

FUNCION DE DESCARGA DE DIFERENTES ARQUITECTURAS FITOCENOSICAS POR EL HERBIVORO

Sergio Antonio Tuexi Villarreal¹

Roberto Nava Coronel²

Luis Pérez Romero²

Juan José López González²

Estudiante de maestría de Manejo de Pastizales¹

Profesores investigadores del Depto de Recursos Naturales de la UAAAN²

RESUMEN

Se determinó una función matemática para representar las descargas ecosistémicas del *Sporobolus airoides*, *Flourensia cernua*, *Atriplex canescens* y *Medicago sativa*. Para cuantificar su fitomasa, se usaron técnicas compatibles con la forma de las plantas. Los tiempos de muestreo se determinaron de acuerdo a las observaciones que se hicieron del consumo del herbívoro. Se utilizaron diferentes cargas animales para efectuar las descargas ecosistémicas y se expresaron en toneladas/hora, por hectáreas totales acumuladas. Las curvas obtenidas de las diferentes cargas ecosistémicas describen una función exponencial de la forma $Y = ae^{-bx}$. Al ajustar los datos obtenidos en el campo, se determinó una función general de descarga de la fitomasa por el herbívoro.

Palabras clave: *Sporobolus airoides*, *Flourensia cernua*, *Atriplex canescens* y *Medicago sativa*.

ABSTRACT

A mathematical function to represent ecosystem discharge of *Sporobolus airoides*, *Flourensia cernua*, *Atriplex canescens* and *Medicago sativa* for goat livestock was developed. In order to quantify the offered phytomass, compatible technique were to the plant form. The samples timing, were determined according to the observations of the phytomass intake by the herbivore. Several stocking densities were used to effect the ecosystemic discharge, expressed in ton.hora/ha accumulated totals. The obtained curves of the different ecosystemic discharges describe an exponential function of the form $Y = ae^{-bx}$. An herbi-

vore phytomass discharge general function was determined by adjusting field data.

Key words: *Sporobolus airoides*, *Flourensia cernua*, *Atriplex canescens*, *Medicago sativa*.

INTRODUCCIÓN

Para poder lograr una mejor comprensión de la utilización del recurso natural a través del tiempo, es necesario familiarizarse y darle rigor al problema, lo cual se consigue a menudo a través del empleo de símbolos matemáticos y de ecuaciones. Los símbolos matemáticos proporcionan una representación precisa y útil para describir las estructuras de sistemas ecológicos complejos. Por otra parte, las ecuaciones proporcionan enunciados formales de cómo los componentes del ecosistema se relacionan entre sí. Este proceso matemático consiste en traducir conceptos físicos y biológicos de cualquier sistema ecológico en un conjunto de relaciones matemáticas de naturaleza más abstracta que la del fenómeno (Odum, 1971). Los recursos naturales de las zonas áridas del norte de México representan una gran importancia, que de utilizarlos correctamente, se puede obtener una acentuada eficiencia de canalización energética desde el ecosistema hacia el hombre. El grado de utilización por la zoonosis es uno de los principales aspectos que afectan la recuperación del recurso natural en zonas áridas, a través, principalmente, de la intensidad y frecuencia de las cosechas relacionadas con las condiciones climáticas. Por ello, es importante la determinación de funciones matemáticas que representen las descargas ecosistémicas, para predecir el comportamiento de los fenómenos, la utilización, el forraje remanente y la pertinencia de la pradera para determinado tipo de animal en cada arquitectura fitocenósica.

El objetivo principal del presente trabajo fue el determinar una función matemática que permita predecir la tasa de descarga de un ecosistema pratense por el herbívoro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tamaño de la parcela y la carga animal se determinó pensando en establecer la relación existente entre el tiempo de permanencia de la zoomasa y la fitomasa remanente, para lo cual se utilizó la pradera durante un período breve, para determinar la fitomasa remanente cuando la función de descarga se hace asintótica.

Para cuantificar la materia seca ofrecida en cada uno de los tiempos de muestreo, los cuales se determinaron de acuerdo a las observaciones de consumo, se emplearon técnicas compatibles a la forma de la planta y las muestras se secaron en el horno a 65° C, durante 48 horas, y posteriormente se transformaron en unidades de superficie.

Para efectuar las descargas ecosistémicas se utilizaron cabras criollas, las cuales estuvieron en ayuno la noche anterior a cada experimento. Durante el tiempo que duró el experimento, las cabras recibieron agua ad libitum; también se pesaron al inicio y al final, y se llevaron a pasar la noche en los corrales destinados para tal fin.

Para conocer la zoomasa utilizada en cada uno de los tiempos acumulados de muestreo, se calculó multiplicando el peso total inicial por la unidad de superficie, por el tiempo de pastoreo/mil (Range Team Glossary Committe, 1974). El consumo se determinó entre la diferencia existente de lo ofrecido menos lo rechazado.

Descripción del área de estudio

Sporobolus airoides Torr. Este se realizó en una área de 450 m² (15m x 30m) localizado adjunto al campo experimental "Noria de Guadalupe," el cual fue circulado para facilitar el estudio. Tuvo una duración de 10 días comprendidos del 18 al 28 de julio de 1981. La disponibilidad de la materia seca se determinó antes de que la utilizara el ganado caprino; para tal propósito se utilizó el método del cuadrante de un metro cuadrado de área, que se arrojó, al azar, cinco veces consecutivas para la toma de muestras por cada uno de los tiempos determinados, en función del grado de utilización observado: t0, t1, t2, t3, t4 y t5. Se asignó una superficie de 5 m² por tiempo y la superficie total que muestreada fue de 30 m². La fitomasa se cosechó al nivel del suelo, luego se embolsó y se secó en el horno, a 65°C, durante 48 h. Para efectuar la descarga ecosistémica se utilizaron 20 cabras criollas con un peso promedio de 44.15 kg.

Flourensia cernua D.C. Para la realización de este estudio se seleccionó un área de 270 m² (15 m x 18 m), ubicada en la parte baja del campo experimental "Noria de Guadalupe," con una densidad de 280 plantas, la cual se dejó libre de plantas indeseables. Tuvo una duración de siete días comprendidos del 7 de agosto al 4 de septiembre de 1981. Por tratarse de un arbusto cuya forma corresponde aproximadamente a una semiesfera, se eligió una metodología compatible a su forma para la determinación de la fitomasa ofrecida, en función de la intensidad de utilización. Para este propósito se escogieron 40 plantas, las cuales se marcaron en grupos de 10 plantas por tiempo, para un total de cuatro: t0, t1, t2, t3.

Las plantas se arrancaron al nivel del suelo por cada uno de los tiempos correspondientes. Para determinar la cantidad de materia seca ofrecida, los valores calculados

por las 10 plantas se transformaron en poblaciones; se multiplicó el peso por el número total de plantas en el lote, y éstas, a su vez, en unidades superficie; a cada tiempo se le restaron en forma acumulativa las 10 plantas que sirvieron de muestra. Para efectuar la descarga ecosistémica, se utilizó una densidad animal de 19 cabras criollas, con un peso promedio de 43.15 kg.

***Atriplex canescens* (Pursh) Nut.** El ecosistema de *Atriplex canescens* que se utilizó para la realización de este ensayo experimental, se localizó en la parte baja del campo experimental "Noria de Guadalupe". Para tal fin se circuló una área total de 450 m² (15m x 30m), la cual se dejó libre de malezas indeseables, con la finalidad de dejar sólo la especie de *Atriplex canescens*; se encontró una densidad de 128 plantas. La duración del período experimental fue de siete días, comprendidos del 20 al 26 de septiembre de 1981. La metodología que se empleó para evaluar la fitomasa ofrecida en función de la intensidad de utilización fue compatible a su forma, la cual corresponde a una semiesfera formada por un tronco central, que se ramifica radialmente desde su base en todas direcciones. Se escogieron 20 plantas al azar, de las cuales se identificaron cinco por cada uno de los siguientes tiempos: t0, t1, t2 y t3.

Las plantas se extrajeron del área experimental en su tiempo correspondiente. Para determinar la fitomasa ofrecida en cada tiempo, los valores calculados por cada grupo de plantas se transformaron en poblaciones, se multiplicó el peso de las plantas muestreadas por el número total de plantas (123) en los 450 m². Posteriormente se convirtieron en unidades de superficie y se les restaron cinco plantas que se extrajeron en los tiempos subsecuentes al t0, con la finalidad de obtener valores más aproximados a la realidad. Para

efectuar la descarga ecosistémica se utilizó una densidad animal de 10 cabras, con un peso promedio de 43.5 kg.

***Medicago sativa* L.** Este ensayo se llevó a cabo, en una región aledaña al norte de la ciudad de Saltillo, Coahuila, debido principalmente a que ahí se encontró el ecosistema de *Medicago sativa*. El área experimental fue de 24 m² (6m x 4m), la cual se circuló con tela borreguera para facilitar el estudio. La disponibilidad de la materia seca se calculó previamente a la utilización por el ganado en cada uno de los tiempos: t0, t1, t2, t3 y t4. Los muestreos se hicieron utilizando un cuadrante de 0.25 m² de área, el cual se tiró al azar cuatro veces consecutivas, para así determinar el área de cosecha de la fitomasa a nivel del suelo. Para la realización de la descarga ecosistémica, se utilizó una densidad animal de nueve cabras criollas con un peso promedio de 40.5 kg.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

***Sporobolus airoides* Torr.**

Los resultados de las mediciones de descarga total de *Sporobolus airoides* Torr indican que la descarga de la fitomasa por caprinos se ajusta a una función exponencial, a la cual le corresponde la ecuación $Y = 4942.4 e^{-0.2174x}$. A partir de una disponibilidad inicial de 3537.00 kg/MS/ha, con una intensidad de cosecha equivalente a 98.11 ton-hora/ha, en un tiempo de cinco horas totales acumuladas de pastoreo, la fitomasa total ofrecida se reduce a 3432.7 kg/MS/ha y el consumo se estima en el orden de 104.3 kg/MS/ha.

La descarga de la fitomasa en pie continúa ajustándose a una función exponencial y tiende a hacerse asintótica con un valor de 1396.40 kg/MS/ha.

Las tasas de cambio de las descargas son variadas, dependiendo del tiempo de apacentamiento de los caprinos.

La descarga de la fitomasa por el herbívoro corresponde a la ecuación $Q = (3537 - 1396.40) e^{-0.00068127 \cdot 98.11} + 1396.4$, datos sustituidos de la ecuación general de descarga.

***Fluorensia cernua* D. C.**

Los resultados de las mediciones de descarga total de *Fluorensia cernua* DC indican que la descarga de la fitomasa por caprinos se ajusta a una función exponencial, a la que le corresponde la ecuación $Y = 10099 e^{-0.319x}$. A partir de una disponibilidad inicial de 7865.510 kg/MS/ha, con una intensidad de cosecha equivalente a 2221.330 ton-hora/ha, en un tiempo de 73.20 horas totales acumuladas de pastoreo, la fitomasa total ofrecida se reduce a 5090.40 kg de MS/ha, con un consumo del orden de 2775.11 kg MS/ha.

La descarga de la fitomasa en pie se ajusta a una función exponencial y tiende a hacerse asintótica, con un valor de 3117.785 kg de MS/ha.

Las tasas de cambio de la descarga son variadas, según el tiempo de apacentamiento de los caprinos. La descarga de la fitomasa por el herbívoro corresponde a la ecuación general de descarga:

$$Q = (7865.51 - 3117.78) e^{-0.0006140431 \cdot 2221.330} + 3117.785$$

***Atriplex canescens* (Purch) Nut**

Los resultados de las mediciones de descarga total de *Atriplex canescens* (Purch) Nut indican que la descarga de la fitomasa por caprinos se ajusta a una función exponencial que corresponde a la ecuación $Y = 2393.9 e^{-0.0159x}$. A partir de una disponibilidad inicial de 2356.51 kg de MS/ha, con una intensidad de cosecha equivalente a 327.22 ton-hora/ha totales acumuladas, en un tiempo de 34.05 horas totales acumuladas de pastoreo, la fitomasa total ofrecida se reduce a 2314.64 kg de MS/ha por lo que se determinó un consumo del orden de 41.87 kg de MS/ha. La descarga de la fitomasa en pie se ajusta a una función exponencial y tiende a hacerse asintótica, con un valor de 2242.88 kg de MS/ha. Las tasas de cambio de la descarga son variadas, dependiendo del tiempo de apacentamiento de los caprinos. La descarga de la fitomasa por el herbívoro corresponde a la ecuación general de descarga $Q = (2356.51 - 2242.88) e^{-0.0012764805 * 327.22} + 2242.88$.

***Medicago sativa* L.**

Los resultados de las mediciones de descarga total de *Medicago sativa* L indican que la descarga de la fitomasa por caprinos se ajusta a una función exponencial, por lo que le corresponde la ecuación $Y = 2012 e^{-0.1677x}$. A partir de una disponibilidad inicial de 1770.0 kg de MS/ha, con una intensidad de cosecha equivalente a 946.290 ton-hora/ha totales acumuladas, en un tiempo de 6:30 horas totales acumuladas de pastoreo. La fitomasa total ofrecida se reduce a 1539.0 kg de MS/ha, con un consumo de 231.0 kg de MS/ha.

La descarga de la fitomasa en pie se ajusta a una función exponencial y tiende a hacerse asintótica, con un valor de 841.00 kg de MS/ha. Las tasas de cambio de las descargas son variadas, dependiendo del tiempo de apacentamiento de los caprinos. La descarga de la fitomasa por el herbívoro corresponde a la ecuación general de descarga $Q = (1770.0 - 841.0) e^{-0.0002038648 * 946.29} + 841.00$.

Los resultados obtenidos en las descargas ecosistémicas de la gramínea, leguminosa y arbustivas, nos indican que la disponibilidad de la materia seca disminuye a medida que el tiempo de utilización aumenta (Gastó y Olivares 1979). Así mismo, se puede observar que la capacidad de cosecha del animal varía de acuerdo a la disponibilidad y densidad de carga del forraje ofrecido en las praderas.

Durante el proceso de descarga de las gramíneas y leguminosas por el ganado caprino, se puede observar que tuvieron preferencia por las hojas verdes y los tallos jóvenes, y dejaron como remanente los tallos maduros debido, principalmente, a la falta de palatabilidad y al alto contenido de fibra, lo que ocasionó un consumo del 60% en gramíneas y 39% en arbustivas y coincide con los resultados obtenidos por Moyeda et al., (1979); Karnezos et al., (1988). En cuanto a la descarga ecosistémica de la leguminosa, el consumo de materia seca fue de un 47.5%, en virtud de que el forraje fue pisoteado durante las primeras horas de pastoreo, debido a las características vegetativas de la planta, lo que dificultó su consumo por el ganado caprino. A este respecto, Gastó (1982) menciona que las características de la descarga de la fitocenosis, al someterse a la acción de un cosechador, debe ser armónica con el sistema y con los requerimientos del cosechador; de

la misma manera, otro de los factores que determinaron el consumo de materia seca fue la palatabilidad de las especies forrajeras, tal como lo menciona en sus trabajos Cook (1954).

Las curvas obtenidas en las descargas ecosistémicas de las comunidades bajo estudio, a decir: *Sporobolus airoides*; *Flourensia cernua*; *Atriplex canescens* y *Medicago sativa* describen una función exponencial tal como lo mencionan en sus trabajos (Gastó y Olivares, 1979; Chen y Wang, 1988; Sampedro y Horacio, 1989; Shlyachkova, 1990; Hyer, et al., 1991. Defosse y Bertiller, 1991; Foltyn y Zednickova, 1992). Las curvas se caracterizan por una progresión geométrica (descendente) de los valores de una de las variables, mientras que en la otra se manifiestan en una progresión aritmética, por lo que le corresponde la forma general de la ecuación exponencial $Y = ae^{-bx}$ (Springer et al., 1972a; 1972b; Allendoerfer y Oakley, 1973; Church, 1990; Márquez, 1991; Millar et al., 1992; Stein, 1992).

Asumiendo que el cambio neto producido en el sistema corresponde a la carga menos la descarga (Olson, 1963, Noy-Meir, 1975), se plantea el problema de esta forma, de acuerdo a la ley de la conservación de la energía:

$$V_q/V_t = V_g/V_t - V_q/V_v$$

Esta ecuación nos señala, que los cambios en la carga (V_q/V_t) son una secuencia de los cambios producidos por la cosecha al aumentar la intensidad de pastoreo (V_q/V_v). Ahora bien, si consideramos un sistema cuya tasa de carga (V_q/V_t) está cercana a cero, el cambio neto producido en él se debe a la descarga; además, la descarga es una variable dependiente de la carga presente. El sistema considerado, presenta los parámetros siguientes:

Q = Carga total presente al momento de iniciar el proceso de descarga.

C = Carga presente no cosechable.

k = Tasa intrínseca de descarga.

v = Intensidad de pastoreo

Estos parámetros pueden ser considerados como constantes para un sistema y tiempo dados. La variable dependiente Q corresponde a la carga presente en un instante dado y se expresa en kilogramos por hectárea de materia seca. La variable independiente V representa unidades de intensidad de pastoreo (zoomasa * tiempo)/Unidad de superficie y se expresa usualmente en ton-hora/hectárea (Cuadro 1).

Se considera que las variaciones en la carga se deben a la cosecha; esta última es proporcional a la cantidad de carga presente Q menos la carga no disponible C , y ES, además, proporcional a la tasa intrínseca de descarga k ; por consiguiente:

$$dQ/dV = -k (Q - C)$$

Resolviendo esta ecuación diferencial tenemos:

$$Q = (Q_0 - C) e^{-kv} + C$$

Tal como algunos autores han ajustado las curvas de descarga de la pradera a esta ecuación al hacer pastorear praderas de secano con altas densidades animales (González, 1979; Gastó y Olivares 1979).

Aplicando este modelo matemático a las curvas de descargas obtenidas en los ecosistemas bajo estudio, podemos calcular la tasa intrínseca de descarga por programación NLIN-SAS; así tenemos que para el *Sporobolus airoides* $k = .0006812157$, para *Flourensia cernua* $k = .0006140431$, para el *Atriplex canescens* $k = .0012764805$

y para *Medicago sativa* $k = .0002038648$.

Los parámetros calculados para la obtención de estas curvas se pueden observar en cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros calculados para las curvas de descargas de la materia seca de los ecosistemas bajo estudio.

Ecosistema	Disponibilidad inicial (kg.M.S./ha) Q_0	Tasa intrínseca de descarga k (kg MS/ha)	Potencial mínimo cosechable C
<i>Sporobolus airoides</i>	3537.00	0.0006812157	1396.40
<i>Fluorensia cernua</i>	7865.51	0.0006140431	3117.78
<i>Atriplex canescens</i>	2356.51	0.0012764805	2242.88
<i>Medicago sativa</i>	1770.00	0.0002038648	841.00

CONCLUSIONES

De acuerdo al proceso de descarga por el herbívoro de las distintas especies se pueden considerar las siguientes conclusiones:

Los resultados obtenidos en las mediciones de las descargas totales de las gramíneas, leguminosas y arbustos indican que la cosecha de la fitomasa por el herbívoro se ajusta a una función exponencial.

El modelo general de descarga de la fitomasa por el herbívoro corresponde a la ecuación:

$$Q = (Q_0 - C) e^{-kv} + C$$

Donde:

Q = Cantidad de carga presente expresada en kilogramos de materia seca.

C = Carga remanente que no puede ser cosechada por el animal.

k = Tasa intrínseca de descarga.

v = Intensidad de pastoreo expresada en ton-hora/ha.

Conociendo los parámetros de la ecuación general de descarga de la pradera por el herbívoro, es posible predecir la carga presente en el ecosistema con una determinada intensidad de pastoreo.

Cada arquitectura fitocenósica presenta una tasa intrínseca de descarga y un comportamiento determinado debido a la estructura de la planta y la intensidad de utilización.

LITERATURA CITADA

- Allendoerfer, C.B. and C. O., Oakley. 1973. Fundamentos de matemáticas universitarias. Tercera edición. Libros McGraw Hill. 19 pp. México.
- Chen, J.L., and Q., Wang. 1988. A theoretical analysis of the potential productivity of Ryegrass under grazing. *Journal of Theoretical - Biology*. 133:(3): 371 - 383.
- Church, R.V. 1990. Complex variables and applications. Fifth edition. Mc Graw Hill International Editions. Mathematics series. Singapur. 15-17 p.

- Cook, C.W. 1954. Common use of summer range by sheep and cattle. *Journal Range Management* (7): 10-13.
- Defosse, G.E. and M.B. Bertiller. 1991. Comparison of four methods of grassland productivity assessment based on *Festuca pallescens* phytomass data. *Journal of Range Management*. (44) 3: 199-203.
- Foltyn, I., I., Zednickova. 1992. Mathematical model of form optimization. *Zemelska ekonomika UVT12 (CSFR)*. Vol(38): 11-12 .
- Gastó, C. J. 1981. Dinámica de la descarga de la pastura y su arquitectura. (pp 81-106). En *Memorias de una reunión de trabajo celebrada en Cali, Colombia*.
- Gastó C., J. y E. A. Olivares. 1979. Análisis cuantitativo de la arquitectura de *Atriplex repanda* *Phil. Ciencia e Investigación Agraria* (6): 105-113.
- González, B.C., 1979. Función de descarga ecosistémica. Aplicación al proceso de cosecha de la pradera por el ganado. Tesis de licenciatura. Santiago, Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. 59 p.
- Hyer, J., J.N. Oltjen, M.L. Galyean. 1991. Development of a model to Predict forage intake by grazing cattle. *Journal of Animal Science*. (69)2: 827-835.
- Karnezos, T. P., N.M., Tainton and D.I., Bransby. 1988. A Mathematical model used to describe animal performance on Kikuyu and Coastcross II pastures. *Journal of Grassland Society of Southern Africa*. (5)1: 38 - 41.
- Márquez, C.M. 1991. Probabilidad y estadística para ciencias químicas-biológicas. Editorial Mc Graw Hill; México. 456-463 pp.
- Miller, I., J.E., Freund, R., Johnson. 1992. Probabilidad y estadística para ingeniería. IV edición. Ed. Prentice - Hall Hispano Americano; México. 352 pp.

- Moyeda, A., J. Gutiérrez, R. Nava, M., Mellado. 1979. Intensidad de pastoreo y producción de leche caprina en la zona árida del norte de Zacatecas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía Técnico Científica 5 (5): 328-393. Saltillo, Coahuila. México.
- Noy-Meir, I. 1975. Stability of grazing system. An application of predator-prey graphs. *Journal Ecology* (63): 459-481.
- Odum, E.P. 1971. *Ecología*. Tercera edición. Editorial Interamericana. México. 307 p.
- Olson, J. S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* (44):322-331.
- Range Tem Glossary Committee. 1974. A glossary of terms used in range management. Soc. Range Management, Denver.
- Sampedro, F. and D. Horacio. 1989. Desarrollo de un modelo matemático para la planificación del manejo y utilización de pasturas. Tesis de posgrado. Universidad Católica de Chile, Santiago, Facultad de Agronomía. 95 pp.
- Shlyachkova, A. A. 1990. Mathematical model for calculating the regimes of the use of pastures. *Rastitel'nye resursy (Russian Federation)* V. 26 (4): 473-480.
- Springer, C. H., R. Herlihy and I. R., Beggs. 1972a. Métodos avanzados y modelos. Serie de Matemáticas para la Dirección de Negocio. Centro Regional de Ayuda Técnica. México/Buenos Aires. 15 pp.
- Springer, C. H., R. Herlihy and I. R., Beggs. 1972 b. Matemáticas básicas. Serie de Matemáticas para la Dirección de Negocios. Centro Regional de Ayuda Técnica. México/Buenos Aires. 171-183 p.
- Stein, S.K. 1992. *Cálculo y Geometría analítica*. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. 69 pp. México.