

MODELADO DEL CRECIMIENTO DEL PASTO ESTRELLA (*CYNODON NLEMFUENSIS*). 1. MODELO MULTIPLICATIVO CON CONTROL DE LA CURVA DE CRECIMIENTO Y LOS EFECTOS AMBIENTALES

P.P. Del Pozo¹ y R.S. Herrera²

¹ Facultad de Medicina Veterinaria, ISCAH

² Instituto de Ciencia Animal
La Habana, Cuba

Con el propósito de representar la dinámica de crecimiento del pasto estrella, se presenta el modelo multiplicativo con control de la curva de crecimiento y los efectos ambientales, cuya forma general de expresión es la siguiente: $P_{ijk} = A \exp (bt_i + ct_i^2 + dt_i^3) (Y_j) (Z_k) E_{ijk}$, donde: P_{ijk} representa el rendimiento de materia seca en la i -ésima edad, el j -ésimo nivel de radiación y el k -ésimo nivel de precipitación más riego; A , b , c y d son parámetros de la función Y_j y Z_k las funciones definidas que representan los efectos ambientales controlados en el modelo. La información básica para la confección del modelo se tomó de un experimento de corte, cuyo diseño y tratamiento experimental fueron: parcelas divididas con tres replicaciones, la parcela principal el nivel de nitrógeno (0, 200 y 400 kg de N/ha/año) y las sub-parcelas las edades (desde 1 hasta 12 semanas), bajo condiciones de riego. Para la estimación de los parámetros de las funciones de los modelos propuestos, se transformaron los datos mediante la función logarítmica empleando el método de los mínimos cuadrados. Los coeficientes de determinación de los modelos variaron entre el 65 y 83% y la época de seca rósenslo los mejores ajustes. 1:1 punto de inflexión n los modelos varió entre 3,8 y 5,34 semanas de rebrote, con tendencia a aumentar en la medida que el nivel de nitrógeno y los elementos del clima fueron más favorables para el crecimiento. Se discute la potencialidad del modelo para describir la dinámica de crecimiento de esta especie.

Palabras claves: *Modelo multiplicativo, crecimiento, efectos ambientales, pasto estrella*

With purpose to show the growth dynamic of star grass (*Cynodon nlemfuensis*) is represented the multiplicative model with control of the growth curve and the environment effects which general form of expression is the following: $P_{ijk} = A \exp (bt_i + ct_i^2 + dt_i^3) (Y_j) (Z_k) E_{ijk}$ P_{ijk} represent the yield of dry matter in the i -ésima age, j -ésimo radiation level and the k -ésimo precipitation level with irrigation; A , b , c and d are parameters of the Y_j function and Z_k are the defined functions that represent the controlated environment effects in the model. The basic information for model confection was taken from a cutting experiment which design and experimental treatment were: plots divided with three replications. the principal plot, nitrogen level (0, 200 and 400 kg N/ha/year) and the sub-plots ages (from 1 to 12 weeks) under irrigated conditions For estimation of the function parameters of the selected models the dates were transformed through a logarithmic function using the method of the square minimums. The determination coefficients of the model s changed between 65 and 83% and the dry season showed the best adjustments. The inflection point in the models varied between 3,8 and 5,34 regrowth weeks with tendency to increase when the nitrogen level and the climax elements were more favourable for growth. It is discuss the model potentiality to describe the growth dynamic of this specie.

Additional index words: *Multiplicativo model, growth, environment effects, star grass*

La modelación matemática por medios computarizados para la simulación de procesos o sistemas biológicos en la rama agropecuaria, es una técnica de reciente aplicación (Hart, 1988), la cual en los últimos años ha ocupado un lugar cimero en el campo de la investigación científica y constituye una valiosa herramienta en la experimentación tradicional, así como en el análisis a la solución de los problemas que se presentan en la investigación de los sistemas agropecuarios.

La representación matemática del crecimiento de los vegetales, y específicamente de los pastos, ha sido una temática objeto de estudio por múltiples instituciones científicas en el mundo, donde las bases de los modelos varían en dependencia del propósito y las condiciones para las cuales fueron confeccionados (Linda y Kicker, 1987). Sin embargo, en su conjunto persiguen como objetivo la representación matemática del crecimiento de los pastos, así como el estudio de los diversos factores que influyen en este proceso.

Los antecedentes en el estudio del modelado del crecimiento de los pastos en Cuba son pocos (Menchaca, 1989), por lo que en el presente trabajo se propone desarrollar un modelo multiplicativo con control de la curva de crecimiento y los efectos ambientales, que represente la dinámica de la biomasa en el pasto estrella (*C. nlemfuensis*).

MATERIALES Y METODOS

La información básica para la confección del modelo crecimiento-ambiente para los niveles de 200 y 400 kg de N/ha/año fue tomada de un experimento desarrollado en el Instituto de Ciencia Animal, cuyo diseño y tratamiento experimental fue el de parcelas divididas con tres replicaciones, donde el nivel de nitrógeno constituyó la parcela principal (0, 200 y 400 kg de N/ha/año) y las subparcelas las edades desde 1 hasta 12 semanas.

El suelo donde se desarrolló el trabajo era Ferralítico Rojo sobre calizas profundas, bastante uniforme en todo su perfil, cuyas propiedades químicas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Algunas propiedades químicas del suelo en el área experimental.

Indicador	Contenido	ES±
pH	7,25	0,13
Materia orgánica (%)	3,69	0,01
Nitrógeno (%)	0,22	0,03
Fósforo (ppm)	28,57	2,06
Potasio (%)	0,02	0,03
Calcio (%)	0,26	0,01
Magnesio (%)	0,03	0,03

Las condiciones ambientales que caracterizaron cada uno de los ciclos de crecimiento estudiados se muestran en la tabla 2, cuyos valores se encontraban entre los promedios históricos de dicha región.

Durante el período experimental correspondiente a la seca, se aplicó una lámina de agua de 50 mm (500 m/ha) con una frecuencia de 21 ± 3 días a través de riego por aspersión.

Análisis matemático. Procedimiento

Tomando en consideración que el ritmo de crecimiento del pasto estrella es variable según las condiciones ambientales, independientemente del nivel de nitrógeno empleado en la fertilización (Ramos, Herrera, Padilla, Barrientes y Aguilera, 1987), pero sus efectos son perpendiculares a la curva de crecimiento (Menchaca, 1991) y que las magnitudes en los cambios que ocurren en el rendimiento de materia seca dependen de las dimensiones de los efectos, se definió un modelo multiplicativo

Tabla 2. Caracterización de algunas variables ambientales para cada ciclo de crecimiento estudiado en el período experimental.

Epoca del año	Cielo	Precipitación (mm)	Precipitación + riego (mm)	Radiación (MJ/m ²)	Temperatura °C		
					Máxima	Mínima	Media
Seca	I	23,2	237,2	12,80	25,8	14,3	19,6
	II	316,9	566,9	19,71	30,0	18,4	24,3
	III	886,8	886,8	22,81	31,3	21,3	26,4
Lluvia							
	IV	428,8	428,8	17,30	30,5	20,7	25,7

que controlara, además de la curva de crecimiento, los efectos ambientales (radiación y precipitación + riego), cuya forma general es la siguiente:

$$P_{ijk} = A \exp(bt_i^1 + ct_i^2 + dt_i^3) (Y_j)(Z_k) \quad (1)$$

donde:

P_{ijk} = Rendimiento de materia seca en la i-ésima edad, el j-ésimo nivel de radiación y el k-ésimo nivel de precipitación más riego.

En escala logarítmica el modelo (1) se convierte en:

$$P_{ijk} = a + bt_{ijk} + ct_{ijk}^2 + dt_{ijk}^3 + Y_j + Z_k + E_{ijk} \quad (2)$$

donde:

$$P_{ijk} = \log(P_{ijk})$$

$$a = \log(A)$$

t = edad de rebrote

a, c, d = parámetros de la curva de crecimiento

Y_j = efecto del j-ésimo nivel de radiación

Z_k = efecto del k-ésimo nivel de precipitación más riego

E_{ijk} = error aleatorio, normal e independientemente distribuido con media cero o varianza σ^2

Se imponen las siguientes restricciones adicionales:

$$\sum \hat{Y}_j = \sum \check{Z}_k = 0$$

En escala original estas restricciones implican:

$$\pi \hat{Y}_j = \pi \check{Z}_k = 1$$

Para el análisis de los efectos ambientales (radiación y precipitación + riego), se tomó como base las edades de 3 a 6 semanas, en las cuales dichos efectos no pudieran enmascarse por otros factores. Además, en ese intervalo se manifiesta el máximo ritmo de crecimiento en esta especie y es más sensible a los cambios de las condiciones del clima.

La estimación de los parámetros del modelo (2) en cada nivel de nitrógeno estudiado (200 y 400 kg de N/ha/año), se efectuó a través del método de los mínimos cuadrados.

Se realizaron diferentes simulaciones para condiciones climáticas contrastantes (radiación y precipitación + riego), con el propósito de evaluar la capacidad de estimación de los modelos en el intervalo de edad estudiado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se muestran los modelos obtenidos que describen la dinámica de crecimiento del pasto estrella, los cuales tienen como efectos la curva de crecimiento, la radiación y el nivel de precipitación más riego para cada una de las dosis de nitrógeno y épocas del año, cuyos coeficientes de determinación variaron entre 0,65 y 0,83, presentaron los mejores ajustes los que describen este comportamiento en la época de seca para 200 y 400 kg de N/ha/año.

Tabla 3. Modelos matemáticos multiplicativos con control de la curva de crecimiento y los efectos ambientales.

Nivel de nitrógeno	Epoca del año	Funciones
200	Seca	$Y = \frac{1}{(8.317)^{10}} \text{EXP} (13.6196x - 2.8732 x^2 + 0.2008x^3) (-0.1888 + 0.0808 \text{ Rad})$ (0.08260 + 0.00053 agua) $R^2 = 0.80^{***}$ $ES \pm (Y) = 0.084$
	Lluvia	$Y = 0.5973 \text{EXP} (-0.2646x + 0.1727x^2 - 0.015x^3) (-0.1888 + 0.0308 \text{ Rad})$ (0.08280 + 0.00053 agua) $R^2 = 0.705^{***}$ $ES \pm (Y) = 0.105$
400	Seca	$Y = 0.0013 \text{EXP} (4.0466x - 0.7258x^2 + 0.0448x^3) (-0.5068 + 0.1010 \text{ Rad})$ (-0.6881 + 0.00087 agua) $R^2 = 0.83^{***}$ $ES \pm (Y) = 0.098$
	Lluvia	$Y = 0.1365 \text{EXP} (0.8766x - 0.0421x^2 - 0.0042x^3) (-0.5068 + 0.1010 \text{ Rad})$ (-0.6881 + 0.00087 agua) $R^2 = 0.65^{***}$ $ES \pm (Y) 0.134$

*** P<0,001

Y= Rendimiento de MS (t/ha)

x= Edad de rebrote (semanas)

Las diferencias en el coeficiente de determinación, así como en los parámetros de las funciones de los modelos, pueden estar dadas por la acción que ejercen los efectos controlados en el modelo o quizás por la no inclusión de otros factores, que pudieran, junto a estos, determinar en las diferencias presentadas en los ajustes.

Estos resultados coinciden con los hallados por Ramos, Herrera y Curbelo (1982) en esta especie y por Herrera y Hernández (1986) en bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* Coast-cross-1), quienes encontraron que los modelos de mejor ajuste para todos los ciclos de crecimiento eran similares, pero variaron en su magnitud y sus parámetros, debido a la variabilidad de los elementos climáticos que caracterizó cada ciclo de crecimiento.

Las ecuaciones que caracterizaron las relaciones funcionales entre el rendimiento de materia seca por edad y las variables ambientales controladas mostraron relaciones lineales, lo cual evidencia que para las condiciones en que se realizó el experimento, no se presentaron limitaciones en el ambiente

para la producción de biomasa. No obstante, podría esperarse desde el punto de vista biológico que para que ocurran incrementos en la magnitud de ambas variables climáticas fuera de los rangos estudiados, las funciones de mejor ajuste sean otras, como las funciones exponenciales empleadas por Johnson, Parson y Ludlow (1989) para describir dichos efectos en estudios ecofisiológicos realizados en pastos tropicales.

La superioridad en el ajuste encontrado para ambas relaciones funcionales en el nivel de 400 kg de N/ha/año. está dada por la relación que se establece entre el nivel de nitrógeno en las plantas y la respuesta de estas a la radiación y al uso eficiente del agua.

Se ha informado por Hirose y Werger (1987), Ludlow y Mooth (1988) y Cruz y Moreno (1992) que la capacidad fotosintética de las hojas en los pastos y la eficiencia de utilización de la energía, se incrementan con el nivel de radiación solar a tasas diferentes, según la concentración de nitrógeno en los tejidos fotosintéticos y en relación con el nivel de agua (precipitación + riego). Crespo (1974),

Suárez y Herrera (1985) y Herrera y Hernández (1985) señalaron que cuando los niveles de nitrógeno en la fertilización se incrementan, aumenta la capacidad de absorción de agua de los pastos, sobre todo en el período de activo crecimiento, con el propósito de mantener la presión osmótica de las células enriquecidas de nitrógeno.

En las tablas 4 y 5 se muestra el rendimiento de materia seca real por edad bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento y el estimado para cuatro situaciones climáticas diferentes que pudieran presentarse durante los ciclos estudiados (niveles máximos y mínimos). Se observa que los cambios en los rendimientos en cada una

de las edades estudiadas fueron proporcionales a la dimensión con que las variables climáticas variaron, lo cual corrobora las suposiciones iniciales tomadas en consideración en el modelo general propuesto.

En la tabla 6 se presenta el comportamiento del punto de inflexión bajo las diferentes simulaciones con los elementos climáticos anteriormente señalados; se evidenció una tendencia a aumentar la edad en que se produce la máxima velocidad de crecimiento, en la medida que el nivel de nitrógeno en la fertilización y los elementos del clima fueron más favorables para el crecimiento de los pastos.

Tabla 4. Rendimiento de materia seca estimado a partir de los modelos de crecimiento-ambiente obtenidos para el nivel de 200 kg de N/ha/año.

Epoca del año	Edad	Rendimiento real (t MS/ha)	Rendimiento estimado (t MS/ha)			
			Radiación mínima	Radiación mínima	Radiación máxima	Radiación máxima
			Agua máxima	Agua mínima	Agua máxima	Agua mínima
Seca	3	0,576	0,478	0,442	0,723	0,668
	4	1,518	1,221	1,129	1,845	1,706
	5	1,461	1,233	1,140	1,863	1,722
	6	2,016	1,643	1,519	2,483	2,295
Lluvia	3	1,213	1,202	0,938	1,463	1,140
	4	1,680	1,720	1,342	2,093	1,632
	5	2,235	2,378	1,855	2,895	2,256
	6	2,806	2,889	2,254	3,516	2,741

En relación con este comportamiento no existen antecedentes en la literatura nacional, lo cual hace difícil su explicación. No obstante, es importante señalar que el pasto estrella es una planta fotoperiódica de días cortos que manifiesta su floración desde los momentos iniciales del período seco, lo cual implica cambios anatómicos y fisiológicos que repercuten en comportamientos particulares en su dinámica de crecimiento, esta puede ser una de las razones que explican el por qué el

punto de inflexión se presenta a edades más tempranas, cuando las condiciones climáticas simuladas son similares a las del período seco.

A pesar de que en la literatura no existen antecedentes de aplicación de estos modelos para la representación de la dinámica de crecimiento de los pastos, los resultados de las simulaciones efectuadas corroboran la potencialidad de los modelos obtenidos en el intervalo de edad estudiado.

Tabla 5. Rendimiento de materia seca estimado a partir de los modelos de crecimiento-ambiente obtenidos para el nivel de 400 kg de N/ha/año.

Epoca del año	Edad	Rendimiento real (t MS/ha)	Rendimiento estimado (t MS/ha)			
			Radiación mínima	Radiación mínima	Radiación máxima	Radiación máxima
			Agua máxima	Agua mínima	Agua máxima	Agua mínima
Seca	3	0.801	0.844	0.734	1.423	1.236
	4	1.867	1.574	1.369	2.653	2.305
	5	2.228	2.014	1.751	3.393	2.949
	6	2.739	2.313	2.011	3.896	3.386
Lluvia	3	1.753	1.820	1.207	2.300	1.518
	4	2.572	2.791	1.843	3.526	2.377
	5	3.186	3.558	2.349	4.495	2.967
	6	3.458	3.678	2.428	4.646	3.067

Tabla 6. Edades (semanas) en que se presenta el punto de inflexión en las diferentes condiciones ambientales simuladas.

Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)	Epoca del año	Radiación mínima	Radiación mínima	Radiación máxima	Radiación máxima
		Agua máxima	Agua mínima	Agua máxima	Agua mínima
200	Seca	4.21	4.03	4.43	4.65
	Lluvia	4.25	4.73	5.34	4.95
400	Seca	3.83	3.98	3.90	3.96
	Lluvia	4.97	4.83	4.88	4.32

El empleo de estos modelos permite profundizar en el estudio de diversas características del crecimiento del pasto estrella en relación con las condiciones climáticas. No obstante, se sugiere la inclusión de otros elementos del clima y el manejo, con el propósito de aumentar la potencialidad de estos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda prestada por el Departamento de Biometría del Instituto de

Ciencia Animal en el procesamiento de la información.

REFERENCIAS

- CRESPO, G. 1974. Respuesta de seis especies de pastos a niveles crecientes de fertilización nitrogenada. *Rev. cubana Cienc. agric.* 8:181
- CRUZ, P. & MORENO, J.L. 1992. Crecimiento potencial comparado de una gramínea natural (*Dichanthium aristatum*) y una

- cultivada (*Digitaria decumbens*) sometida a variaciones de fotoperíodo. **Rev. cubana Cienc. agric.** 26:323
- HART, R.D. 1988. Papel de los modelos en la agricultura, investigación y desarrollo agrícola. Informe. VIII Reunión General IICA-RISPAL-INIAA. Programa II. Generación y transferencias de tecnologías. p. 311
- HERRERA, R.S. & HERNANDEZ, YOLANDA. 1985. Efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross-1. I. Rendimiento de materia seca, proteína bruta y porcentaje de hojas. **Pastos y Forrajes.** 8:227
- HIROSE, T. & WERGER, M.J.A. 1987. Nitrogen use efficiency in instantaneous and daily photosynthesis of leaves in the canopy of a *Solidago altissima* stand. **Physiologia Plantarum.** 70:215
- JOHNSON, J.R.; PARSON, A.J. & LUDLOW. 1989. Modelling photosynthesis in monocultures and mixtures. **Aust. J. Plant Physiol** 16:501
- LINDA, JOYCE & KICKERT, R.N. 1987. Applied plant growth models for grazing lands, forests and crops. In: Plant modeling for resource management. Boca Ratón, USA. p. 17
- LUDLOW, M.M. & MOOTH, J.J. 1988. Photosynthetic capacities of lamina and sheath. CSIRO. División of Tropical Crops and Pastures. **Annual Report** p. 42
- MENCHACA, I.E. 1989. Curvas de crecimiento para los pastos Estrella y Bermuda cruzada-1. Trabajo de Diploma. Universidad de La Habana, Cuba. 60 p.
- MENCHACA, M.A. 1991. Modelado del crecimiento en peso de bovinos. II. Modelo multiplicativo con control de curva de crecimiento y otros efectos. **Rev. cubana Cienc. agric.** 25:231
- RAMOS, N., HERRERA, R.S. & CURBELO, F. 1982. Edad de rebrote y niveles de nitrógeno en pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*). 1. Componentes del rendimiento y eficiencia de utilización del nitrógeno. **Rev. cubana Cienc. agric.** 16:305
- RAMOS, N.; HERRERA, R.S.; PADILLA, C.; BARRIENTOS, A. & AGUILERA, J.M. 1987. El pasto Estrella mejorado (*Cynodon nlemfuensis*), su establecimiento y utilización en Cuba. EDICA. La Habana, Cuba. 153p.
- SUÁREZ, J.J. & HERRERA, R.S. 1985. Régimen de riego en diferentes especies de pastos y forrajes en un suelo Ferralítico Rojo. Informe Técnico Tema 02-11-10. ICA, La Habana, Cuba. (Mimeo)

Recibido el 3 de mayo de 1994