

## UN MODELO DE SIMULACION DE LA PRODUCTIVIDAD ACTUAL Y POTENCIAL DE UN PASTIZAL DE LA DEPRESION DEL SALADO

T. M. Schlichter (1)

Recibido: 15/2/82

Aceptado: 19/4/82

### RESUMEN

Se presenta un modelo basado en un sistema de ecuaciones diferenciales que permite calcular la productividad de una comunidad de pastizales naturales. Se comprueba que mediante la solución de dicho modelo es posible evitar la subestimación en los cálculos de productividad, basada en diferencias positivas entre sucesivas cosechas de biomasa. Con este último método se obtuvo una productividad acumulada de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup>, mientras que con el modelo, utilizando los mismos datos, se obtiene 7.000 kg ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup>.

El modelo también permite calcular la productividad potencial de la comunidad en períodos críticos de estrés hídrico (verano), si se aumenta la densidad de especies altamente productivas. En algunos casos, el aumento de la densidad de una especie como *Paspalum dilatatum* a un 15% de la densidad total, podría aumentar a un 100% la productividad en el período considerado.

### A SIMULATION MODEL OF ACTUAL AND POTENTIAL PRODUCTIVITY OF A SALADO RIVER BASIN GRASSLAND

#### SUMMARY

A mathematical model of the productivity of a grassland community is presented. The numerical calculations are solved by a system of ordinary differential equations.

This model has the advantage that avoids the underestimation of the grassland productivity commonly done when it is calculated adding the positive differences produced between successive biomass harvests. This last method gave an estimation of the accumulated grassland productivity of 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. yr<sup>-1</sup>, and using the same data the model output was 7.000 kg ha<sup>-1</sup>. yr<sup>-1</sup>. When the model is operated under the assumption of an increase in the proportion of some species with high productivity during critical water-stress periods (summer), it can be considered to simulate the potential productivity of the grassland. During this period an increase of *Paspalum dilatatum* density up to 15% of the total green biomass, for instance, produced an increase of 100% in the total productivity as estimated from the model.

---

(1) Cátedra de Fisiología Vegetal y Fitogeografía - Departamento de Ecología - Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 - (1417) Buenos Aires, Argentina.

## INTRODUCCION

El conocimiento de la productividad de la vegetación es un paso previo indispensable para encarar un manejo racional del recurso.

En el caso de tratarse de pasturas o pastizales naturales cuyo destino final es la producción animal, es preciso complementar el conocimiento de la productividad total con el de la especie que lo componen, y el momento en que se producen los picos de cada componente específico.

El problema metodológico que surge para determinar la productividad es que dicho proceso ocurre simultáneamente con el de senescencia y descomposición de la broza. En consecuencia, si se realizan cosechas sucesivas de biomasa y se desea estimar la productividad del material verde, ya sea por especie o total, por diferencia de peso entre cosechas, se está subestimado dicho proceso, debido a que en el período entre cosechas una proporción del material verde pasó a ser material seco y una parte de éste a broza, la cual a su vez fue sometida, en parte, a procesos de descomposición.

Existen varios métodos para corregir los valores obtenidos a partir de diferencias entre cosechas (Singh *et al.*, 1975), pero ninguno puede obviar completamente la subestimación. Recientemente Sala *et al.* (1981) describieron factores de corrección con el objetivo de mejorar la estimación de la productividad, aplicada, en este caso, a un pastizal natural de la depresión del Salado, en el cual se estudió detalladamente un área clausurada al pastoreo vacuno durante 4 años.

Tanto este trabajo como el anteriormente citado se refieren a una comunidad descrita por León (1975), denominada *Piptochaetium montevidense*, *Ambrosia tenuifolia*, *Eclipta bellidioides* y *Mentha pulegium*.

Los datos de biomasa total y por especie en los que se basa este trabajo y la productividad total obtenida utilizando los factores de corrección mencionados, están descriptos en detalle por la Sala *et al.* (1978).

Existen antecedentes de modelos de simulación aplicados a pastizales naturales, que permiten evitar la subestimación de la productividad mencionada anteriormente (Ares, 1978; Bulla *et al.*, 1978). El modelo que se presenta tiene la misma estructura que los citados y al igual que ellos puede calcular la productividad en forma diaria, mejorando de esta manera la estimación de dicho proceso para el pastizal de la Depresión del Salado que se estudia.

La comunidad de pastizal considerada ha sido sometida durante mucho tiempo a pastoreo extensivo. Esta práctica favorece la selectividad del ganado por determinadas especies, lo cual puede provocar una disminución de la proporción de las mismas al cabo de un tiempo prolongado.

La preferencia por determinadas especies por parte del ganado vacuno en comunidades de la Depresión del Salado ha sido estudiada por Lemcoff *et al.* (1981) y por Cahupé y Fernandez Grecco (1978). Estos últimos autores señalan entre las especies preferidas a *Bothriochloa laguroides*, especie de alta capacidad productiva, pero de poca importancia, en cuanto a su proporción respecto al total de biomasa del pastizal, quizá como consecuencia de su consumo selectivo.

Con los datos obtenidos a campo de biomasa por especie, el modelo permite estimar el efecto del aumento en la proporción de algunas de las especies en la productividad total del pastizal. En el trabajo que se presenta, se ha simulado el aumento en la proporción de dos especies que producen, en un período crítico como el verano, en el que el pastizal considerado como un todo, está en pleno proceso de senescencia.

## MATERIALES Y METODOS

El esquema gráfico en forma de diagrama de flujo del modelo, se ilustra en la Figura 1. En dicha figura cada compartimento en forma de un cuadrado representa una variable de estado, dado que puede describir el

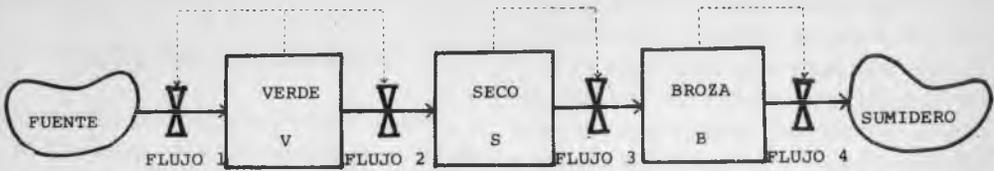


Figura 1: Diagrama de flujo del modelo. V = Biomasa de verde (kg ha<sup>-1</sup>); S = Biomasa de material seco en pie (kg ha<sup>-1</sup>); B = Biomasa de broza (kg ha<sup>-1</sup>). Fuente: dióxido de carbono; Sumidero: materia orgánica en el suelo.

estado del pastizal, en este caso en kg ha<sup>-1</sup>, en cualquier momento. Los tres componentes que se han elegido como variables de estado son: la fitomasa de verde, de seco y de broza. La fuente y el destino final, que no se cuantifican en el modelo, se representan como compartimentos de forma "arriñonada".

Las flechas que conectan a las variables de estado y a éstas con la fuente o el sumidero son los flujos, cuyas unidades son kg ha<sup>-1</sup>. día<sup>-1</sup>. Las flechas punteadas representan controles y retrocontroles que ejercen las variables de estado sobre los flujos. La descripción matemática del modelo representado en la Figura 1 consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias como el que se formula a continuación:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= a \cdot V - b \cdot V \\ \dot{S} &= b \cdot V - c \cdot S \\ \dot{B} &= c \cdot S - d \cdot B \end{aligned} \quad (1)$$

En este sistema de ecuaciones  $\dot{V}$ ,  $\dot{S}$  y  $\dot{B}$  representan las derivadas en función del tiempo de la biomasa total de los compartimentos verde (V), seco (S) y broza (B) respectivamente. Las letras a, b, c y d son los coeficientes de ajuste, variables en función del tiempo.

Es obvio que el término  $a \cdot V$  representa el flujo 1 de la Figura 1 (la productividad),  $b \cdot V$  el flujo 2,  $c \cdot S$  el flujo 3 y  $d \cdot B$  el flujo 4.

El sistema de ecuaciones diferenciales se simplificó en un sistema de ecuaciones de diferencia y se resolvió numéricamente por el método de Euler (rectangular). Se realizaron

varias iteraciones hasta hallar los coeficientes que permitieron obtener un buen ajuste entre los datos simulados y los valores de verde, de seco y de broza obtenidos en cada cosecha.

Para estimar los efectos del aumento en la proporción de dos forrajeras estivo-otoñales de muy alta productividad como *Paspalum dilatatum* y *Bothriochloa laguroides*, se plantearon ecuaciones diferenciales similares a las anteriores. La importancia de realizar este experimento numérico radica en que el pastizal en el verano está sometido generalmente a un estrés hídrico intenso (Walter, 1967; Soriano et al., 1977; Sala et al., 1981), siendo las especies mencionadas las únicas de valor forrajero que siguen produciendo. Por otro lado, *Paspalum dilatatum* realiza fotosíntesis por la vía de Hatch-Slack (C<sub>4</sub>) y muchas especies del género *Bothriochloa* utilizan la misma vía (Smith y Brown, 1973), lo cual les confiere una productividad relativa a su biomasa, mucho mayor que el resto del pastizal.

El único inconveniente para plantear las ecuaciones correctamente consistió en que no existían valores de biomasa seca y de broza por especie. Este hecho impedía el cálculo de senescencia, caída y descomposición de la materia orgánica para ambas especies, por lo que las ecuaciones se plantearon de la siguiente manera:

$$\dot{P} = a' \cdot P \quad (2)$$

$$\dot{Bt} = a'' \cdot Bt \quad (3)$$

En las ecuaciones 2 y 3  $\dot{P}$  y  $\dot{Bt}$  represen-

tan las derivadas en función del tiempo de la biomasa verde de *Paspalum dilatatum* (P) y *Bothriochloa laguroides* (Bt), siendo  $a'$  y  $a''$  los coeficientes variables en función del tiempo. En este caso también se comete una subestimación en la productividad de ambas especies ya que al no haber una "salida" de verde a seco, los coeficientes  $a$  y  $a''$  serán menores que si ésta existiera y por ende, los productos  $a'.P$  y  $a''.Bt$  también lo serán.

Los ajustes para ambas especies se llevaron a cabo para las cosechas realizadas el 13 de diciembre de 1974, el 29 de enero y el 11 de setiembre de 1975.

Una vez obtenidos los ajustes correspondientes se modificó para las respectivas fechas el coeficiente "a" del sistema de ecuaciones 1 en función de diferentes densidades de ambas especies.

Para modificar dicho coeficiente se halló el coeficiente "f" del resto del pastizal (excluidos *Paspalum dilatatum* o *Bothriochloa laguroides*) despejándolo de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{a' \cdot \% P + f \cdot \% RP}{100} \quad (4)$$

$$f = \frac{a \cdot 100 - a' \cdot \% P}{\% RP} \quad (5)$$

en las fórmulas (4) y (5) % representa el porcentaje de la biomasa verde de *Paspalum dilatatum* y %RP, el porcentaje de biomasa verde del resto del pastizal, ambos al inicio de un período de simulación. Una vez obtenido el coeficiente "f", se calculaba un nuevo "a" mediante la fórmula (4) según el porcentaje de *Paspalum dilatatum*, cuyo efecto se quería estudiar. En todos los casos la biomasa verde total inicial era la misma y las únicas que se modificaban eran las proporciones de *Paspalum dilatatum* (o *Bothriochloa laguroides* o ambas, según el caso) y del resto del pastizal.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se representa la dinámica de los compartimentos verde, seco y broza, simulados y medidos. Como se puede apreciar los ajustes son muy buenos para los tres casos.

En la Figura 3 se presentan las diferencias entre la productividad acumulada, calculada por diferencia de peso por especie entre

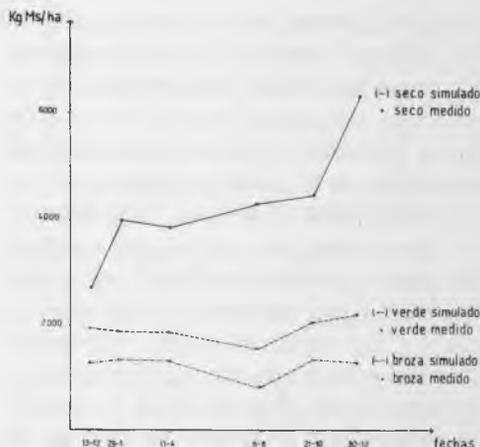


Figura 2: Comparación entre la simulación y los valores medidos en la dinámica de la fitomasa de material verde, seco y broza (todos en kg ha<sup>-1</sup>) --- Verde simulado, — Seco simulado, -.-.- Broza simulado. .. Valores medidos de verde, seco y broza.

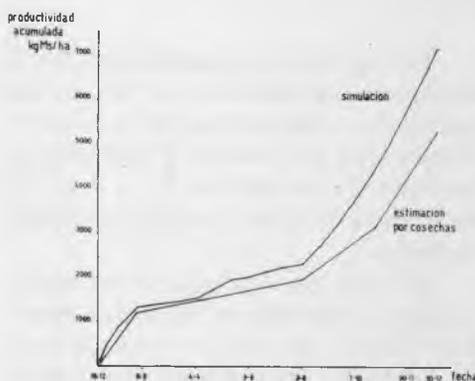


Figura 3: Resultados de la simulación y de los cálculos efectuados por Sala *et al.* (1978) en la productividad acumulada a lo largo de un ciclo anual.

cosechas sucesivas de acuerdo al método descrito por Sala *et al.* (1981), y la simulación. Como se puede observar, los resultados del modelo, al final del período considerado, superan a los calculados anteriormente en casi 2000 kg/ha<sup>-1</sup> (40%). Las mayores diferencias entre los valores simulados y los calculados se manifiestan en el pico de productividad del pastizal. Este hecho se explica si se considera que los procesos suceden más rápidamente en dicho período (ver Sala *et al.*, 1978), por lo cual una diferencia temporal relativamente grande entre dos cosechas sucesivas puede aumentar la subestimación de la productividad cuando se usan los métodos convencionales.

En el Cuadro 1 se pueden observar los efectos de un aumento de la proporción de biomasa verde de *Paspalum dilatatum* y *Bothriochloa laguroides* sobre la productividad total del pastizal.

Cabe señalar que a campo, en la cosecha del 13 de diciembre de 1974, no se encontró

*Paspalum dilatatum* a pesar de que visualmente se podía detectar su existencia. La explicación radica en que el muestreo, realizado al azar, debería haber sido mucho más intenso, a fin de obtener valores confiables para dicha especie, dada su poca densidad y distribución contagiosa. Un muestreo de ese tipo habría sido prácticamente imposible con los recursos disponibles. Para superar este inconveniente se considera en la simulación que en esa fecha había una proporción de *P. dilatatum* de 0,05% del total de la biomasa verde del pastizal. En cambio, para el 29 de enero de 1975 la proporción de *P. dilatatum* cosechado correspondió al 1,2% del total de biomasa verde. Ambos datos, el de 0,05% para el 13 de diciembre de 1974 y 1,2% para el 29 de enero de 1975 son considerados como "situación original" en el Cuadro 1. En cambio, para *B. laguroides* las situaciones originales son de 0,9% para el 13 de diciembre de 1974 y 4,7% para el 29 de enero 1975.

CUADRO 1: Productividad acumulada para dos períodos e incrementos porcentuales en la productividad acumulada respecto a la situación original en función de distintas proporciones de biomasa verde de *Paspalum dilatatum* (A) o de una mezcla de *Paspalum dilatatum* y *Bothriochloa laguroides* (B).

(A)		13/12 - 29/1		30/1 - 11/4	
% <i>Paspalum dilatatum</i>	Productividad acumulada	%	Productividad acumulada	%	
Situación original	1303	-	247	-	
2	1444	10			
5	1663	27,6	315	27,5	
10	2070	58,8	410	66,5	
15	2531	94,2	493	99,6	
20			614	148	

(B)		13/12 - 29/1		30/1 - 11/4	
% de <i>P. dilatatum</i> y <i>B. laguroides</i>	Productividad acumulada	%	Productividad acumulada	%	
Situación original	1303	-	247	-	
5 % <i>P. dilatatum</i>	1785	37	321	30	
5 % <i>B. laguroides</i>					
5 % <i>P. dilatatum</i>	1940	48,8	371	50,2	
10 % <i>B. laguroides</i>					

Los recuadros vacíos en el Cuadro 1 significan que no se estimó necesario realizar corridas para esa proporción de la respectiva especie por considerarla poco realista, o, por representar un incremento insignificante respecto a la situación original.

Como se puede observar el aumento de la proporción de *P. dilatatum* puede provocar aumentos espectaculares en la productividad total del pastizal. En el caso de que dichas proporciones lleguen al 15% la productividad se incrementará en casi un 100% en ambos períodos, respecto a la situación original.

La productividad también aumenta, aunque en menor medida, si se consideran proporciones equivalentes a las anteriores de una mezcla de *P. dilatatum* y *B. laguroides*. Esto se debe a que, si bien *B. Laguroides* presenta una productividad relativa (productividad relativa a su biomasa) mayor que el resto del pastizal, no alcanza a la de *P. dilatatum*.

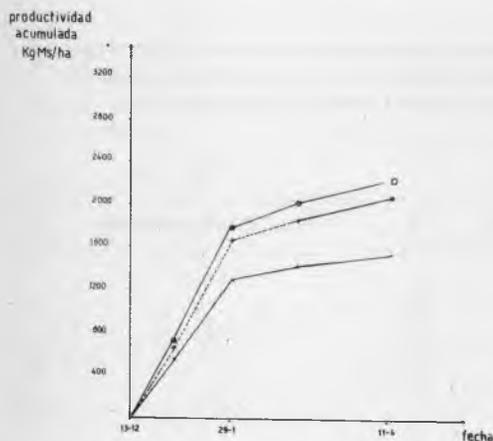


Figura 4: Marcha de la productividad acumulada (simulación) en función de tres densidades distintas de *Paspalum dilatatum* y *Bothriochloa laguroides*. — Situación original: el 13 de diciembre de 1974 parte del 0,05 de *P. dilatatum* y 0,91% de *B. laguroides* y llega al 29 de enero con 1,2% de *P. dilatatum* y 4,7% de *B. laguroides*. +---+ parte con 2% de *P. dilatatum* y 8% de *B. laguroides* y llega al 29 de enero con 5,5% de *P. dilatatum* y 8,5% de *B. laguroides*. —●— parte de 5% de *P. dilatatum* y 5% de *B. laguroides* y llega al 29 de enero con 14% de *P. dilatatum* y 5% de *B. laguroides*.

En la Figura 4 se representa la marcha de las productividades acumuladas para el período comprendido entre el 13 de diciembre de 1974 y el 11 de abril de 1975. En este caso se considera la situación original y dos experimentos numéricos con diferentes mezclas de *P. dilatatum* y *B. laguroides*; los resultados de la simulación del primer período fueron utilizados como datos para el segundo período.

Es destacable el hecho que en las dos mezclas consideradas, *P. dilatatum* inicia el segundo período con una proporción casi tres veces mayor que la inicial. En el caso de *B. laguroides* su biomasa verde también aumenta aunque no lo hace en la misma magnitud que *P. dilatatum*. Este hecho resalta nuevamente la enorme diferencia de productividad entre *P. dilatatum* y el resto del pastizal.

## CONCLUSIONES

La simulación de procesos dinámicos y continuos como la productividad puede evitar la subestimación de dichos procesos, que generalmente se comete y, de esta manera, contribuir a planificar mejor el manejo de un pastizal.

El pastizal natural puede tener una productividad mucho mayor de la que actualmente posee, si se reemplazan las normas tradicionales de manejo, pastoreo extensivo y selectivo, por otras más racionales que permitan incrementar y mantener una proporción alta de especies preferidas por el ganado y de alta productividad.

En este sentido los resultados del modelo permiten orientar investigaciones futuras que podrían hacerse sobre el pastizal. Con el conocimiento de la productividad y la fenología de algunas especies "claves", se deberían ensayar distintas épocas de descanso, con el fin de aumentar su proporción. Otro método podría ser el de interseembra de dichas especies. En todo caso se debería corroborar en la práctica las estimaciones realizadas por el modelo.

Es necesario aclarar, que el comportamiento de las especies puede variar substancialmente si se las somete a pastoreo. Inclusive, según la intensidad del pastoreo las tasas de crecimiento relativo de los componentes específicos del pastizal pueden ser mayores o menores que la de los mismos componentes en situación de clausura al pastoreo (Hilbert *et al.*, 1981). Según estos autores, la respuesta en la producción de las especies, a cambios en las tasas de crecimiento relativo es también variable.

Las consideraciones anteriores relativiza los resultados del modelo que, por otro lado, no pretende dar la medida exacta de los cambios en la productividad del pastizal en función de las variaciones en la proporción de algunos de sus componentes. Solo indica la tendencia y los órdenes de magnitud de la respuesta a dichos cambios.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Ares, J., 1978. Un modelo de la dinámica de la biomasa aérea de las tres especies dominantes en un pastizal patagónico. *Deserta* 5: 45-56.
- 2) Bulla, L.; J. Pacheco and A. Breymeyer, 1978. A simple model for the measurement of energy flux in savannas. *INTECOL*, Jerusalem, 10-16 sept., 1970, Abstract, Vol. 4, pag. 63.
- 3) Cahuepé, M. A. y R. Fernández Grecco, 1981. Dieta de vacunos en pastoreo sobre una pastizal natural de la Depresión del Salado. *Producción Animal* (8), p. 85-95.
- 4) Hilbert, D. W.; D. M. Swift; J. K. Detling and M. I. Dyer, 1981. Relative growth rates and the grazing optimization hypothesis. *Oecologia*, 51: 14-18.
- 5) Lemcoff, J. H.; O. E. Sala; V. A. Deregibus; R. J. C. León y T. M. Schlichter, 1978. Preferencia de los vacunos por los distintos componentes de un pastizal de la depresión del Salado. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata (Argentina). *Monografías No 8*, 59-70.
- 6) León, R. J. C., 1975. Las comunidades herbáceas de la región Castelli-Pila. Comisión de Invest. Cient., La Plata (Argentina). *Monografías No 5*, 73-107.
- 7) Sala, O. E.; V. A. Deregibus; T. M. Schlichter y H. A. Alippe, 1978. Productividad primaria neta aérea de un pastizal de la depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). Comisión de Inv. Cient. La Plata, Argentina. *Monografías No 8*, 5-38.
- 8) Sala, O. E.; V. A. Deregibus; T. M. Schlichter and H. A. Alippe, 1981. Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *Journal of Range Management* 34 (1): 48-51.
- 9) Sala, O. E.; A. Soriano y S. Perelman, 1981. Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal de la Depresión del Salado. *Rev. Facultad de Agronomía*, 2 (1): 1-10.
- 10) Singh, J. S.; W. K. Lauenroth and R. K. Steinhorst, 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *The Botanical Review*, 41 (2): 181-232.
- 11) Smith, B. C. and W. V. Brown, 1973. The Kranz Syndrom in the gramineal as indicated by carbon isotopic ratios. *Am. J. Bot.* 60: 505-513.
- 12) Soriano, A.; H. A. Alippe; O. E. Sala, T. Schlichter, C. P. Movia, R. J. C. León, R. Trabucco y V. A. Deregibus, 1976. Ecología del Pastizal de coiron amargo (*Stipa* spp) del Sudoeste de Chubut. *Acad. Nac. de Agron. y Vet.* Tomo XXX, No 11.
- 13) Walter, H., 1967. Das Pampa problem in vergleichend ökologischer Bet rachtung und seine Lösung *Erd Kund.* 21: 181-203.