\beta_3}{2\beta_2} > 0$	$w' = \beta_1 + 2\beta_2 t_i + \frac{\beta_3}{t_i}$
3. $-W = \frac{A}{(1 + be^{-kt})}$	$\left(\frac{\ln b}{k}, \frac{A}{2}\right)$	$\left(1 - \frac{W}{A}\right) KW$
4. $-W = Ae^{-be^{-kt}}$	$\left(\frac{\ln b}{k}, 0.36A\right)$	$KW \ln\left(\frac{W}{A}\right)$
5. $-W = A / (1 \mp be^{-kt})^M$	$\left(\frac{1}{k} \ln \left \frac{-1}{mb} \right , \left(\frac{m-1}{m}\right)^m A\right)$	$mKW \left[\left(\frac{W}{A}\right)^{-\frac{1}{m}} - 1\right]$

1. Cúbico, 2. Cuadrático logarítmico, 3. Logístico, 4. Gompertz, 5. Richard.

W: Variable dependiente. RMST, Altura.

t: Variable independiente. Edad, días.

A, b, k y β_i parámetros a estimar en los modelos correspondientes. Para la estimación de los parámetros se utilizó el método de los mínimos cuadrados para los modelos lineales y en el caso de los no lineales el método de Marquart, 1963. La discriminación entre modelos se realizó sobre la base de criterios estadísticos y fisiológicos, empleándose el análisis de los residuos como criterio de exactitud. A partir de las expresiones que describieron el comportamiento de las variables estudiadas se estimó la Tasa de crecimiento (TCC).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestran los resultados del ajuste de los modelos probados en las variables rendimiento de masa seca total y la altura. En todos los casos las expresiones

mostraron ajustes significativos ($p < 0.001$), con coeficientes de determinación (R^2) elevados con excepción de los modelos de Gompertz y Polinomial cúbico, respectivamente. Las expresiones Logística y Richards presentaron los valores más elevados de R^2 y los más bajos en el error estándar de estimación.

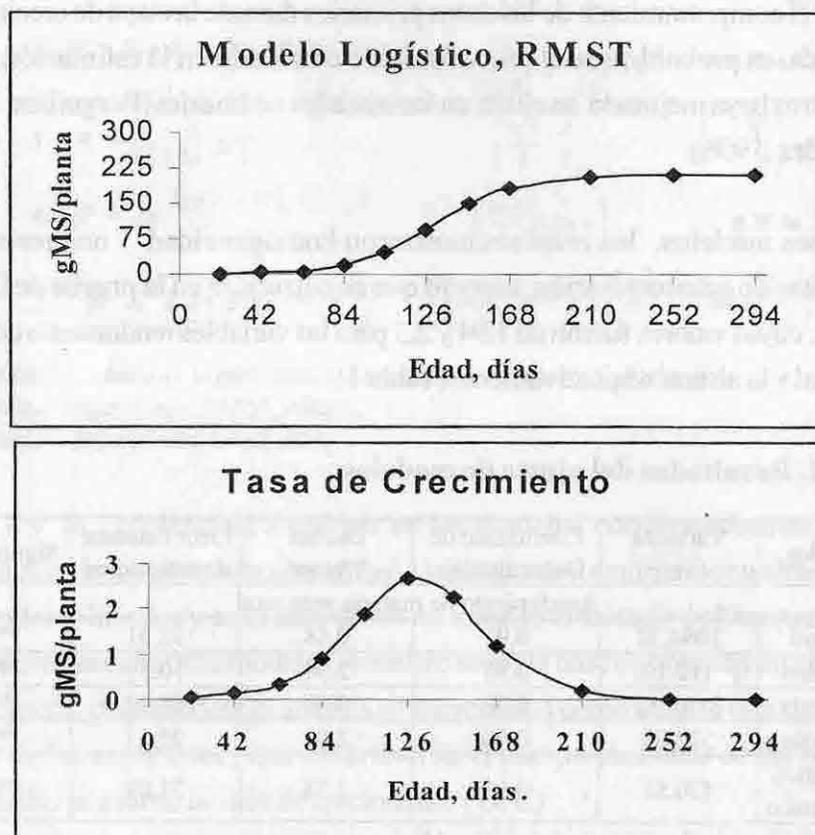
Independientemente del grado de analogía que existe entre los modelos de mejor ajuste y el comportamiento de los datos primarios durante la etapa de crecimiento estudiada, es probable que el procedimiento empleado en la estimación de los parámetros haya mejorado su ajuste en los modelos no lineales (Burguillos, 1993 y Fernández, 1996).

En ambos modelos, los residuos mostraron homogeneidad y no presentaron problemas de autocorrelación, aspecto que se corroboró en la prueba de Durbin Watson, cuyos valores fueron de 1.94 y 2.3 para las variables rendimiento de masa seca total y la altura, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del ajuste de modelos.

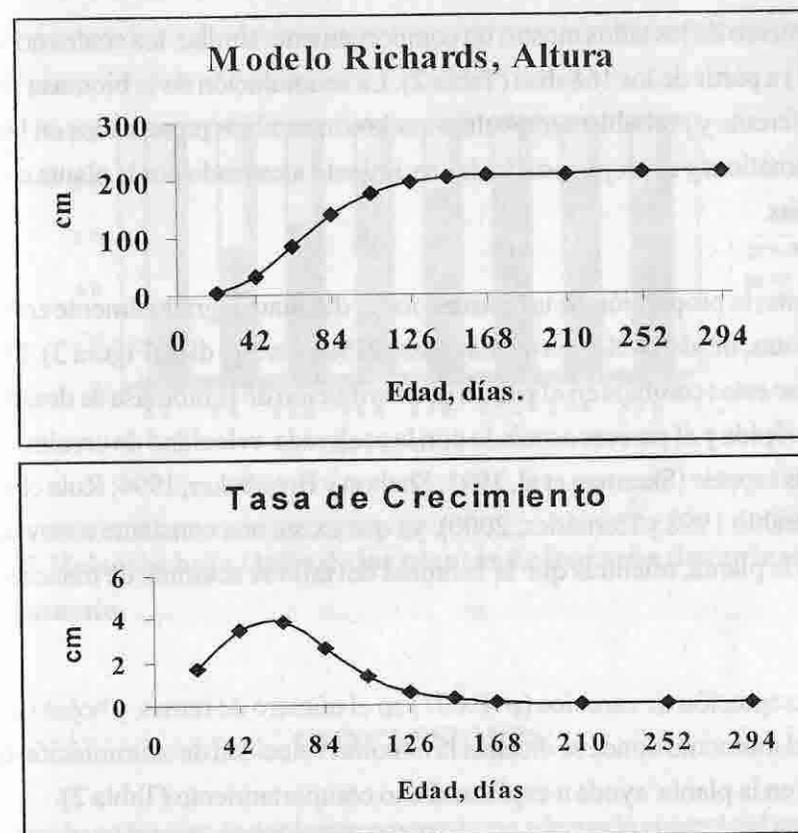
Modelos	Varianza Error	Coficiente de Determinación	Durbin Watson	Error Estandar de estimación	Significac.
Rendimiento de materia seca total					
Richard	1044.32	0.91	0.48	32.31	***
Logístico	112.10	0.98	2.30	10.59	***
Gompertz	3135.52	0.70	0.50	55.99	**
Cúbico	512.03	0.96	2.01	22.63	***
Cuadrático Logarítmico	470.51	0.96	1.78	21.69	***
Altura					
Richard	6.77	0.99	1.94	2.60	***
Logístico	18.35	0.99	1.37	4.28	***
Gompertz	156.81	0.98	1.75	12.52	***
Cúbico	3460.48	0.53	0.32	52.82	**
Cuadrático Logarítmico	254.17	0.97	1.48	15.94	***

En las Figuras 1 y 2 se representan los cambios del rendimiento de la masa seca total y la altura de la leucaena en el agroecosistema expresado a través de los modelos de mejor ajuste. La acumulación de la biomasa (TCC) fue lenta durante los primeros 60 a 70 días, momento a partir del cual aumentaron, con registros de hasta 2.69 g MS/planta a los 129 días (Figura 1). En la altura, la máxima velocidad de crecimiento (punto de inflexión) se alcanzó a los 56 días con 3.94 cm/día.



$W = 211.16 / (1 + 375.09e^{-0.051 \text{ edad}})$, $R^2 = 0.98$ Punto de Inflexión: $t = 129.4$, $RMST = 104.5$ gMS/planta, $TCC = 2.69$ g/planta y Asintota: 211.16

Figura 1. Comportamiento del rendimiento de masa seca total (RMST) y velocidad de crecimiento (TCC) según el modelo ajustado.



$W = 210.29 / (1 + 4.77e^{-0.043 \text{ edad}})^{3.301}$, $R^2 = 0.99$, Punto de Inflexión: $T = 56$ días, $\text{Altura} = 64.21$ cm, $TCC = 3.94$ cm/día y Asintota: 210.29 cm.

Figura 2. Variación de la altura y la velocidad de crecimiento (TCC) en cm/día de la planta de Leucaena en el agroecosistema según el modelo ajustado.

A partir de los 180 días ambas variables comienza a estabilizarse y mostrar un comportamiento asintótico con valores promedios de 211.16 gMS y 210.29 cm por planta. Esto nos indica que el diseño de plantación empleado permitió un control del crecimiento en las plantas de leucaena durante el establecimiento, lo cual facilita el manejo del área con cultivos asociados (Ruiz et al., 1996; Ruiz y Febles, 1998) previo al inicio de su explotación.

El rendimiento de los tallos mostró un comportamiento similar, los cuales no variaron ($p < 0.001$) a partir de los 168 días (Tabla 2). La acumulación de la biomasa siguió un patrón diferente y probablemente relacionado con cambios presentados en las condiciones climáticas y al propio estado de crecimiento alcanzado por la planta a partir de los 210 días.

No obstante, la proporción de la biomasa foliar disminuyó gradualmente con la edad de las plantas, desde 78 % a los 42 días hasta 21% a los 294 días (Figura 3). Debemos señalar que estos cambios en el patrón de distribución de la biomasa se desarrollaron de forma rápida y al parecer asociado con la acelerada velocidad de crecimiento que presenta la especie (Skerman et al, 1991; Shelton y Brewbaker, 1994; Ruiz et al, 1995; Pezo e Ibrahim 1998 y Hernández, 2000), ya que existe una constante renovación del follaje en la planta, mientras que la biomasa del tallo se acumula de manera permanente.

La no presentación de cambios ($p < 0.001$) en el número de ramas y hojas por planta a partir del momento donde se alcanza la máxima velocidad de acumulación de masa seca total en la planta ayuda a explicar dicho comportamiento (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de algunos indicadores morfoagronómicos del crecimiento de plantas de leucaena en el agroecosistema.

Edad (días)	Rendimiento, g MS/planta		Número de:	
	Hojas	Tallos	Ramas/Planta	Hojas/Planta
42	1.00 ^a	0.41 ^a	1.00 ^a	10.02 ^a
84	15.75 ^b	18.10 ^a	5.82 ^a	35.07 ^a
126	30.66 ^c	51.03 ^b	15.53 ^b	103.60 ^b
168	31.57 ^c	162.33 ^c	21.16 ^b	130.42 ^b
210	55.81 ^d	166.48 ^c	16.56 ^b	126.53 ^b
252	38.04 ^c	160.80 ^c	22.73 ^b	139.88 ^b
294	31.91 ^c	178.68 ^c	22.98 ^b	130.98 ^b
336	57.62 ^d	170.72 ^c	21.22 ^b	137.96 ^b
ES±	4.85***	9.60***	2.42***	13.98***

a,b,c,d. Valores con letras no comunes en columnas por tratamiento difieren a $p < 0.05$, Duncan (1990)

*** $p < 0.001$.

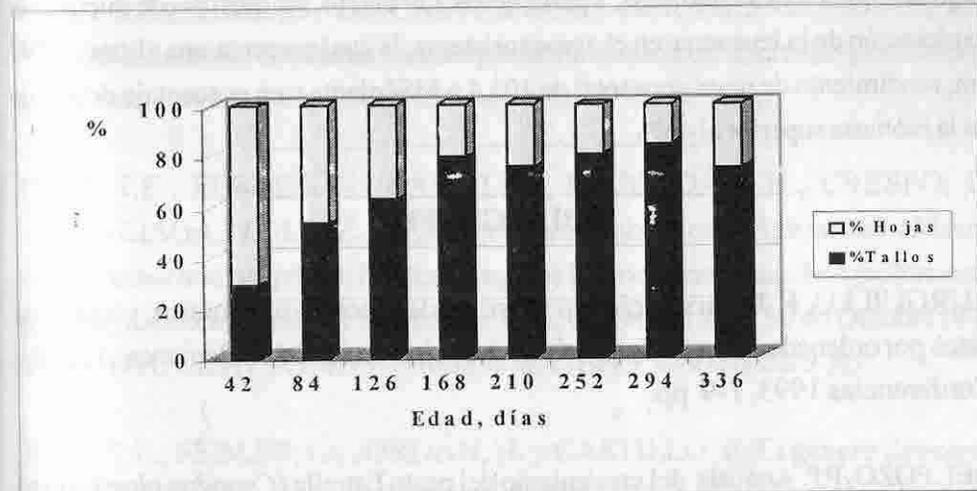


Figura 3. Relación hoja / tallo de las plantas de leucaena durante el periodo de crecimiento.

CONCLUSIONES

La plantación en franjas de doble surco permite un adecuado control del crecimiento de leucaena durante el establecimiento y facilita el manejo del área con cultivos asociados.

Los modelos Richards y Logístico mostraron potencialidades para caracterizar y analizar funcionalmente el crecimiento en altura y rendimiento de masa seca total por planta de la leucaena.

La máxima velocidad de crecimiento en leucaena se alcanza al segundo mes de establecida (3.94 cm/día) y la acumulación mayor de biomasa se logra a los cuatro meses de edad de las plantas (2.96 gMS/planta).

Bajo las condiciones estudiadas, a partir de los 129 días (4.3 meses) puede iniciarse la explotación de la leucaena en el agroecosistema, la cual presenta una altura de 197 cm, rendimiento de masa seca total de 103.4 g MS/planta y un porcentaje de follaje en la biomasa superior al 40%.

BIBLIOGRAFIA

BURGUILLO, F. J. Curso práctico sobre modelización matemática y ajuste de datos por ordenadores en la ciencia de la vida. Universidad de Salamanca., España, Conferencias 1993. 1-9 pp.

DEL POZO, P.P. Análisis del crecimiento del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) bajo condiciones de corte y pastoreo. (Tesis de Doctorado). La Habana: ICA, UNAH, 1998.

FERNANDEZ, L. Modelos que describen la dinámica de los procesos biológicos en las Ciencias Agropecuarias. (Tesis de maestría en Ciencias Matemáticas aplicadas). La Habana, UNAH, 1996. 68p.

PEZO, D. e IBRAHIM, M.. Sistemas silvopastoriles. Modulo de enseñanza agroforestal No2. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ, 1999. 275 p.

POORTER, H. y GAINER, E. Plant growth analysis and evaluation of experimental design and computational methods. Journal of experimental Botany, 1996. 47 p.

RUIZ, T.E. y FEBLES, G.. Agronomía y manejo de la *Leucaena leucocephala*. En: Curso Internacional "Los sistemas silvopastoriles en la ganadería tropical". Matanzas, Cuba, EEPF "Indio Hatuey", 1998. 24 p.

RUIZ, T.E. y FEBLES, G. Leucaena, una opción para la alimentación bovina en el trópico y subtrópico. Cuba, EDICA. 1987.

RUIZ, T.E., FEBLES, G., CASTILLO, E., BERNAL, G. y DÍAZ, L.E. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* intercalada en diferentes pastizales de gramíneas. Revista Cubana Ciencia Agrícola. 1997. 31:91 pp.

RUIZ, T.E., FEBLES, G., CASTILLO, E., JORDÁN, H., CRESPO, G., VALENCIAGA, N. y DÍAZ, H. La Experiencia Cubana en la Agronomía y Manejo de *Leucaena leucocephala*. Primer Congreso Latino Americano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible. Cali, Colombia 28 al 30 de Octubre 1999. CDROOM, CIPAV\Agro99\T-Ruiz.htm. ISBN 958-9386-22-9 pp.

RUIZ, T.E., FEBLES, G., JORDÁN, H. y CASTILLO, E. El género *Leucaena* como una opción para el mejoramiento de la ganadería en el trópico y subtrópico. En: Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical. (Ed. T. Clavero). Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes. Maracaibo, Venezuela. La Universidad del Zulia. 1996. 11-16 pp.

SHELTON, H.M. y BREWBAKER, J.L. *Leucaena leucocephala* - the most widely used forage tree legumes. In: Forage tree legumes in tropical agriculture. (Eds. R.C. Gutteridge and H.M. Shelton). CAB International. Wallingford, UK. 1994. 15-29 pp.

SKERMAN, P.J., CAMERON, D.G. y RIVEROS, F. Leguminosas forrajeras tropicales. FAO. Roma, Italia. 1991. 602-612 pp.

VALERO, J.J.A., MARTÍN, F.O.M. y FABEIRO, C.C. - Estudio comparativo de dos métodos de análisis de crecimiento clásico y funcional en un cultivo de soja sometido a riegos diferenciados. ITEA. 1993. 89(3): 166 pp.