

Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas

RODOLFO GOLLUSCIO ✉

IFEVA, CONICET, Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía, Univ. de Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN. Esta ayuda didáctica pretende ilustrar acerca del concepto de receptividad ganadera y las dificultades que presenta su cálculo. En el marco del modelo logístico de crecimiento poblacional, la receptividad es la densidad máxima de individuos de una población que puede vivir en un hábitat determinado. Sin embargo, ese modelo supone que (1) el ambiente es invariable en el tiempo y en el espacio, (2) todos los individuos de la población usan los recursos con la misma eficiencia, y (3) la población no tiene competidores, parásitos o depredadores. Dado que esos supuestos no se cumplen en los sistemas ganaderos, y que la intervención del hombre en los ecosistemas modifica su receptividad, el concepto de receptividad ganadera difiere del concepto original de receptividad. Así, en términos agronómicos, la receptividad ganadera ha sido definida como "la densidad máxima de animales que puede mantenerse en un área determinada, en un cierto nivel de producción, sin deteriorar el recurso." El marco conceptual más adecuado para entender los determinantes de la receptividad ganadera es el modelo del flujo de energía. De él se desprende que, para lograr un uso sustentable de los ecosistemas pastoriles, los herbívoros deberían consumir sólo una proporción de la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA), conocida como Índice de Cosecha. Hasta el momento no se ha acuñado una metodología de cálculo de aceptación universal para estimar la receptividad debido a: (1) la ausencia de modelos confiables que permitan predecir el Índice de Cosecha en sitios con distintas condiciones ambientales y tipos de vegetación, en distintos años y en distintos momentos del año, (2) la multiplicidad de factores que determinan la receptividad, incluyendo tanto los factores ambientales vinculados a la disponibilidad de forraje como los factores ambientales extraforrajeros (e.g., depredadores) y los factores de manejo (e.g., método de pastoreo) y (3) las interacciones entre esos factores y las decisiones del productor, que reflejan sus objetivos empresariales y los niveles de riesgo que asume. En consecuencia, al definir la receptividad ganadera de un ecosistema dado se deben observar varias precauciones: una selección cuidadosa de los mejores métodos para cada objetivo particular y región, una actitud conservadora, un monitoreo continuo del estado de la vegetación y de la producción individual de los animales en relación a los objetivos productivos (ningún cálculo que afecte negativamente alguna de esas variables puede considerarse sustentable), y una actitud flexible para modificar la densidad ganadera bajo condiciones climáticas particulares, de manera de promover los procesos regenerativos o prevenir transiciones a estados más degradados.

[Palabras clave: uso sustentable, flujo de energía, dinámica de poblaciones, pastoreo, índice de cosecha]

ABSTRACT. Carrying capacity of animal production systems: theoretical framework and practical applications: This article is conceived as a didactic aid to use in graduate and post-graduate courses of Ecology and Grassland Science. It aims to illustrate the concept of carrying capacity when applied to animal production systems, and also the difficulties involved in its calculus. The concept of carrying capacity derives from the classical logistic model of population growth, and is defined as the maximum density a population can attain in one habitat. However, that model assumes that (1) the environment is invariable in time and space, (2) all the individuals of the

✉ IFEVA, CONICET, Cátedra de Forrajicultura,
Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos
Aires, Argentina.
gollusci@agro.uba.ar

Recibido: 20 de mayo de 2009; Fin de arbitraje: 7 de septiembre
de 2009; Revisión recibida: 1 de octubre de 2009; Aceptado: 14
de octubre de 2009

population use the resources with the same efficiency, and (3) the population has not competitors, predators or parasites. Taking into account that these three assumptions are not fulfilled in animal production systems, and that human intervention alters ecosystem carrying capacity, the concept of carrying capacity of animal production systems differs from that of the logistic model. The carrying capacity of animal production systems has been defined as "the maximum animal density that can be maintained in one area under a certain production level without deteriorate the resource". The most adequate conceptual framework to understand the factors determining the carrying capacity of animal production systems is the model of energy flux. It suggests that domestic herbivores may consume only a proportion of Aboveground Net Primary Production, known as Harvest Index, to make a sustainable use of rangeland ecosystems. There not exist, until now, an universally accepted methodology to estimate the carrying capacity of animal production systems because of: (1) the lack of reliable models to predict Harvest Index in sites differing in environmental conditions or vegetation structure, or in different years or seasons, (2) the vast array of factors determining carrying capacity, including those directly linked to forage availability (as precipitation, fertility, soil texture, etc.) as good as those environmental factors unlinked to forage availability (as water availability, climatic risks, predators, etc.) and those factors linked to range management (as grazing system), and (3) the interactions among these factors and the producer decisions, which reflect the objectives the producer fix to its business and the levels of economic risk he assumes. As a consequence, when defining the carrying capacity of an animal production system, several precautions must be taken: a careful selection of the best method for each objective and region, a conservative attitude, a continuous monitoring of the status of vegetation and individual animal production parameters (no calculus negatively affecting any of those parameters can be considered as sustainable), and a flexible attitude allowing to modify the stocking density in order to promote regenerative processes or prevent transitions to more degraded states.

[Keywords: sustainable use, energy flux, population dynamics, grazing, harvest index]

PRÓLOGO

Este artículo pretende ilustrar acerca del concepto de receptividad ganadera y las dificultades que presenta su cálculo, para lo cual se describe un marco conceptual en el que se pueden ubicar los distintos métodos de estimación de receptividad existentes y se discuten las limitaciones inherentes a cada uno de ellos. Por último, se detallan algunos de los métodos de estimación desarrollados para ciertas áreas específicas del país. El trabajo fue concebido como una ayuda didáctica para cursos de Ecología aplicada (relaciones entre la dinámica de poblaciones y el flujo de energía) o de Forrajicultura (receptividad ganadera). Para manejar los distintos niveles de complejidad inherentes a los cursos de grado o de posgrado, el artículo consta de un texto principal de mínima complejidad que remite a cajas en las que se desarrollan o discuten algunos aspectos más complicados del tema. En estas últimas, además, se subrayan algunas contradicciones y "huecos" en el conocimiento.

Ayuda didáctica

RECEPTIVIDAD: CONCEPTO BIOLÓGICO Y CONCEPTO AGRONÓMICO

El concepto de receptividad (o capacidad de carga) deriva del modelo logístico de crecimiento poblacional (Verhulst 1838; Begon et al. 1988). Representa la densidad máxima de individuos de una población que puede vivir en un hábitat determinado (K , en el modelo logístico). Algunos de los supuestos subyacentes a ese modelo son que (1) el ambiente es invariable en el tiempo y en el espacio, (2) todos los individuos de la población usan los recursos con la misma eficiencia y (3) la población no tiene competidores, parásitos o depredadores (Figura 1).

En el marco del modelo logístico, la capacidad de carga de un hábitat para una población dada es una propiedad intrínseca del ambiente y está determinada por la disponibilidad de recursos en ese ambiente. En consecuencia, según ese modelo el principal factor que regula el crecimiento de la población es la competencia entre sus propios individuos por los

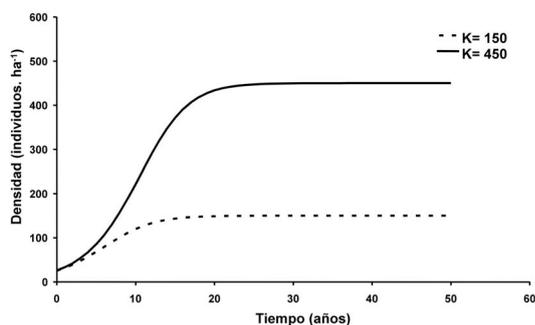


Figura 1. Densidad de una población hipotética que crece según el modelo logístico con una tasa intrínseca de crecimiento de 0.3 individuos.individuo⁻¹.año⁻¹ en dos hábitats de diferente capacidad de carga (K = 150 y 450 individuos.ha⁻¹).

Figure 1. Density of one population growing according to the logistic model with an intrinsic growth rate of 0.3 individuals, individual⁻¹.year⁻¹ in two habitats with different carrying capacity (K = 150 y 450 individuals. ha⁻¹).

recursos del ambiente. A medida que aumenta la densidad de la población la competencia se incrementa y la tasa de crecimiento "per capita" disminuye de manera lineal (Caja 1).

Sin embargo, al extrapolar ese concepto teórico y absoluto a los sistemas reales de producción, pronto se advierte que para un mismo sitio (e.g., un establecimiento ganadero) la receptividad puede cambiar marcadamente tanto en el tiempo como en el espacio. ¿Cuáles son las causas de esa variabilidad? Desde un punto de vista meramente biológico, la receptividad de un sistema dado para una población cambia a medida que varían (a) la disponibilidad recursos, ligada principalmente a la disponibilidad de agua, ya sea en el espacio (entre micrositios o posiciones topográficas) o en el tiempo (entre meses dentro de un mismo año o entre años), (b) la eficiencia individual en el uso de los recursos (e.g., asociada a la edad y/o al sexo de los individuos), (c) la densidad de competidores o depredadores o parásitos y sus respectivas habilidades competitivas/depredadoras/parasitarias respecto a la población de interés.

Desde el punto de vista del uso humano de los ecosistemas, el concepto de receptividad se complica aún más porque requiere la

consideración de los objetivos específicos del hombre y de las manipulaciones que efectúa en el ecosistema. Así, se ha definido a la receptividad ganadera como "la densidad óptima de animales que puede mantenerse en un área determinada para permitir alcanzar determinados objetivos de producción, teniendo en cuenta las opciones de manejo disponibles" (Scarnecchia 1990). Entonces, desde el punto de vista específico del uso ganadero de los ecosistemas, la receptividad no será igual en un establecimiento con buena disponibilidad de agua de bebida y un buen manejo sanitario que en uno deficiente en esos aspectos. Asimismo, la receptividad no será igual para un planteo que busca maximizar la producción por hectárea, como puede ser un planteo de cría, que para uno que busca maximizar la producción individual, como pueden ser planteos de tambo o de invernada (engorde) corta. Por ejemplo, las vacas de tambo deberán descartar muchas más especies de inferior calidad forrajera que las de cría y, como consecuencia, la receptividad de un mismo recurso será menor en el primer caso que en el segundo, aun cuando se expresara la densidad de animales en términos energéticos y no en cabezas. La diferencia en receptividad entre distintos sistemas de producción obedece, en primer lugar, a que los requerimientos de los animales y los niveles de producción individual considerados aceptables son distintos para los diferentes objetivos de producción. En segundo lugar, la energía metabólica disponible por unidad de biomasa es diferente para las distintas especies que componen un recurso forrajero. En tercer lugar, el consumo individual diario tiene restricciones impuestas por la fisiología digestiva del animal en cuestión: los animales raramente pueden consumir más materia seca que el 3% de su peso vivo por día. Como consecuencia, para cubrir sus elevados requerimientos energéticos sin consumir más que el máximo diario de 3% de su peso vivo, las vacas de tambo se verán obligadas a elegir sólo aquellas especies de concentración energética alta, mientras que las de cría podrán consumir un espectro mucho mayor de especies.

La densidad de animales que el Hombre le asigna a un recurso forrajero (carga animal) introduce otro elemento que complica el concepto de receptividad ganadera. Ambas variables no deben ser confundidas, porque

-en realidad- interactúan y se determinan mutuamente. Por un lado, la evaluación correcta de la receptividad es la garantía de que las cargas animales a asignar en el futuro sean sustentables. Por otro lado, el pastoreo con cargas animales inadecuadas puede provocar cambios drásticos en las comunidades vegetales y en los suelos, que reducen la receptividad ganadera de los ecosistemas. Así, en términos agronómicos, la receptividad ha sido definida específicamente como "la densidad máxima de animales que puede ser mantenida en un área determinada en un cierto nivel de producción sin deteriorar el recurso" (Holechek et al. 1989). En este marco, la receptividad ganadera para una especie animal en un hábitat determinado deja de ser una propiedad intrínseca de ese ambiente, como lo era en el modelo logístico, para ser una propiedad intrínseca del sistema de producción asignado por el hombre a ese ambiente.

Pese a su importancia, no existen técnicas universalmente aceptadas y confiables para estimar la receptividad (Scarnecchia 1990). Es probable que esa carencia obedezca a la conjunción de diversas causas. (1) A lo largo de su experiencia, los productores acuñaron una noción intuitiva de la receptividad de cada potrero mediante el método de "prueba y error": asignan a cada potrero la cantidad de animales que luego de varios años demostró ser capaz de mantener niveles de producción que resultan aceptables en el marco de sus objetivos particulares. (2) La disponibilidad de forraje, asociada a la PPNA, resulta muy variable tanto en el espacio como en el tiempo (Puelo et al. 2004). (3) Los métodos de evaluación existentes por lo general se adecuan a las características estructurales de las comunidades vegetales para las cuales fueron acuñados, pero se encuentran dificultades operativas cuando se los quiere utilizar en otras (Golluscio et al. 2009).

MARCO CONCEPTUAL PARA EL CÁLCULO DE LA RECEPTIVIDAD GANADERA

El marco conceptual al cual se asocian -en forma explícita o implícita- prácticamente todos

los métodos de estimación de receptividad es el modelo del flujo de la energía en los ecosistemas (Odum 1972). Este modelo establece que la energía disponible para los herbívoros es la que está almacenada en los productores primarios, es decir las plantas. Dicha energía es la que está presente en las plantas en un momento dado, más la que fijan en forma de nuevos hidratos de carbono a través de la Fotosíntesis Neta. Pasando del nivel de organización de planta al de ecosistema, este último flujo se conoce como Productividad Primaria Neta (PPN). En un sitio dado, y en una escala de tiempo corta, cuanto mayor sea la carga animal, mayor será la proporción de la PPN que es consumida por los herbívoros. Por su parte, al comparar distintos sitios, a igualdad de PPN y carga, cuanto mayor sea la accesibilidad y el valor nutritivo del forraje, determinados por cambios en el tipo de vegetación, mayor será el Consumo de los herbívoros. A su vez, cuanto mayor sea la digestibilidad del forraje consumido, mayor será la proporción asimilada. Cuanto menores sean las pérdidas por respiración (cuya reducción puede lograrse mediante diversos subsidios de energía, como la provisión de agua, sombra, caminos, tratamientos sanitarios, etc.), mayor será la proporción del forraje asimilado que termina formando parte de la biomasa animal (Producción Secundaria Neta, PSN). Por último, cuanto menor sea la incidencia de parásitos y depredadores, mayor será la proporción de la PSN que se traduce en un rédito económico para el productor, es decir la producción ganadera propiamente dicha (Figura 2).

¿Qué proporción de la PPN se puede consumir sin deteriorar el sistema? En un primer nivel de análisis, el problema puede comprenderse mejor a través de las analogías entre la biomasa vegetal y el capital depositado en una cuenta bancaria, y entre la PPN y los intereses generados por dicho capital. Si un individuo extrae anualmente todos los intereses producidos por su cuenta bancaria, el capital depositado en ella -y su capacidad de producir renta- se mantendrán intactos. Si extrae más que los intereses producidos, el capital disminuirá y si extrae menos, aumentará. Del mismo modo, en un cierto período los animales pueden consumir toda la PPN de ese período e incluso parte de la energía

almacenada en la biomasa vegetal en períodos anteriores. Sin embargo, si esa situación se prolongase en el tiempo conduciría a la desaparición de la componente vegetal (se perdería el “capital vegetal”) y, posterior y consecuentemente, desaparecería también la componente animal. Refinando el análisis, los herbívoros no sólo no deberían consumir más que la PPN, sino que deberían limitarse a consumir sólo una porción de ella, ya que si la consumieran toda, el sustrato disponible para la actividad de los descomponedores quedaría restringido al proveniente de las deyecciones y muerte de los animales. Esto afectaría severamente los ciclos de los nutrientes y, en el largo plazo, disminuiría la PPN (Figura 2).

En un nivel de detalle mayor, para dilucidar qué proporción de la PPN se puede consumir en forma sustentable se debe tener en cuenta que la PPN tiene un componente aéreo (PPNA) y otro subterráneo (PPNS). En general, los herbívoros domésticos sólo tienen acceso a la PPNA, mientras que la PPNS es la fuente de energía para diversos herbívoros silvestres subterráneos y, luego de muerte, también es la fuente de energía para los microorganismos involucrados en la

descomposición. Como las porciones aéreas de las plantas son esencialmente autótrofas pero las subterráneas son heterótrofas, el mantenimiento de niveles sustentables de PPNS depende de forma marcada del mantenimiento de niveles sustentables de PPNA. Por último, los herbívoros domésticos tienen serias restricciones estructurales para consumir el total de la PPNA, ya que una porción variable de la biomasa aérea es inaccesible o no palatable. Por lo expuesto, generalmente se acepta que la PPNA acumulada a lo largo del año es la que establece el límite máximo de la receptividad promedio anual de un sitio dado (Sala & Austin 2000), y que los herbívoros domésticos deberían consumir sólo una proporción de ella para hacer un uso sustentable del ecosistema. En cambio, es más difícil encontrar consenso acerca de cuál es la proporción de esa PPNA anual que los herbívoros pueden consumir (Índice de Cosecha, IC) sin provocar daños al ecosistema.

Algunas evidencias sugieren que el IC aumentaría a medida que aumenta la PPNA. En una recopilación de información de sistemas ganaderos argentinos (Ministerio de Economía 1974) y uruguayos (Ministerio de Agricultura

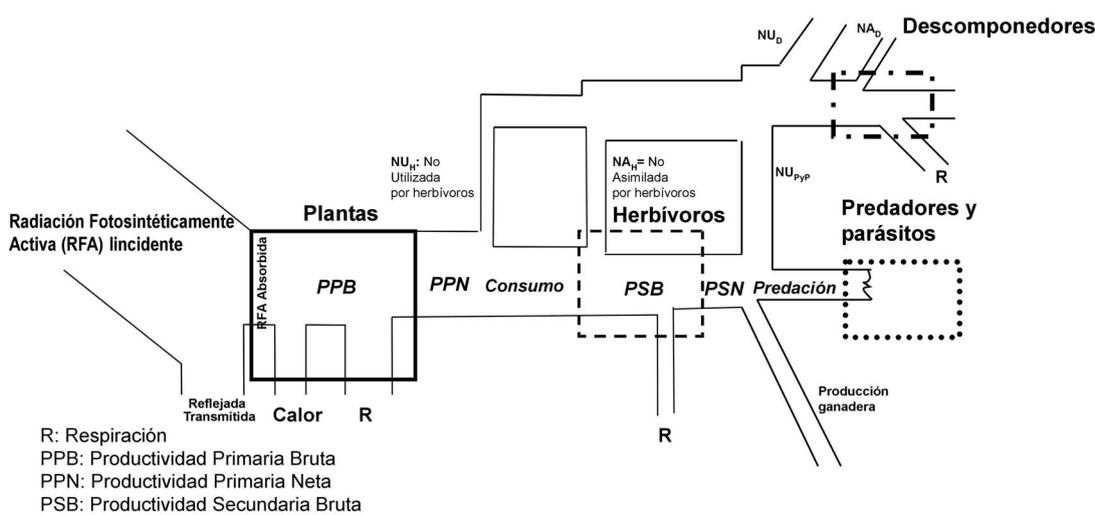


Figura 2. Fragmento del modelo del flujo de la energía en los ecosistemas, que incluye todos los flujos relevantes para los productores primarios (plantas) y los consumidores primarios (herbívoros). Elaboración propia a partir de Odum (1972) y Sala & Austin (2000).

Figure 2. Fragment of the energy flux model, including all the fluxes related to the primary producers (plants) and primary consumers (herbivores). Adapted from Odum (1972) and Sala & Austin (2000).

y Pesca 1980) ubicados en un amplio gradiente ambiental, Oesterheld et al. (1992) encontraron una correlación positiva entre la PPNA y la biomasa de herbívoros, con ambas variables expresadas en unidades energéticas y en escala logarítmica. Asimismo, demostraron que, ante una misma PPNA, los sitios poblados por herbívoros silvestres tienen menos biomasa de herbívoros que los poblados por herbívoros domésticos. Además, la diferencia entre ambas biomásas fue de un orden de magnitud en todo el rango de PPNA explorado, es decir que en cada nivel de PPNA la biomasa de herbívoros silvestres fue 1/10 de la de herbívoros domésticos. Ese hallazgo ha sido la primera cuantificación del efecto de los subsidios extraforrajeros aportados por el hombre sobre la biomasa de herbívoros: sombreado, aguadas, tratamientos sanitarios, mejoramiento genético, caminos, etc. (Figura 3).

A partir de esa información, Golluscio et al. (1998) calcularon cómo variaba el Índice de Cosecha en el amplio gradiente de PPNA explorado por Oesterheld et al. (1992). A tal efecto expresaron la PPNA y la biomasa de herbívoros en kg de materia seca y en kg vivos, respectivamente, y luego calcularon el consumo anual de biomasa vegetal suponiendo que los herbívoros consumen diariamente una cantidad de materia seca vegetal (MS) equivalente a 3% de su peso vivo. Esa aproximación sugirió que el Índice de Cosecha aumenta a medida que aumenta la PPNA, lo cual explica que, a medida que aumenta la PPNA, la biomasa de herbívoros aumenta más que la PPNA. Sin embargo, la tasa de aumento del IC respecto a la PPNA disminuye a medida que aumenta la PPNA (Figura 4).

La información presentada sugiere que la receptividad ganadera de un sitio determinado podría calcularse de manera sencilla como el producto entre la PPNA y el Índice de Cosecha considerado como sustentable, producto equivalente a la cantidad de forraje disponible o consumible, dividido por el consumo individual anual (Ecuaciones 1, 2 y 3). Una aproximación muy difundida consiste en dividir la PPNA por una Asignación de Forraje, que representa los kg de materia seca ofrecidos diariamente a cada animal (Ecuación 4). Dicha Asignación de Forraje aumenta a medida que

se requiere un pastoreo más selectivo, ya sea porque la calidad global de la vegetación es muy pobre (e.g., estepas áridas) o porque el sistema de producción requiere altos niveles de producción individual (e.g., tambos). En realidad, la Asignación de Forraje no es otra cosa que el cociente entre el Consumo Individual Anual y el Índice de Cosecha (Ecuación 5).

$$R = FD/CIA \quad (1)$$

$$D = PPNA.IC \quad (2)$$

$$R = PPNA.IC/CIA \quad (3)$$

$$R = PPNA/AF \quad (4)$$

$$AF = CIA/IC \quad (5)$$

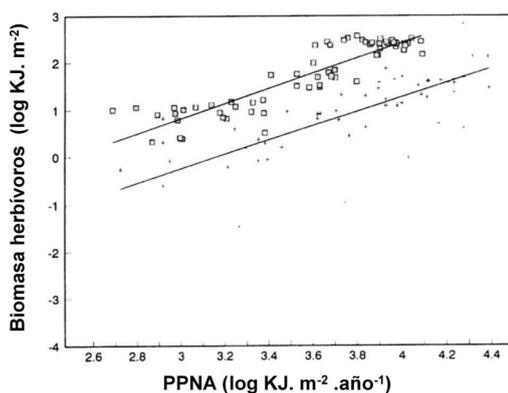


Figura 3. Relación entre la biomasa de herbívoros y la PPNA expresadas en unidades energéticas y escala logarítmica y medidas en 67 Departamentos de la Argentina y Uruguay dedicados a la ganadería (cuadrados) y en 51 sitios pastoreados por herbívoros silvestres en todo el mundo (cruces, datos originales de McNaughton et al. 1989). Se excluyeron los Departamentos donde el suministro de grano, silo o heno fuera una práctica difundida. Fuente: Oesterheld et al. (1992).

Figure 3. Relationship between herbivore biomass and Aboveground Net Primary Production, both variables expressed in energy units and log-log scale. Data from 67 political departments from Argentina and Uruguay devoted to commercial animal production (squares) and 51 sites grazed by wild herbivores all around the world (crosses, data from McNaughton et al. 1989). Departments where grain, silo and/or hay were used to feed animals were excluded. Source: Oesterheld et al. (1992).

Donde:

R = Receptividad (cabezas.ha⁻¹)

FD = Forraje Disponible (kg MS.ha⁻¹.año⁻¹)

CIA = Consumo individual anual (kg MS consumidos.cabezas⁻¹.año⁻¹)

PPNA = Productividad Primaria Neta Aérea (kg MS.ha⁻¹.año⁻¹)

IC = Índice de Cosecha (kg consumidos.kg producidos⁻¹)

AF = Asignación de Forraje (kg MS ofrecidos.cabezas⁻¹.año⁻¹)

Para calcular la Receptividad bastaría entonces con (a) estimar la PPNA, ya sea a partir de cortes de biomasa (Sala & Austin 2000), de las precipitaciones medias anuales (Sala et al. 1988, ver función en leyenda de Figura 4) o de diferentes aproximaciones basadas sobre información satelital (Piñeiro et al. 2006); (b)

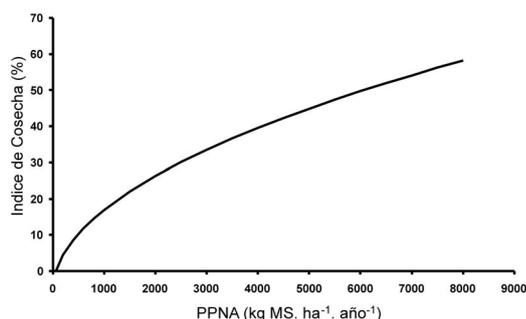


Figura 4. Índice de Cosecha (IC, Consumo de los herbívoros domésticos, en porcentaje de la PPNA) en función de la PPNA: $IC (\%) = -5.71 + 0.7154 \times (PPNA \text{ (kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}))^{0.5}$. Curva y ecuación construidas a partir de Oesterheld et al. (1992), quienes estimaron la PPNA sobre la base de la precipitación media anual con el modelo espacial de Sala et al. (1988): $PPNA \text{ [g MS.m}^{-2}.\text{año}^{-1}] = -36 + 0.6 \times \text{precipitación [mm]}$. Fuente: Golluscio et al. (1998).

Figure 4. Harvest Index (HI, Consumption of domestic herbivores, as percent of Aboveground Net Primary Production; ANPP) as a function of ANPP: $HI (\%) = -5.71 + 0.7154 \times (ANPP \text{ (kg DM ha}^{-1}.\text{year}^{-1}))^{0.5}$. Curve and equation constructed from Oesterheld et al. (1992), who estimated ANPP from mean annual precipitation (MAP) using the spatial model of Sala et al. (1988): $ANPP \text{ [g DM.m}^{-2}.\text{year}^{-1}] = -36 + 0.6 \times \text{MAP [mm]}$. Source: Golluscio et al. (1998).

calcular el IC que se puede considerar sustentable, ya sea a partir de mediciones de consumo "in situ" (Vecchio et al. 2008) o a partir de la PPNA, por ejemplo utilizando la función representada en la Figura 4; y (c) asignar a los animales un nivel de consumo individual anual acorde con los objetivos ganaderos del productor. Esa aproximación constituye una sobresimplificación del problema, que puede ser útil como primera aproximación al cálculo de la receptividad ganadera promedio para un sitio determinado o para realizar comparaciones regionales. Sin embargo, presenta varias limitaciones a la hora de hacer comparaciones entre potreros de un mismo establecimiento (dada la heterogeneidad interna de los recursos forrajeros de cada uno), entre años para un mismo potrero, o entre épocas del año para un año y potrero dados.

LIMITACIONES DEL CÁLCULO DE LA RECEPTIVIDAD

En primer lugar, si bien el patrón de incremento del IC a medida que aumenta la PPNA tiene un fundamento biológico sólido, su extrapolación debe realizarse con extrema prudencia. Por ejemplo, el uso del modelo presentado en la Figura 4 para estimar valores de IC sustentables, exige aceptar que los sistemas ganaderos incluidos en el trabajo de Oesterheld et al. (1992) se hallaban en equilibrio con el ambiente (ver Caja 2). En segundo lugar, la estimación de la receptividad para distintos años presenta una serie de complicaciones adicionales a las consignadas en la Caja 2, ya que tanto la PPNA como, consecuentemente, el IC varían entre años. Por un lado, la variabilidad interanual de la PPNA es mayor a medida que disminuyen las precipitaciones (Paruelo & Lauenroth 1998). Esa extrema variabilidad interanual ha conducido a que en algunas zonas áridas se cuestione el concepto mismo de receptividad: en los años secos ocurren mortalidades catastróficas de las cuales las poblaciones naturales pueden no recuperarse antes del siguiente año seco (Ellis & Swift 1988, pero ver también Illius & Connor 1999). Por otro lado, para un sitio dado la PPNA varía linealmente de un año a otro de acuerdo a las precipitaciones anuales, patrón

conocido como modelo temporal (Lauenroth & Sala 1992). Sin embargo, la pendiente de ese modelo temporal (Figura 5) difiere de la del modelo espacial de Sala et al. (1988), y esa diferencia, a su vez, parece no ser constante a lo largo del gradiente de PPNA media (Caja 3).

En tercer lugar, cuando se agrega la dimensión intraanual al cálculo de la receptividad, las complicaciones se incrementan aún más. En efecto, la PPNA presenta una variabilidad marcada entre estaciones dentro del año y, además, esa variabilidad cambia de un año a otro. Justamente, uno de los supuestos del manejo racional de recursos forrajeros es que el manejo debería provocar una mejora de la "salud" de los recursos en el tiempo. Tal mejora se debería reflejar en un aumento de la disponibilidad forrajera global, que debería ser mayor en las épocas del año en que el forraje es más limitante y, por lo tanto, debería reflejarse en una disminución de la variabilidad estacional. Por otro lado, como a lo largo del año por lo general la PPNA varía mucho más que la carga -y por ende que el consumo- animal, en las comparaciones intraanuales la relación entre el IC (a la sazón Consumo/PPNA) y la PPNA

resulta negativa, contrariamente a lo que ocurriría con las comparaciones espaciales.

El análisis precedente demuestra que la receptividad de un recurso forrajero resulta de una red compleja de factores ambientales vinculados a la disponibilidad de forraje (precipitaciones, textura edáfica, fertilidad del suelo, composición florística, requerimientos de cada especie y categoría animal, etc.), factores ambientales extraforrajeros (disponibilidad de agua de bebida, incidencia de depredadores, frío o calor extremos, inundaciones, nevadas, etc.) y factores de manejo (presión de pastoreo instantánea, método de pastoreo, subsidios de energía). Todos esos factores interactúan, a su vez, con las decisiones del productor, que reflejan sus objetivos empresariales y los niveles de riesgo que asume. Finalmente, la carga animal y el sistema de pastoreo (decididos por el productor) y la receptividad (independiente de la voluntad del productor) no son independientes entre sí sino que se determinan mutuamente (Deregibus & Garbulsky 2001). La receptividad en un momento dado define el espectro de cargas animales posibles en un ecosistema, pero las cargas utilizadas en un ecosistema determinan su receptividad futura. El uso de cargas y/o de sistemas de pastoreo inadecuados a la receptividad suele generar círculos viciosos que conducen a una caída de la receptividad. La comprensión de la interacción entre ambas variables puede transformar esos círculos viciosos en espirales virtuosas de aumento de la receptividad (Deregibus, comunicación personal), asociados al uso de cargas y/o de sistemas de pastoreo adecuados a esa receptividad (Figura 6).

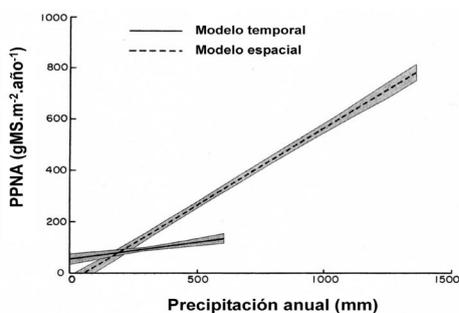


Figura 5. Variación de la PPNA en función de las precipitaciones para varios sitios de Norteamérica (modelo espacial basado en los datos promedio de PPNA y precipitaciones, Sala et al. 1988) y para un sitio en particular de Colorado, EEUU (modelo temporal basado en los datos anuales de PPNA y precipitaciones). Fuente: Lauenroth & Sala (1992).

Figure 5. Variation of ANPP as a function of precipitation for several North-American sites (spatial model based on mean ANPP and mean precipitation values, Sala et al. 1988), and for a particular site of Colorado, USA (temporal model based on annual values of ANPP and precipitation). Source: Lauenroth & Sala (1992).

En síntesis, el problema de la estimación de la receptividad se enmarca en modelos conceptuales robustos, pero una serie de problemas teóricos y prácticos ha impedido, hasta el momento, el desarrollo de una metodología de cálculo para estimarla que sea de aceptación universal. El análisis anterior permite destacar, entre dichos problemas, a (1) la ausencia de modelos confiables que permitan predecir el Índice de Cosecha en sitios con distintas condiciones ambientales y tipos de vegetación, en distintos años y en distintos momentos del año, y (2) la multiplicidad de factores que determinan la receptividad y las

interacciones existentes entre ellos. En consecuencia, al definir la receptividad ganadera de un ecosistema dado se deben observar varias precauciones: (a) una cuidadosa selección de los mejores métodos para cada objetivo particular y región (ver Caja 4), (b) una actitud conservadora, (c) un monitoreo continuo del estado de la vegetación y de la producción individual de los animales en relación a los objetivos productivos (ningún cálculo que

afecte de manera negativa a alguna de esas variables puede considerarse sustentable), y (d) una actitud flexible para modificar la densidad ganadera bajo condiciones climáticas particulares, de manera de promover los procesos regenerativos o prevenir transiciones a estados más degradados (Westoby et al. 1989). A modo de conclusión, los modelos matemáticos permiten mejorar nuestra comprensión de los determinantes de la receptividad ganadera.

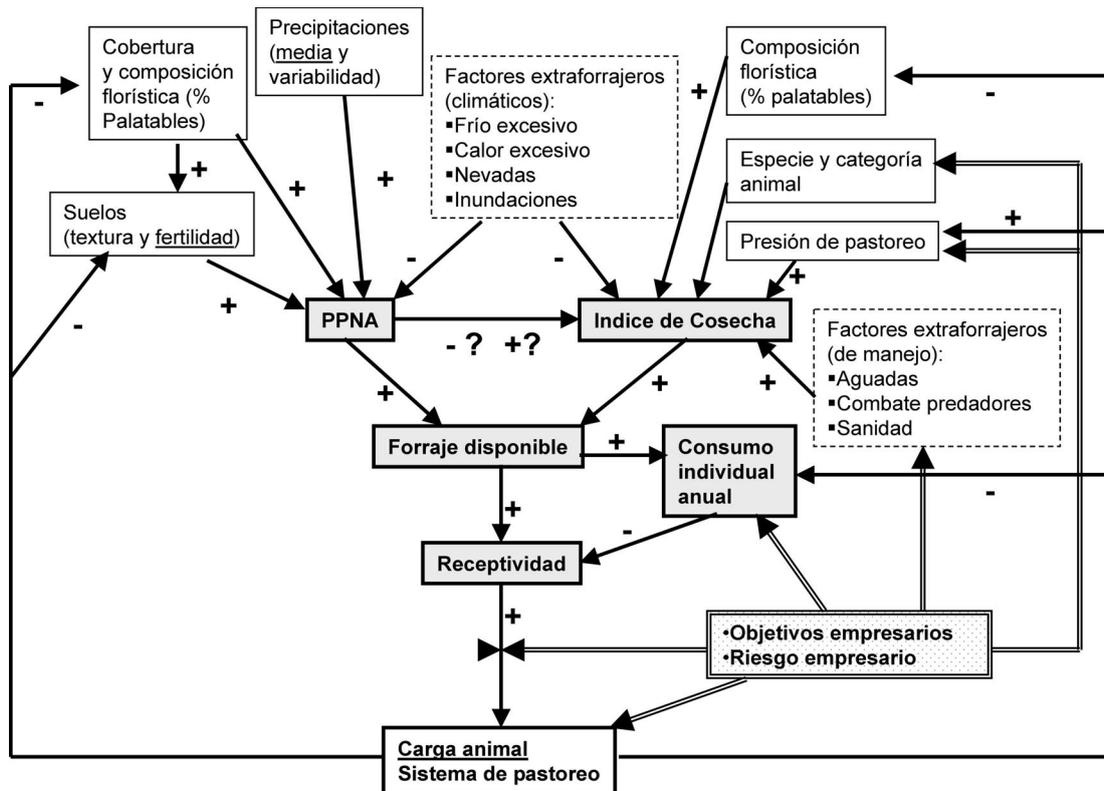


Figura 6. Componentes del cálculo de la receptividad (cajas grisadas) y factores determinantes de los mismos a escala de potrero (cajas sin color con borde lleno: factores ambientales vinculados a la disponibilidad y utilización del forraje; cajas sin color con borde punteado: factores ambientales extraforrajeros). Los signos positivos y negativos indican el sentido de la relación entre los distintos factores. La ausencia de signo indica que la relación entre dos factores no es lineal ni linearizable. Cuando un factor incluye dos componentes, uno solo de los cuales tiene una relación definida con otra variable, se lo subraya. Las cajas y flechas dobles representan la influencia de las decisiones empresariales sobre distintos componentes del sistema. Elaboración propia a partir de Deregibus & Garbulsky (2001).

Figure 6. Components of the calculus of carrying capacity (gray boxes) and factors determining each component at the paddock scale (empty boxes with full border: environmental factors linked to forage availability; empty boxes with dotted border: environmental factors unlinked to forage availability). Positive and negative signs indicate the direction of the relationship between factors. The absence of sign indicates that the relationship is not linear or linearizable. When a factor includes several components, we highlighted those with a definite relationship with other factors. Double boxes and double arrows represent the influence of the producer decisions on the different components of the system. Developed from Deregibus & Garbulsky (2001).

Sin embargo, y en cierta forma felizmente, no permiten reemplazar el ejercicio del juicio crítico a partir de la observación a campo de la vegetación y los animales.

AGRADECIMIENTOS

Estas ideas se gestaron a partir de 1987 en el curso de acaloradas discusiones con encargados de campos de la Patagonia y con numerosos colegas y alumnos -tanto de grado como de postgrado- de la Facultad de Agronomía (UBA) y del INTA. La enumeración de todos ellos sería muy larga y seguramente excluiría injustamente a algunos, por eso me limitaré a agradecer a dos maestros ya fallecidos: Alberto Soriano, del "mundo" académico, y Don Miguel Weaver, del "mundo" productivo. Ambos fueron decisivos en los comienzos del desarrollo de estas ideas. Este trabajo se llevó a cabo con apoyo económico de los subsidios PICT 32415 y 00463.

BIBLIOGRAFÍA

- ARC (AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL). 1980. The nutrient requirement of ruminant livestock. Farntrun Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux.
- BAILEY, DW; JE GROSS; EA LACA; LR RITTENHOUSE, MB COUGHENOUR; ET AL. 1996. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *J. Range Manage.* **49**:386-400.
- BEGON, M; JL HARPER & CR TOWNSEND. 1988. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona.
- BOELCKE, O; D MOORE & F ROIG. 1985. *Transecta botánica de la Patagonia Austral*. CONICET (Argentina), Royal Society (Great Britain), e Instituto de la Patagonia (Chile). Buenos Aires (Argentina). Pp. 733.
- BONVISSUTO, G Y R SOMLO. 1998. *Guía de condición para los campos naturales de "Precodillera" y "Sierras y Mesetas" de Patagonia*. Prodesar-EEA INTA Bariloche
- BONVISSUTO, G & M LANCIOTTI. 2002. *Guía de condición para los mallines con pasto salado (Distichlis spp.) en zonas de Río Negro con menos de 300 mm de precipitaciones anuales*. PAN-EEA INTA Bariloche.
- BORRELLI, P; C CHEPPI; M IACOMINI & A RAMSTROM. 1984. Condición de pastizales en el sitio Terrazas del Río Gallegos. *Revista Argentina de Producción Animal* **9**:879-897.
- BORELLI, P; F ANGLÉSIO; CA BAETTI; MH IACOMINI & A RAMSTROM. 1988. Condición de pastizales en el Sudeste de Santa Cruz (Patagonia) II: Sitio Santacruzense. *Revista Argentina de Producción Animal* **8**:201-213.
- BORRELLI, P; C BAETTI; C CHEPPI & M IACOMINI. 1990. Una metodología para evaluar los Pastizales de Santa Cruz, *Revista Argentina de Producción Animal*. Suplemento I:8, *Actas XV Reunión de AAPA* (Huerta Grande, Córdoba), INTA Río Gallegos 1980.
- BOTTARO, H; V NAKAMATSU; W OPAZO; G CIARI & M VILLA. 2007. *Guía de condición para estepas arbustivo-graminosas de cola de piche (Nassauvia glomerulosa) y coirón poa (Poa ligularis) utilizadas con ovinos y caprinos*. EEA INTA Esquel.
- BOTTARO, H; MVILLA; R GOLLUSCIO; W OPAZO & V NAKAMATSU. 2008. *Pautas de manejo y guía de condición para estepas gramíneo-arbustivas de coirón blanco (Festuca pallescens) y duro (Stipa speciosa var speciosa) y neneo (Mulinum spinosum) utilizadas con ovinos y bovinos*. EEA INTA Esquel.
- CIBILS, A. 1993. Manejo de pastizales. En Cambio Rural-INTA EEA Santa Cruz (eds.) *Catálogo de Prácticas. Tecnología disponible*. INTA. Río Gallegos, Santa Cruz.
- DEREGIBUS, VA & M GARBULSKY. 2001. *Capacidad de carga de los recursos forrajeros*. Guía de Lectura de Utilización de Forrajes, Facultad de Agronomía UBA.
- ELLIS, JE & DM SWIFT. 1988. Stability of African pastoral ecosystems: Alternate paradigms and implications for development. *J. Range Manage.* **41**:450-459.
- GOLLUSCIO, R; VA DEREGIBUS & JM PARUELO. 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecol. Austral* **8**:265-284.
- GOLLUSCIO, RA; HS BOTTARO; D RODANO; M GARBULSKY; S BOBADILLA; ET AL. 2009. Divergencias en la estimación de receptividad ganadera en el noroeste de la Patagonia: diferencias conceptuales y consecuencias prácticas. *Ecol. Austral* **19**:3-18.
- GRIGERA, G; M OESTERHELD & F PACÍN. 2007. Monitoring forage production for farmers decision making. *Agr. Syst.* **94**:637-648.
- GUEVARA, JC; OR ESTÉVEZ & ER TORRES. 1996. Utilization of the rain-use-efficiency factor for determining potential; cattle production in the mendoza plain, Argentina. *J. Arid Env.* **33**:347-353.
- HOLECHEK, J; R PIEPER & C HERBEL. 1989. *Range Management: principles and practices*. Prentice

- Hall. Pp. 501.
- HUXMAN, T; M SMITH; P FAY; A KNAPP; M SHAW; ET AL. 2004 Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature* **429**:651-654.
- ILLIUS, AW & TG O'CONNOR. 1999. On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecol. Appl.* **9**:798-813.
- LAUENROTH, WK & OE SALA. 1992. Long-term forage production of North American Shortgrass Steppe. *Ecol. Appl.* **2**:397-403.
- MCNAUGHTON, SJ; M OESTERHELD; DA FRANK & KJ WILLIAMS. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* **341**:142-144.
- MCNAUGHTON, SJ; OE SALA & M OESTERHELD. 1993. Comparative ecology of African and South American arid to subhumid ecosystems. Pp. 548-567 en Goldblatt, P (ed.) *Biological relationships between Africa and South America*. Yale University Press. New Haven.
- MILCHUNAS, DG; OE SALA & WK LAUENROTH. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *Am. Nat.* **132**:87-106.
- MILCHUNAS, DG & WK LAUENROTH. 1993. Quantitative Effects of Grazing on Vegetation and Soils over a Global Range of Environments. *Ecol. Monogr.* **63**(4):327-366.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA. 1974. *Empadronamiento Nacional Agropecuario y Censo Ganadero* (Buenos Aires, Argentina).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. 1980. *Censo General Agropecuario*. Montevideo, Uruguay.
- MONTEITH, JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.* **9**:747-66.
- NAKAMATSU, V; JM ESCOBAR & N ELISSALDE. 2001. Evaluación forrajera de pastizales naturales de estepa en establecimientos ganaderos de la Provincia de Chubut (Patagonia, Argentina): Resultados de 10 años de trabajo. En: *Resúmenes del Taller de actualización sobre métodos de evaluación, monitoreo y recuperación de pastizales naturales patagónicos*. FAO-INTA- INIA, Esquel.
- ODUM, EP. 1972. *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana. Tercera Edición. Pp. 639.
- OESTERHELD, M; OE SALA & SJ MCNAUGHTON. 1992. Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature* **356**:234-236.
- OESTERHELD, M; J LORETI; M SEMMARTIN & JM PARUELO. 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. Pp. 287-306 en Walker, LR (ed.) *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam.
- PARUELO, JM & WK LAUENROTH. 1998. Interannual variability of NDVI and their relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *J. Biogeogr.* **25**:721-733.
- PARUELO, J; WK LAUENROTH; I BURKE & OE SALA. 1999. Grassland precipitation-use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems* **2**:64-68.
- PARUELO, JM; RA GOLLUSCIO; JP GUERSCHMAN; A CESA; VV JOUVE; ET AL. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **13**:385-395.
- PARUELO, JM; M OESTERHELD; C DI BELLA; M ARZADUM; J LAFONTAINE; ET AL. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangeland from remote sensing data. *Appl. Veg. Sci.* **3**:189-195.
- PIÑEIRO, G; M OESTERHELD & JM PARUELO. 2006. Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* **9**:357-373.
- RODANO, D. 2004. *Estimación de la receptividad ovina combinando información satelital y orística en la Patagonia*. Trabajo de Intensificación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Facultad de Agronomía (UBA). Director: Golluscio, R.
- SALA, OE; J PARTON; L JOYCE & WK LAUENROTH. 1988. Primary Production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* **69**(1):40-45.
- SALA, OE & AT AUSTIN. 2000. Methods of Estimating Aboveground Net Primary Productivity. Pp. 31-43 en: Sala, OE; RB Jackson; H Mooney & RH Howarth (eds.) *Methods in Ecosystem Science*. Springer, New York.
- SCARNECCHIA, DL. 1990. Concepts of carrying capacity and substitution ratios: a systems viewpoint. *J. Range Manage.* **43**:553-555.
- SENF, RL; MB COUGHENOUR; DW BAILEY; LR RITTENHOUSE; OE SALA; ET AL. 1987. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience* **37**:789-799.
- SIFFREDI, G; C LÓPEZ; J AYERZA; P QUIROGA & J GAITÁN. 2005. *Guía de recomendación de carga animal para Estepas de la región de Los Menucos, Río Negro*. Proinder-EEA INTA Bariloche.
- SIFFREDI, G; C LÓPEZ; J AYERZA; P QUIROGA & J GAITÁN. 2005. *Guía de recomendación de carga animal para Estepas de la región de Sierra Colorada, Río Negro*. Proinder-EEA INTA Bariloche.
- SIFFREDI, G; J GAITÁN; C LÓPEZ & J AYERZA. 2005. *Guía de recomendación de carga animal para mallines*. Ley Ovina-PAN-EEA INTA Bariloche.
- VECCHIO, MC; RA GOLLUSCIO & MI CORDERO. 2008. Cálculo de la receptividad a escala de potrero en pastizales de la Pampa Deprimida. *Ecol. Austral* **18**:213-222.

VERHULST, PF. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans accroissement. *Correspondence Mathématique et Physique* 10:113-121.

WERNLI, C. 1988. La nutrición del ovino y bovino y características de los recursos pastoriles en

Magallanes. Pp. 110-132 en *Actas del VII Seminario Agropecuario en la Patagonia (Punta Arenas, Chile)*.

WESTOBY, M; B WALKER & I NOY MEIR. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *J. Range Manage.* 42:266-274.

CAJA 1. MODELO LOGÍSTICO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

La densidad de una población que crece según el modelo logístico queda definida por las siguientes ecuaciones:

$$N_t = N_{t-1} + dN/dt \quad \text{Ecuación C1.1}$$

$$dN/dt = r_a \cdot N_{t-1} \quad \text{Ecuación C1.2}$$

$$r_a = r_i \cdot (1 - N_{t-1}/K) \Rightarrow \quad \text{Ecuación C1.3}$$

$$r_a = r_i - (r_i/K) \cdot N_{t-1} \quad \text{Ecuación C1.4}$$

Donde:

N = densidad de la población

t = tiempo (días, semanas, meses o años, según de qué organismo se trate)

dN/dt = tasa de crecimiento poblacional = incremento de la densidad N durante el lapso t

r_a = tasa actual de crecimiento "per capita" (en individuos por individuo y unidad de tiempo), resultante de la diferencia entre las tasas de natalidad y mortalidad

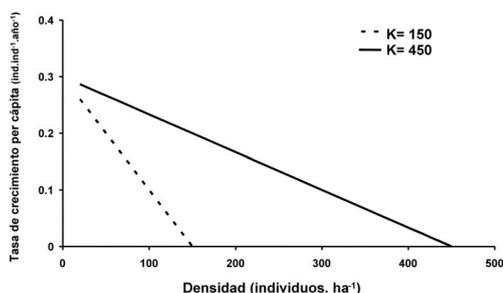
r_i = tasa intrínseca de crecimiento (máxima, es la r_a que se registra bajo condiciones óptimas, también se expresa en individuos por individuo y unidad de tiempo)

K = capacidad de carga (en unidades de densidad de población)

La expresión gráfica de la ecuación C1.4 muestra que cuando la densidad poblacional es mínima, la competencia también lo es y entonces la tasa de crecimiento "per capita" es máxima e igual a la tasa intrínseca de crecimiento. En cambio, cuando la densidad poblacional alcanza la capacidad de carga K, la tasa de crecimiento per capita se vuelve nula. Eso equivale a decir que la tasa de mortalidad iguala a la tasa de natalidad y entonces la población deja de crecer y su densidad se mantiene en el valor K (Figura C1).

Figura C1. Relación entre la tasa de crecimiento "per capita" y la densidad poblacional para una población hipotética que crece según el modelo logístico con una tasa intrínseca de crecimiento de 0.3 individuos, individuo⁻¹.año⁻¹ en dos hábitats de diferente capacidad de carga (K = 150 y 450 individuos.ha⁻¹).

Figure C1. Relationship between "per capita" growing rate and population density for one population growing according to the logistic model with an intrinsic growth rate of 0.3 individuals, individual⁻¹.year⁻¹ in two habitats with different carrying capacity (K = 150 y 450 individuals.ha⁻¹).



CAJA 2. CAMBIO DEL ÍNDICE DE COSECHA EN FUNCIÓN DE LA PPNA: FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS Y LIMITACIONES

El aumento del Índice de Cosecha (IC) con la PPNA reflejaría un aumento en la disponibilidad de agua de bebida inducido por el aumento en las precipitaciones, que se correlacionan de forma positiva con la PPNA (Sala et al. 1988). Asimismo, en el mismo sentido aumentaría la calidad de forraje, dado que las adaptaciones que confieren a las plantas resistencia a la sequía también les otorgan resistencia a la herbivoría (Milchunas et al. 1988). Como consecuencia, se espera que las plantas del extremo seco tengan menor valor nutritivo que las del extremo húmedo. El cambio en el valor nutritivo de la vegetación y en la disponibilidad de agua de bebida en función de la precipitación es mayor en el extremo árido del gradiente que en el húmedo, lo cual explicaría la atenuación de la pendiente de la curva de la Figura 4 a medida que aumenta la PPNA.

La estimación del IC a partir de la PPNA (Figura 4) presenta varias limitaciones, aún al intentar calcular la receptividad anual promedio para una dada unidad de manejo (potrero, por ejemplo).

- 1) La probabilidad de que los animales consuman diariamente el 3% de su peso vivo disminuye a medida que disminuye la PPNA y/o aumenta la carga animal, ya que ambos factores repercuten en una caída de la calidad forrajera de la ingesta animal.
- 2) Debería aceptarse el supuesto de que los Departamentos incluidos en el trabajo original de Oesterheld et al. (1992) habían alcanzado su capacidad de carga en 1974 para los departamentos argentinos y en 1980 para los uruguayos.
- 3) Dado que el modelo fue desarrollado a escala regional, ignora las diferencias en la calidad forrajera entre sitios de una misma PPNA, que sin dudas deberían reflejarse en diferencias en el IC.
- 4) Las unidades de manejo no siempre son homogéneas en términos de recursos forrajeros; por lo tanto debería calcularse la receptividad para cada clase de vegetación y luego promediarla ponderando por el forraje que obtienen los animales de cada una o por el tiempo que pasan los animales en cada una o por la cobertura de cada una (en orden decreciente de validez conceptual y creciente de facilidad de cálculo).
- 5) El modelo ignora la influencia de los factores extra-forrajeros que determinan el consumo animal: pendiente, distancia a la aguada, actividad de los depredadores, fríos excesivos, calores excesivos, inundaciones, nevadas, etc. (Senft et al. 1987; Bailey et al. 1996).
- 6) El modelo ignora las diferencias en el comportamiento ingestivo y la fisiología digestiva entre las especies de herbívoros: por ejemplo, a igualdad de PPNA y biomasa de herbívoros por hectárea, el ganado ovino puede alcanzar IC más altos que el bovino.
- 7) El modelo no concuerda con observaciones realizadas en rangos más estrechos de PPNA, que muestran que el IC no necesariamente aumenta con la PPNA (Figura C2). Eso sugiere que en esos rangos el efecto propuesto de la disponibilidad de agua de bebida y la calidad forrajera sería menos importante que el de otros factores, aún no identificados, que actuarían en sentido opuesto.
- 8) Las estimaciones de IC existentes arrojan resultados más altos cuanto más detallada es la escala espacial considerada: escala de sitio de pastoreo (McNaughton et al.

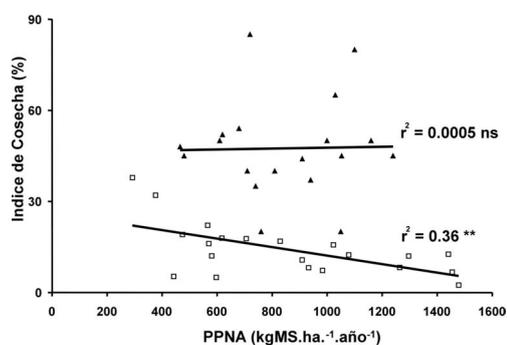
1989) > escala de Parque Nacional (Oesterheld et al. 1999); escala de potrero (Milchunas y Lauenroth 1993) > escala de Departamento (Oesterheld et al. 1992) (Figura C2).

9) Es raro que los valores de IC recomendados se basen sobre mediciones experimentales de la supervivencia de las distintas especies vegetales bajo distintos niveles de IC.

10) El modelo ignora los efectos de la variabilidad temporal de la PPNA sobre el IC: probablemente se puedan alcanzar IC más altos en sitios donde la IC es más estable que en aquéllos en que la PPNA es muy variable, ya sea entre años o entre estaciones dentro de año (Vecchio et al. 2008).

Figura C2. Índice de Cosecha (Consumo de los herbívoros domésticos como porcentaje de la PPNA) en función de la PPNA en un rango estrecho de PPNA. Cuadrados vacíos: datos originales de Oesterheld et al. (1992) a escala de partido o departamento. Triángulos negros: datos originales de Milchunas & Lauenroth (1993) a escala de potrero. Fuentes: Rodano (2004) y Golluscio et al. (2009).

Figure C2. Harvest Index (Consumption of domestic herbivores, as percent of Aboveground Net Primary Production) as a function of ANPP in a narrow range of ANPP. Empty squares: data from Oesterheld et al. (1992) at the scale of political department. Black triangles: data from Milchunas & Lauenroth (1993) at the paddock scale. Sources: Rodano (2004) and Golluscio et al. (2009).

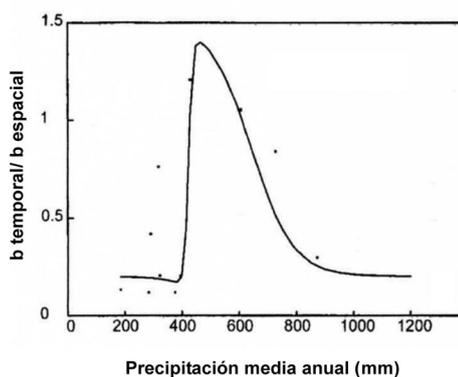


CAJA 3. RELACIÓN ENTRE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA AÉREA Y PRECIPITACIONES, MODELO ESPACIAL VS. MODELO TEMPORAL

El modelo espacial de Sala et al. (1988), como muchos otros, relaciona la PPNA promedio de varios años con la precipitación promedio para una serie de sitios ordenados en un gradiente de precipitación. Los modelos temporales, en cambio, relacionan la PPNA y la precipitación medidas en un mismo sitio durante distintos años. La diferencia entre las pendientes de la relación PPNA vs. precipitaciones obtenidas por ambos modelos, espacial y temporal, no es constante a lo largo de todo el gradiente de PPNA explorado. De hecho, el cociente entre la pendiente del modelo temporal y la del modelo espacial varía en forma no lineal con la PPNA. Paruelo et al. (1999) demostraron que dicho cociente es >1 alrededor de los 500 mm de precipitaciones anuales, y es <1 por debajo de 450 mm y por encima de 550 mm de precipitaciones (Figura C3). Atribuyeron ese patrón a la existencia de restricciones estructurales de la vegetación (baja cobertura, insuficiente capacidad de incrementar el área foliar, etc.) para utilizar pulsos inusuales de agua en el extremo de bajas precipitaciones medias anuales. En el extremo opuesto, propusieron que las restricciones serían de índole biogeoquímica: la disponibilidad de nutrientes resultaría más limitante para las plantas que la disponibilidad de agua. Sin embargo, este patrón requiere mayor investigación ya que Huxman et al. (2004), analizando otro conjunto de datos, encontraron que la pendiente del modelo temporal decrecía de forma monotónica a medida que aumentaba la PPNA.

Figura C3. Relación entre la pendiente del modelo temporal y la del espacial en función de las precipitaciones medias anuales (PP, en mm) para varios sitios de todo el mundo: $b_{\text{temporal}}/b_{\text{espacial}} = 0.2 + 1.307 / [1 + e^{-0.01304 (pp-404)}] - 1.307 / [1 + e^{-0.0132 (pp-644)}]$. Fuente: Paruelo et al. (1999).

Figure C3. Relationship between the slopes of the temporal and the spatial models as a function of mean annual precipitation (MAP, in mm) for several sites around the world: $b_{\text{temporal}}/b_{\text{spatial}} = 0.2 + 1.307 / [1 + e^{-0.01304 (MAP-404)}] - 1.307 / [1 + e^{-0.0132 (MAP-644)}]$. Source: Paruelo et al. (1999).



CAJA 4. ALGUNOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA RECEPTIVIDAD

A continuación se presentan, a modo de ejemplos, algunos métodos de estimación de la receptividad corrientemente usados en algunas zonas de nuestro país. Los métodos analizados sólo constituyen una pequeña muestra del universo de estrategias -más o menos explícitas, más o menos formales- que han acuñado diversos equipos de trabajo en diversas regiones. En todos los casos se los analiza a partir del modelo Receptividad = Forraje Disponible / Consumo Individual Anual (Ecuación 1), aunque la relación con el mismo no siempre ha sido explícita en los documentos originales.

1) Método del Valor Pastoral (INTA, EEAs Chubut y Bariloche)

Calcula el FD como el producto entre el Forraje Producido (FP) y un Factor de Uso (FU), considerado como sustentable (por ejemplo 0.3 en sitios frágiles a 0.6 en sitios poco susceptibles al deterioro) (Nakamatsu et al. 2001). Para calcular FP se realiza una evaluación a campo y se supone que el FP tiene dos componentes: el Forraje Consumido antes de la evaluación de campo (FC) y el Forraje Remanente al momento de la evaluación (FR). Calcula FC como el producto entre la carga animal en el sitio de estudio (C), los días de ocupación con esa carga (do) y el consumo diario de forraje de cada animal (CD). Para calcular FR utiliza una relación empírica entre el FR y el Valor Pastoral del sitio, que consiste en una regresión forzada por el origen de pendiente k, específica para cada tipo de vegetación. El Valor Pastoral del sitio promedia los valores de Índice de Calidad Específica (ICE) de las distintas especies que componen la comunidad (a cada una de las cuales se les asigna un ICE entre 0 y 5), ponderándolos por la cobertura relativa de cada especie (VP de la vegetación) y luego multiplica ese promedio por la cobertura forrajera total del sitio. El cálculo se resume en la Ecuación C4.1 (Nakamatsu et al. 2001):

$$R = \frac{[(C \times CD \times do) + (k \times VP)] \times FU}{CIA} \quad \text{Ecuación C4.1}$$

Donde:

R = Receptividad (Equivalentes Oveja.ha⁻¹)

C = Carga animal (Equivalentes Oveja.ha⁻¹)

CD = Consumo animal diario (kg de MS.Equivalentes Oveja⁻¹.día⁻¹)

do = días de ocupación previos al muestreo de vegetación (día)

k = Constante de proporcionalidad entre forraje disponible y Valor Pastoral

VP = Valor pastoral del sitio (= VP de la vegetación.cobertura forrajera)

FU = Factor de Uso (kg consumibles.kg disponibles⁻¹)

CIA = Consumo individual anual (kg de MS.Equivalentes Oveja⁻¹.año⁻¹)

2) Método de la PPNA (Facultad de Agronomía-UBA, Cátedras de Ecología y Forrajes)

Calcula el Forraje Disponible (o consumible) (FD) como el producto entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) y el Índice de Cosecha (IC) (Ecuación 2; Golluscio et al. 1998). A su vez, (a) calcula la PPNA a partir de cosechas de biomasa (Sala & Austin 2000), o bien la estima a partir de las precipitaciones anuales (Sala et al. 1988) o de información provista por imágenes satelitales (Pruel et al. 2004) y (b) calcula el IC a partir de observaciones empíricas o lo estima a partir del modelo arriba presentado (Figura 4; Golluscio et al. 1998). La estimación de la PPNA a partir del modelo espacial

desarrollado para los pastizales de los Estados Unidos de América por Sala et al. (1988; ver leyenda de Figura 4), que fue validado para América del Sur (McNaughton et al. 1993), no es sensible a las diferencias de grado de deterioro, balance hídrico o fertilidad entre sitios sometidos a la misma precipitación. Además, esta aproximación presenta problemas adicionales en áreas donde los datos de precipitación son escasos. Por su parte la estimación de la PPNA derivada de los datos satelitales tiene dos ventajas muy importantes respecto a las anteriores: (a) refleja el estado presente de degradación de la vegetación y (b) permite analizar toda la heterogeneidad interna de cada unidad de manejo. Actualmente se dispone de modelos que relacionan la integral del Índice de Vegetación Normalizado (IVN) y la PPNA, calibrados para el Oeste de la Patagonia (Paruelo et al. 2004) y para la Depresión del Salado (Paruelo et al. 2000), pero sólo son aplicables a imágenes satelitales del momento en que se realizó la calibración respectiva. Las estimaciones basadas en el modelo de Monteith (1972) ($PPNA = EUR \times RFA_{i}$ incidente $\times fRFA$, donde EUR es la Eficiencia en el Uso de la Radiación, RFA_{i} es la Radiación Fotosintéticamente Activa incidente y $fRFA$ es la fracción de la misma que es absorbida por el canopy) son mucho más versátiles que las anteriores. En efecto, a partir del IVN provisto por las imágenes satelitales se puede calcular $fRFA$, ya que la relación entre ambas variables es directa, y la RFA incidente se puede obtener a partir de información climatológica de relativamente fácil acceso. Sin embargo, el eslabón más débil de esa estimación radica en las dificultades para estimar EUR, que es muy variable entre sitios y a lo largo del año. Para una porción considerable de la región pampeana se cuenta con modelos que permiten predecir los valores de EUR a partir de las condiciones climáticas de cada momento del año (Piñeiro et al. 2006; Grigera et al. 2007).

3) Método de la Universidad Nacional de Cuyo

Se trata de un método destinado a calcular la receptividad ganadera en las sabanas y estepas arbustivas del Este de la Provincia de Mendoza. Calcula la PPNA a partir de las precipitaciones, utilizando valores promedio de Eficiencia en el Uso de las Precipitaciones (EUP) obtenidas de bibliografía y diferentes para la componente herbácea y para la arbustiva ($EUP = 2.5$ y $1.4 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, respectivamente). Asimismo, dada la gran variabilidad interanual de las precipitaciones que caracteriza a las zonas áridas, para evitar sobreestimaciones de la receptividad no calcula la PPNA a partir de la precipitación promedio sino a partir de la precipitación confiable, es decir aquella que se da en el 80% de los años. Esa precipitación oscila entre 50 y 85% de la precipitación media para sitios donde llueve entre 100 y 500 mm promedio anuales, respectivamente. Luego, calcula la proporción de esa PPNA que queda accesible para los animales (80% de la PPNA herbácea y 50% de la arbustiva) y afecta la cantidad de forraje accesible así calculada por un factor de uso de 30%, que representa una estimación conservadora de la proporción de forraje que es efectivamente consumible. Por último, calcula la receptividad dividiendo el forraje consumible por el consumo anual de cada unidad animal (Guevara et al. 1996). Este método tiene muchos puntos en común con el anterior, pero agrega el concepto de accesibilidad del forraje, que en sistemas con árboles y arbustos puede modificar seriamente el índice de cosecha.

4) Método de las Guías de condición (INTA, EEAs Bariloche y Esquel)

A partir de cosechas sistemáticas de forraje disponible realizadas en varios sitios representativos de distintas condiciones del pastizal de una comunidad vegetal dada, se recomienda a los productores una receptividad para cada condición. A tal efecto se divide

la disponibilidad media por el consumo individual anual. Se considera forraje disponible la biomasa de las plantas (o partes de ellas) correspondiente a las especies consideradas forrajeras a juicio de los técnicos. Las Guías de Condición están acompañadas por fotografías de la comunidad que permiten al usuario clasificar fácilmente la condición de un cuadro o potrero como "buena", "regular" o "mala" y asignarle la receptividad sugerida para dicha condición (Bonvissuto & Somlo 1998; Bonvissuto & Lanciotti 2002; Siffredi et al. 2005 a, b y c; Bottaro et al. 2007, 2008).

5) Método del intercoironal (INTA, EEA Santa Cruz)

El método asume que el FD es exclusivamente la biomasa de las hierbas y pastos cortos ubicados en los espacios entre las plantas de *Festuca pallescens* o de *F. gracillima*, especies de pastos en mata (localmente llamados "coirones") que dominan los pastizales del Sur y Oeste de Santa Cruz (Boelcke et al. 1985). Las especies de estos parches (localmente llamados "intercoironal"), dominados por *Poa duseonii* (Borrelli et al. 1984, 1988), son muy preferidas por las ovejas debido a su valor nutritivo elevado (Wernli 1988; Borrelli et al. 1990). Un elemento adicional del método de Río Gallegos es la medición de la altura de las plantas de *Poa duseonii*, altamente correlacionada con la intensidad del pastoreo reciente (Borrelli et al. 1990). La relación empírica entre la altura de *Poa duseonii* y la intensidad del pastoreo reciente se usa para monitorear los efectos a corto plazo del pastoreo y el clima sobre la disponibilidad forrajera (Borrelli et al. 1990). Este método para calcular la capacidad de carga mostró una buena concordancia con los valores de la densidad ganadera de las regiones de la provincia de Santa Cruz dominadas por ambas especies de *Festuca* (Cibils 1993).

6) Método del Balance forrajero

Se trata de una metodología muy difundida en pasturas y pastizales de la Región Pampeana, que es de aplicación común por parte de asesores y productores de punta. Consiste en calcular las raciones ofrecidas por los recursos forrajeros y compararlas con las requeridas por los animales presentes en el sitio de estudio, asumiendo que una ración es la cantidad de forraje requerida a diario por una unidad animal (e.g., 18.5 MCal Energía Metabólica por día para 1 equivalente vaca). Es un procedimiento iterativo que permite adecuar las existencias ganaderas a las raciones ofrecidas, ya sea mediante cambios en el número de animales (adecuación de la carga a la receptividad) como mediante la incorporación de recursos forrajeros suplementarios o transferencia de excesos forrajeros a momentos de déficit (adecuación de la oferta a la carga). Una ventaja de este método respecto a todos los anteriores es que al expresar la oferta y la demanda en términos de energía metabólica toma en cuenta explícitamente la calidad nutritiva de los recursos forrajeros. Además, es una herramienta especialmente apta para tomar decisiones a una escala intraanual. Los insumos esenciales para el cálculo son la cantidad de Forraje Disponible, su concentración de energía metabólica y los requerimientos energéticos de los animales. La información acerca de la concentración energética de los recursos forrajeros requiere una cuantificación confiable de su digestibilidad, mientras que la información acerca de los requerimientos energéticos de los animales está cuantificada de manera aceptable en diversas fuentes (e.g., ARC 1980). Sin embargo, el punto crucial de este método sigue siendo la cuantificación de la cantidad de forraje disponible, que surge del producto entre la PPNA y el IC en cada momento del año, variables cuya estimación tiene todas las dificultades enumeradas más arriba.