

### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

**Título:** Metodología de Superficie de Respuesta para encontrar valores óptimos en la producción de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*)

**Temática a la que tributa el trabajo:** I La educación ambiental orientada al desarrollo sostenible

**Autor (es):** M. Sc. Liansy Fernández Domínguez; Dr. C. Pedro Pablo del Pozo Rodríguez; Dr. C. Lucía Fernández Chuairey

**Dirección de correo electrónico:** [liansy@unah.edu.cu](mailto:liansy@unah.edu.cu)

**Entidad laboral de procedencia:** Universidad Agraria de La Habana.

#### Resumen

La ganadería es una actividad económica considerada fuente de progreso importante para el desarrollo económico por ser este un sector dinámico y en fuerte crecimiento. En Cuba esta actividad cobra gran importancia en la actualidad, haciendo énfasis en la utilización de los pastos y forrajes en la alimentación del ganado vacuno. Con el propósito de modelar los cambios de productividad del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y edad de rebrote en condiciones de corte en ambas estaciones del año se realizó el presente trabajo. Los datos se obtuvieron a partir de experimentos desarrollados en parcelas experimentales del Instituto de Ciencia Animal, manejadas con fertilización basal de 0, 200 y 400 kg/há/año, respectivamente. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres réplicas donde la parcela principal fue el nivel de nitrógeno y las subparcelas las edades de rebrote desde una hasta doce semanas. Los datos se procesaron estadísticamente y se efectuaron ajuste de datos a modelos de regresión lineal múltiple, bondad de ajuste, gráficos de superficies de respuesta, búsqueda de óptimo. El modelo de segundo orden resultó de buen ajuste con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superior al 90% para todas las variables, cuyas expresiones permitieron analizar integralmente los factores de manejo en el comportamiento productivo del pasto estrella, bajo condiciones de explotación, lo cual facilita la toma de decisiones para su manejo. Se comprobó que estos procedimientos asociados a la metodología de superficie de respuesta constituyen una herramienta eficiente para el análisis del crecimiento de los pastos.

**Palabras clave:** metodología de superficies de respuesta, diseños de experimentos, optimización, pasto estrella.

#### Abstract

Livestock is an economic activity considered a source of important progress for economic development as this is a dynamic sector with strong growth. In Cuba this activity is of great importance today, emphasizing the use of pastures and forages in feeding cattle. In order to model the productivity changes of the star grass (*Cynodon nlemfuensis*) under different levels of nitrogen fertilization and regrowth age under cutting conditions in both seasons of the year, the present work was carried out. The



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

data were obtained from experiments developed in experimental plots of the Institute of Animal Science, managed with basal fertilization of 0, 200 and 400 kg / ha / year, respectively. A divided plot design was used with three replications where the main plot was the nitrogen level and the subplots the regrowth ages from one to twelve weeks. The data were statistically processed and data fit to multiple linear regression models, goodness of fit, response surface graphs, search for optimum was performed. The second-order model was a good fit with determination coefficients (R<sup>2</sup>) higher than 90% for all variables, whose expressions allowed the management factors in the productive behavior of star grass to be fully analyzed under operating conditions, which facilitates decision-making for its management. It was verified that these procedures associated with the response surface methodology constitute an efficient tool for the analysis of pasture growth.

**Key words:** response surface methodology, experiment designs, optimization, star grass.

#### Introducción

En el campo de las Ciencias Agropecuarias es frecuente la realización de experimentos que garanticen respuestas apropiadas a diferentes problemas o procesos en estudio, donde se requiere de técnicas adecuadas y eficientes en los procesos de investigación.

En Cuba, durante los años 70 y hasta la actualidad se han realizado numerosas investigaciones que permitieron crear una base científica metodológica para el estudio de la dinámica de crecimiento y la calidad de los pastizales bajo condiciones controladas y de campo con eficiencia e indicadores de óptimos (Del Pozo, 1998; Rodríguez, 2015; López, 2016 y Fernández *et al.*, 2017). Todos estos trabajos estudiaron de forma simultánea varios factores y sus interacciones entre ellos, los análisis estadísticos se centraron en la realización de regresión simple cuando en el crecimiento intervienen múltiples factores de manejo.

En la literatura científica no son abundantes las investigaciones que avalen aplicaciones de la Metodología de la Superficie de Respuesta (MSR) para la caracterización de la dinámica de los pastizales y la determinación de los óptimos en los diferentes niveles en los factores de manejos que se estudian. No obstante, según Guerra *et al.* (2018) señaló que la MSR constituye una poderosa herramienta de la Modelación Matemática-Estadística en el desarrollo científico-investigativo, al incorporar en sus procedimientos el Álgebra matricial, Cálculo Diferencial, Geometría analítica, Investigación Operacional, Diseños de tratamientos y selección de modelos, entre otros aspectos, la cual puede ser de gran utilidad para estudios de la dinámica de los ecosistemas de pastos.

El trabajo tiene como objetivo modelar los cambios de productividad del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) bajo diferentes condiciones de manejo con el empleo de la Metodología de Superficie de respuesta (MSR).



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

#### Desarrollo

La investigación se llevó a cabo en el Instituto de Ciencia Animal (ICA), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, entre los 22° 53' latitud norte y los 82° 02' latitud oeste, a 92 m sobre el nivel del mar.

Los trabajos experimentales se desarrollaron en un suelo Ferralítico rojo compactado (Hernández *et al.*, 2015), bastante uniforme en todo su perfil y de rápida desecación. Los contenidos de calcio y magnesio fluctúan entre los rangos normales informados para este tipo de suelo. Además, presentan una baja densidad aparente (1.1-1.3 g/cm<sup>3</sup>), una alta porosidad total (50-60%) con una estructura granular media (Gálvez *et al.*, 1996).

Se utilizó un área de pasto estrella previamente establecida, con más del 95% de pureza dividida en parcelas experimentales, con un área cosechable de 10 m<sup>2</sup>. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres réplicas, donde la parcela principal fue el nivel de nitrógeno (0, 200 y 400 kg N/ha/año) y las subparcelas las edades de rebrote desde 1 hasta 12 semanas.

Se contó con un total de 36 tratamientos, correspondientes a las combinaciones de edades y nitrógeno. Se observaron como variables respuesta (Rendimiento de Materia Seca (RMST), Rendimiento de Hoja (RH), Rendimiento de Tallo (RT), y como variables independientes la edad (semanas) y dosis de nitrógeno (kg N/ha/año).

Se conformó una matriz de datos con la información en los dos períodos estacionales seca y lluvia. Para caracterizar todas las variables dependientes se utilizó una estadística descriptiva con medidas de tendencia central y dispersión.

La conformación del procedimiento empleado para la obtención de las Superficies de Respuesta, incluyó para cada caso:

1. Análisis de regresión múltiple.
2. Bondad de ajuste.
3. Representación gráfica de la superficie
4. Obtención de óptimos (analíticamente).
5. Interpretación de Resultados.

#### 1-Análisis de regresión múltiple

Se realizó a las tres variables dependientes mencionadas anteriormente y se tuvo en cuenta la edad y dosis de nitrógeno como variables independientes.

Se emplearon en todos los casos modelos de primer y segundo orden, dados por las ecuaciones:

Primer orden:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

Segundo orden:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$$

Donde:

y: es la variable dependiente (respuesta)



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

$x_1$  y  $x_2$ : son las variables independientes (factores)

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  y  $b_5$ : son parámetros de los modelos

Se utilizó como procedimiento de ajuste el método de mínimos cuadrados ordinarios, apoyándose en los criterios estadísticos publicados por Burguillo (2005) y Bingham y Fry (2010) quienes expresaron que este método es de los que más se emplean en la estimación de parámetros en la regresión lineal.

#### 2-Bondad de ajuste

Se utilizaron criterios estadísticos reportados en la literatura por Kiviste *et al.*, (2002), Guerra *et al.*, (2003), y Torres *et al.*, (2012), que incluyó:

- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).
- Significación del modelo.
- Error absoluto medio (EA).
- Estadístico de Durbin Watson.
- Análisis gráficos de los residuos.
- Selección del mejor modelo.
- Análisis de correlación entre valores observados y predichos por el mejor modelo.

#### 3-Gráfico de Superficie de Respuesta

Una vez obtenida la ecuación, teniendo en cuenta la bondad de ajuste y el cumplimiento de los indicadores, se define la función adecuada y se gráfica la región correspondiente a los datos analizados. Se determinaron en cada caso las respuestas y/o combinaciones óptimas para los intervalos en estudio.

#### 4- Obtención de óptimos (analíticamente)

Se aplicaron criterios matemáticos que incluyó: condiciones necesarias y suficientes para la localización de los puntos Máximos, Mínimos o de Ensilladura de todas las respuestas obtenidas.

Las condiciones necesarias y suficientes, para el caso particular de funciones doblemente diferenciables, consisten en analizar el signo del determinante de la matriz Hessiana  $H$  y anular las derivadas parciales para encontrar su punto crítico  $P$ . Estos criterios se presentan a continuación:

- $H_f(P) > 0$  y  $f_{xx}(P) > 0 \Rightarrow P$  es un mínimo relativo
- $H_f(P) > 0$  y  $f_{xx}(P) < 0 \Rightarrow P$  es un máximo relativo
- $H_f(P) < 0 \Rightarrow P$  es un punto de silla

#### 5-Interpretación de Resultados

A partir de los óptimos se determinó la presencia o no, de estos puntos en la región experimental. En el caso de no estar en dicha región, se estimaron los valores de las variables independientes donde se alcanzaron las mejores respuestas.

Los datos fueron procesados mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI (2019) en su versión del 2011. Se utilizaron software de matemáticas dinámicas



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

online GeoGebra (2020) y Matlab en su versión R2013a para realizar todo el análisis matemático descrito anteriormente.

#### **Análisis matemático estadístico del Rendimiento de Materia Seca Total, Rendimiento de Masa Seca de Hojas y Rendimiento de Masa Seca de Tallos para los períodos de lluvia y seca.**

El análisis descriptivo de las variables Rendimiento de Materia Seca Total (RMST), Rendimiento de Masa Seca de Hojas (RH) y Rendimiento de Masa Seca de Tallos (RT) para los períodos de seca y lluvia se muestran en la Tabla 1. Los resultados indican que los datos se distribuyen normalmente, avalado por la magnitud de los sesgos y curtosis estandarizados, cuyos valores están entre -2 a +2, exceptuando el caso del RT en seca con un sesgo estandarizado de 2,15. Los valores máximos y mínimos para cada variable se encuentran entre los rangos normales para la especie bajo las condiciones de manejo estudiadas (Del Pozo 1998 y Herrera *et al.*, 2016).

Tabla 1. Resumen estadístico para las variables de rendimiento de masa seca total (RMST) y sus componentes morfológicos (RH y RT) para la estación de seca y lluvia.

	RMST		RH		RT	
	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia
Observaciones	36	36	36	36	36	36
Media t Ms/ha	1,52	2,58	0,69	1,25	0,83	1,34
Desviación estándar	1,13	1,97	0,43	0,88	0,71	1,09
Mínimo t Ms/ha	0,15	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01
Máximo t Ms/ha	3,86	5,86	1,46	2,68	2,41	3,22
Rango	3,71	5,82	1,36	2,65	2,36	3,21
Sesgo Estandarizado	1,71	0,63	1,08	0,38	2,15	0,86
Curtosis Estandarizada	-0,77	-1,74	-1,26	-1,75	-0,30	-1,66

Al considerar los valores de RMST, RH y RT como variables dependientes y la edad y dosis de nitrógeno como independientes, fue posible obtener las expresiones matemáticas, que permiten describir el comportamiento de las superficies de respuesta para cada variable y épocas en estudio.

Según autores como Rodríguez *et al.*, (2018) es necesario ante la gran cantidad de modelos desarrollados, que se realice un trabajo de evaluación y validación profundo, en aras de adoptar el mejor modelo. En la Tabla 2 aparecen los resultados de la



**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

bondad de ajuste, los que aportan coeficientes de determinación ( $R^2$ ) altos, con valores superiores al 84 % en los modelos de primer orden y el 94 % para los de segundo orden. Se tomó, además, en consideración el Coeficiente de Determinación Ajustado, los cuales alcanzaron los valores más elevados en los modelos cuadráticos.

Tabla 2. Resultados de la Bondad de ajuste de los modelos evaluados.

	Primer Orden	Segundo Orden		Primer Orden	Segundo Orden
<i>Época</i>	<b>SECA</b>			<b>LLUVIA</b>	
<i>Coeficiente de Determinación <math>R^2</math></i>					
<b>RMST</b>	87,28 %	98,44 %		85,78 %	94,95 %
<b>RH</b>	88,37 %	97,06 %		86,62 %	95,21 %
<b>RT</b>	84,85%	97,95 %		84,22%	94,44%
<i>Coeficiente de Determinación Ajustado <math>R^2A</math></i>					
<b>RMST</b>	86,51 %	98,19 %		84,92 %	94,11 %
<b>RH</b>	87,67 %	96,57 %		85,81%	94,41 %
<b>RT</b>	83,93%	97,60 %		83,27%	93,52%
<i>Significación del Modelo (<math>p</math>-valor)</i>					
<b>RMST</b>	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
<b>RH</b>	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
<b>RT</b>	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
<i>Media absoluta del error</i>					
<b>RMST</b>	0,29	0,10		0,57	0,35
<b>RH</b>	0,11	0,05		0,25	0,15
<b>RT</b>	0,20	0,07		0,34	0,19
<i>Durbin Watson</i>					
<b>RMST</b>	2,63 (P=0,96)	1,45 (P=0,04)		2,58 (P=0,95)	2,40 (P=0,84)
<b>RH</b>	2,59 (P=0,95)	2,41 (P=0,85)		2,26 (P=0,75)	2,24 (P=0,71)

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

<b>RT</b>	2,54 (P=0,94)	0,93 (P=0,0003)		2,74 (P=0,98)	2,53 (P=0,92)
<i>Coefficiente de correlación <math>r_{op}</math></i>					
<b>RMST</b>	0,92	0,99		0,93	0,97
<b>RH</b>	0,93	0,98		0,94	0,97

<b>Variable respuesta</b>	<b>Modelo</b>				
<b>RT</b>	0,91	0,98		0,92	0,97

$r_{op}$  .coeficiente de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo

En la misma tabla se evidencia que las medias absolutas del error fueron relativamente menores en los modelos de segundo orden que en los de primer orden. La d6cimo de Durbin Watson muestra que no existen problemas de autocorrelaci6n de los errores en los modelos de primer y segundo orden, sin embargo, el caso del RT en el modelo de segundo orden para la 6poca de seca present6 incumplimientos en este supuesto (valores del estadístico DW < 1,4).

Adem6s, se observa una correlaci6n fuerte entre los valores predichos y los observados en todos los modelos, siendo superior en el caso de los modelos de segundo orden con coeficientes de correlaci6n  $r \geq 0,97$ . El an6lisis gr6fico de los residuos corrobora que se logr6 una mejor distribuci6n aleatoria de los residuos en los modelos de segundo orden.

Los resultados analizados hasta aqu6 evidencian la factibilidad del uso de modelos de superficies de respuesta de segundo orden o cuadr6ticos para representar la din6mica de ambos factores en los cambios de productividad del pasto estrella en la estaci6n de seca y lluvia respectivamente. Autores como Thornley y France (1984) se6alaron que los modelos matem6ticos, que incluyen m6s de una variable, representan mejor la din6mica de crecimiento de las plantas, criterios v6lidos para el comportamiento que presentan las variables en estudio en el presente trabajo. Asimismo Villegas *et al.*, 2019 plantean que la obtenci6n de modelos no lineales pueden ser de mucha ayuda para explicar y predecir el comportamiento de los pastos y forrajes ante determinados factores como la edad.

A continuaci6n en la Tabla 3 se muestran los modelos de mejor ajuste para las variables respuestas analizadas cuyas expresiones gr6ficas se muestran en la Figura 1 en los intervalos de edad y nivel de nitr6geno estudiados en seca y lluvia en ambas 6pocas del a6o.

Tabla 3: Modelos matem6ticos de mejor ajuste (donde: x = edad, y= nivel de fertilizante).



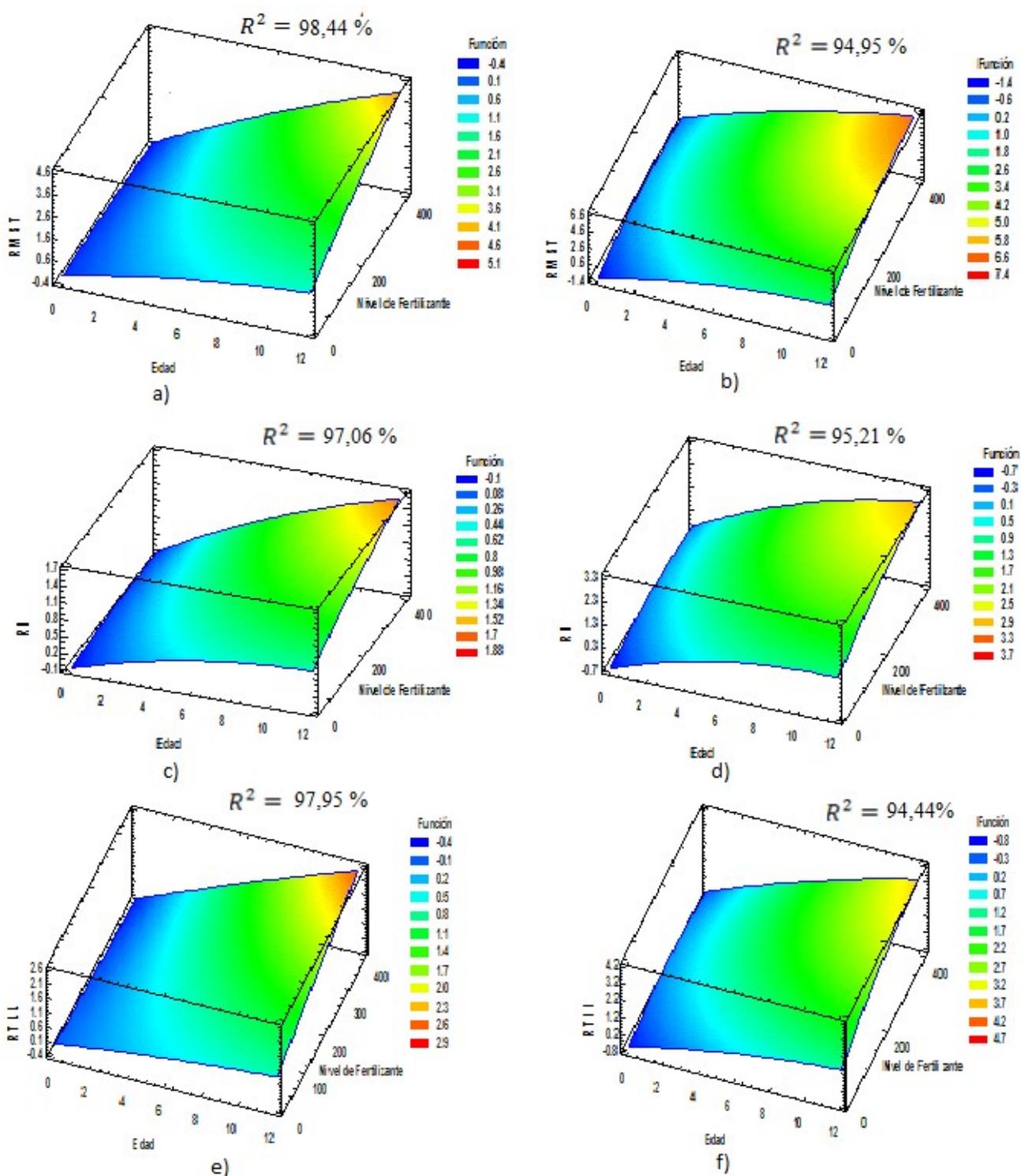
**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

RMST seca	$f(x,y) = -0.19 + 0.19x + 0.0004y - 0.006x^2 - 0.000002y^2 + 0.0006x.y$
RMST lluvia	$f(x,y) = -1.39 + 0.53x + 0.009y - 0.02x^2 - 0.00001y^2 + 0.0007x.y$
RH seca	$f(x,y) = -0.09 + 0.10x + 0.0008y - 0.004x^2 - 0.000001y^2 + 0.0002x.y$
RH lluvia	$f(x,y) = -0.67 + 0.29x + 0.004y - 0.01x^2 - 0.000007y^2 + 0.0002x.y$
RTLL seca	$f(x,y) = -0.10 + 0.08x - 0.0003y - 0.001x^2 - 6.45y^2 + 0.0004x.y$
RTLL lluvia	$f(x,y) = -0.71 + 0.24x + 0.005y - 0.07x^2 - 0.00001y^2 + 0.0004x.y$



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Figura 1. Representación gráfica de los modelos de superficies de respuesta para cada una de las variables estudiadas. Edad (semanas) Nivel de Fertilizante (kg N/ha/año), RMST: a), b); RH: c), d) y RTLL: e), f); seca y lluvia respectivamente.



### III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

En todas las variables respuestas analizadas, tanto en lluvia como en seca, se observa que estas obtienen mayores valores a medida que aumentan la edad y el nivel de fertilizante de forma paralela, similares resultados encontraron López (2016), Martínez *et al.*, (2016), Reyes *et al.*, (2018) y Viteri *et al.*, (2019). Además, se evidencia un aumento proporcional en los rendimientos de RMST y sus componentes estructurales RH y RT con la edad y el fertilizante, este efecto puede estar dado probablemente por la mayor capacidad que posee esta especie en su sistema asimilativo (Del Pozo *et al.*, 2002).

Similares respuestas obtuvieron Ramos *et al.*, (1987) en un estudio del crecimiento de *Cynodon nlemfuensis* con tres niveles de nitrógeno (0, 200 y 400 kg N/ha/año) y tres edades de corte, recomendando cortar entre la 5 y 6 semana con dosis de 200 a 400 kg N/ha/año, momentos en que se alcanzó los máximos valores de densidad y tasas de crecimiento.

Por otra parte, Herrera y Ramos, (2006) argumentan que las frecuencias de corte más prolongadas, proporcionaron mayores rendimientos, sin embargo, señalaron la disminución progresiva de su calidad bajo este manejo.

Asimismo, Martínez *et al.*, (2016) al evaluar los efectos de la edad de rebrote (35, 42, 49, 56, 63 y 70 días), época del año y especie, sobre la composición nutricional de leucaena (*Leucaena leucocephala*) y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) asociados en un sistema Silvopastoril Intensivo, señalaron que la interacción de la edad con la época afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) el porcentaje de masa seca, encontrando el periodo óptimo de cosecha de la leucaena asociada con pasto estrella entre 42 y 49 días después de la poda o pastoreo.

Las condiciones necesaria y suficiente para la localización de los puntos Máximos, Mínimos o de Ensiladura de la superficie, arrojaron que los máximos valores del RMST, RH y RT en seca y lluvia fueron combinaciones que se encuentran fuera de la región experimental.

Sin embargo, los valores máximos para las tres variables se alcanzaron a la edad de 12 semanas y con 400 kg N/ha/año en ambos períodos estacionales respectivamente, alcanzando RMST un valor de 4,20 t MS/ha y 6,38 t MS/ha (Tabla 4). No obstante, no se deben despreciar los valores de rendimientos obtenidos para combinaciones de edad entre 11–12 semanas y niveles de fertilizante entre 300 y 375 kg N/ha/año, ya que no variaron de forma marcada.

Tabla 4. Máximos locales predichos en la optimización de las variables de rendimiento analizadas.

<b>Factor</b>	<b>Valor óptimo</b>
<b>Edad</b>	12 Semanas
<b>Nivel de Fertilizante</b>	400 kg N/ha/año
<b>Respuesta</b>	<b>Valor óptimo</b>



**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

	<b>Seca</b>	<b>Lluvia</b>
RMST	4,20 t MS/ha	6,38 t MS/ha
RH	1,62 t MS/ha	2,86 t MS/ha
RT	2,96 t MS/ha	3,50 t MS/ha

Para cualquier edad y época del año el rendimiento de materia seca total fue superior cuando se suministró nitrógeno y sus diferencias fueron más evidentes a partir de la tercera y quinta semana en seca y lluvia, respectivamente. Semejantes resultados alcanzaron Méndez *et al.*, (2019) al estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada (0, 40,5 y 81 kg/N/ha) en el rendimiento del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con respuestas de hasta un 40%.

Además, Maldonado *et al.*, 2019 plantean que el rendimiento total y componente hoja y tallo están relacionadas de manera positiva con el incremento en la edad de la planta y que la relación hoja: tallo disminuye conforme aumenta la edad de la planta.

### **Conclusiones**

El polinomio de 2<sup>do</sup> grado en los modelos de superficie de respuesta mostraron los mejores ajustes a los datos de las variables de rendimiento para el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con elevados coeficientes de determinación, que fluctuaron entre 94 y 99 % para la seca y lluvia, respectivamente, representando los efectos combinados de la edad de rebrote y la dosis de nitrógeno en ambas épocas del año, con mayor intensidad durante la estación lluviosa, y a partir de la segunda mitad del ciclo de crecimiento estudiado.

Los extremos o puntos de ensilladura en todas las expresiones fueron variable para cada indicador estudiado y se alcanzaron fuera de los intervalos estudiados, no obstante, permitieron obtener valores óptimos en la región de estudio y valorar otras alternativas para valores predichos por los mismos.

La utilización de la Metodología de Superficies de Respuesta, que incluye diseño, modelación y optimización de procesos, constituye una herramienta útil para representar y analizar el crecimiento del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y de especies con similares comportamientos de crecimiento bajo diferentes dosis de nitrógeno y edad de rebrote, además de otras especies con similares

### **Bibliografía**

1. Bingham, N. H. y Fry, J. M. *Regression Linear Models in Statistics*. London. UK: Imperial College, 2010.
2. Burguillo, F. J. *Ajuste de ecuaciones a curvas: introducción a la regresión lineal y no lineal* [en línea]. España. Disponible en: <http://web.usal.es/> [Consulta: 08 octubre 2018], 2005.
3. Del Pozo, P. P. *Análisis del crecimiento del pasto estrella (C. nlemfuensis) bajo condiciones de corte y pastoreo*. Tesis de Doctorado. La Habana, Cuba, Instituto de Ciencia Animal, 1998.

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

4. Pozo, P.P. del y Herrera, R.S. y García, M, "Dinámica de los contenidos de carbohidratos y proteína bruta en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con aplicación de nitrógeno y sin ella." *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 36, núm.3, pp.275-280 [Consultado: 17 de febrero de 2020]. ISSN: 0034-7485. Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930/193018103001>, 2002.
5. Fernández, Lucia; Guerra, C.W; De Calzadilla, J; Lin. N.U. Desarrollo de la Modelación Estadístico–Matemática en las Ciencias Agrarias. Retos y perspectivas. *Revista Investigación Operacional*. VOL 38., No.5, 462-467, 2017.
6. Gálvez, G., Jordan, H., Crespo, G., Castillo, E., Cino, D., Febles, G., García, R., Trujillo, R., Molina, A., Reyes, J., Senra, S., Febles, J., Cuesta, S. y Alonzo, C. Estudio de Sistemas de Pastoreo y su influencia de sistemas en la relación suelo-planta-animal. En: *X Seminario Científico del INCA*. Cuba: INCA, 1996.
7. GeoGebra, *GeoGebra | Free Math Apps - used by over 100 Million Students & Teachers Worldwide*. [online] Available at: <https://www.geogebra.org/> [Accessed 17 Feb. 2020]. 2020.
8. Guerra, W., Cabrera, A. y Fernández, L. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Rev. Cubana Ciencias. Agrícolas*, 37, 3 -10, 2003.
9. Guerra, W., Ruiz, A., Herrera, M., Fernández, L., La modelación Matemática Estadística en la Metodología de Superficies de Respuesta. *Aplicaciones Agrícolas*. *Revista de Ingeniería Agrícola*, Vol. 3, No. 4, pp. 67-73, ISBN 2306-1545, 2018.
10. Hernández, J. A., Pérez, J. J., Bosch, I. D. y Castro, S. N. *Clasificación de los Suelos de Cuba*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. p. 91. ISBN 978-959-7023-77-7, 2015.
11. Herrera, R.S. & Ramos, N. Factores que influyen en la producción de biomasa y calidad. En: *Pennisetum purpureum para la ganadería tropical*. Ed. Instituto de Ciencia Animal. CD-ROM. La Habana. p. 79-100, 2006.
12. Kiviste, A. J., Álvarez, G., Rojo, A. y Ruíz, A. *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002.
13. López, J. L. Modelación y simulación del rendimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) bajo diferentes condiciones de manejo y escenarios climáticos. Tesis de Maestría. Mayabeque, Cuba, Instituto de Ciencia Animal, 2016.
14. Maldonado Peralta, María & Rojas García, Adelaido & Sánchez-Santillán, Paulino & Ríos, Joel & Torres-Salado, Nicolas & Joaquín Cancino, Santiago. Análisis de crecimiento del pasto Cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en el trópico seco. *Revista Agro Productividad* Vol12, no. 8, 2019.
15. Martínez, M., Reyes, A., Lara, A., Miranda, L., Huerta, M. y Uribe, M. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea]. (16), pp.

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL  
DE  
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

- 3343-3355. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263146726015> [Consulta: 30 octubre 2019], 2016.
16. Méndez, R & Fernández, J & Yáñez, E Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y composición de *Cynodon plectostachyus*. Revista Veterinaria. Vol 30. No. 1 [Consulta: 30 octubre 2019], 2019.
17. Ramos, N., Herrera, R. S., Padilla, C., Barrientos, A. y Aguilera, J. M. Pasto Estrella mejorado (*Cynodon nlemfuensis*) su establecimiento y utilización en Cuba. La Habana, Cuba: EDICA. p. 153, 1987.
18. Reyes-Pérez, Juan & Méndez-Martínez, Yuniel & Luna-Murillo, R.A. & Herrera-Gallo, S.M. & Sarango, V.M. & Coronel, Ana. Components of the yield and chemical composition of *Cynodon nlemfuensis*. Revista Electronica de Veterinaria. 19, [Consulta: 30 octubre 2019], 2018.
19. Rodríguez, L. *Modelación y simulación de la producción de biomasa de Pennisetum Purpureum Schum vc. king grass y su aplicación en la alimentación animal*. Tesis de Doctorado. Mayabeque, Cuba, Instituto de Ciencia Animal, 2015.
20. Rodríguez González, Florido Bacallao R, Varela Nualles M, Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba, revista Cultivos Tropicales, vol 39 no. 1, La Habana ene.-mar. 2018.
21. Statgraphics Centurion XVI. . EEUU: StatPoint Technologies Inc, 2019.
22. Thornley, J.H.M. y France, J.. *Mathematical model in Agriculture: A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences* Butterworth. London. Bernhard Kiewel Rare Books ISBN 10: 0408108681 335 p, 1984.
23. Torres, Verena y Barbosa, I. y Meyer, R. y Noda, Aida y Sarduy, Lucía , "Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos." *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 46, núm.4, pp.345-350 [Consultado: 17 de febrero de 2020]. ISSN: 0034-7485. Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930/193027579001>, 2012.
24. Villegas, D., Valbuena, N. & Milla, M. Evaluación de modelos aplicados a la producción de materia seca de *Brachiaria brizantha* en el periodo lluvioso. Revista de Ciencias Agrícolas. 36(1):33-45: doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.96>, 2019.
25. Viteri Velazco, Leopoldo; Calderón Sabando, Marcelo J.; Mendoza Delgado, Mauricio A. Fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre producción forrajera del pasto Estrella. Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal, [S.I.], v.2, n.3, p.7-15, ISSN 2602-8220. Disponible en: <http://www.revistaecuatorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/87>>. Fecha de acceso: 17 feb. 2020, abr. 2019.