

Revisión Bibliográfica

Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas

Grazing management in arid and semi-arid rangelands

Distel¹, R.A.

Universidad Nacional del Sur – CONICET

-
1. Respuesta del pastizal al disturbio por defoliación
 2. Regulación de la carga animal
 3. Regulación de los periodos de utilización y descanso
 4. Prevención de cambios indeseables e irreversibles en el pastizal
 5. Conclusiones
 6. Bibliografía

Resumen

La concepción actual de la respuesta del pastizal al disturbio por defoliación sugiere que el objetivo primario de manejo del pastoreo en cada sitio ecológico es preservar la comunidad vegetal deseable, evitando cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del mismo. En consonancia, la planificación de manejo del pastoreo debería estar enfocada principalmente en el control de la carga animal, los periodos de utilización y descanso, e indicadores de riesgo inminente de cambios indeseables. La carga animal debería poseer la flexibilidad necesaria para poder amoldarla al patrón, variabilidad e imprevisibilidad del régimen hídrico local. La duración del periodo de pastoreo debería regularse en forma tal de evitar el consumo temprano del rebrote y de asegurar el mantenimiento de un nivel mínimo de biomasa residual, mientras que la duración del periodo de descanso debería permitir la recuperación del área foliar removida por el ganado. Complementariamente, el monitoreo de indicadores de riesgo tales como pérdida de vigor y disminución del tamaño de gramíneas perennes palatables, aumento en abundancia de especies anuales, establecimiento de especies indeseables (leñosas, gramíneas perennes de baja palatabilidad), incremento en tamaño y conectividad de parches con suelo desnudo, pérdida de estabilidad en agregados de suelo, etc., debería alertar sobre la necesidad de implementar acciones de manejo preventivas con el fin de impedir la ocurrencia de cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del pastizal. El análisis e interpretación de la bibliografía revisada sugiere que el manejo adaptativo del pastoreo es imprescindible para la utilización sostenible de pastizales de zonas áridas y semiáridas.

Palabras clave: carga animal, periodos de utilización y descanso, estados y transiciones en la vegetación, comunidades en riesgo, ganadería en tierras secas.

Recibido: octubre de 2012

Aceptado: mayo de 2013

1. Departamento de Agronomía y Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Universidad Nacional del Sur - CONICET, 8000 Bahía Blanca, Argentina. cedistel@criba.edu.ar

Summary

Actual conceptualization of rangeland response to defoliation disturbance suggests that the primary objective of grazing management in each ecological site is to preserve the desirable plant community, preventing the occurrence of undesirable and irreversible changes in structure and function. In concordance, planning of grazing management should be mainly focused on controlling stocking rate, utilization and rest periods, and risk indicators of impending undesirable changes. Stocking rate should be flexible enough to allow its moulding to the pattern, variability and unpredictability of the local hydrological regime. The length of the grazing period should be regulated to prevent early regrowth consumption and to secure minimal residual biomass maintenance, whereas the length of the rest period should allow for recovery of the foliar area removed by livestock. Complementary, monitoring of risk indicators such as loss of vigour and reduction in size of palatable perennial grasses, increase in abundance of annual species, seedling establishment of undesirable species (woody species, unpalatable perennial grasses), increase in size and connectivity of bare ground patches, loss of stability in soil aggregates, etc., should alert on the necessity to implement preventive management actions in order to avoid undesirable and irreversible changes in rangeland structure and function. The analyses and interpretation of the reviewed literature suggest that adaptive grazing management is essential for the sustainable utilization of arid and semiarid rangeland.

Key words: stocking rate, grazing and rest periods, vegetation states and transitions, at risk communities, livestock husbandry in drylands.

1. Respuesta del pastizal al disturbio por defoliación

La concepción de las respuestas del pastizal al disturbio por defoliación constituye un insumo esencial en la planificación de manejo del pastoreo, ya que influencia las decisiones para el control de las mismas. La percepción dominante hasta las últimas décadas del siglo pasado fue la de cambios biofísicos continuos y reversibles (51), modelo fundamentado en la teoría de la sucesión vegetal (18). El modelo sucesional prioriza la capacidad de regulación interna del ecosistema a través de las interacciones planta-planta y animal-planta, aunque sin desconsiderar el rol potencial de factores externos como la sequía. El modelo postula la existencia de un único estado estable, la etapa culminante de la sucesión vegetal denominada "climax" (Figura 1), y predice que el disturbio por pastoreo y/o sequía produce una regresión sucesional alterando la composición botánica del pastizal. A lo largo del eje de disturbio, la composición florística define la condición del pastizal, mientras que los cambios en la misma la tendencia. En síntesis, según el modelo sucesional, el pastoreo y las sequías produ-

cen la degradación del pastizal, siendo este proceso reversible mediante la sola regulación de carga animal.

En respuesta al limitado poder explicativo del modelo sucesional, en las últimas décadas del siglo pasado comenzó a establecerse una concepción diferente de dinámica de los ecosistemas en respuesta al disturbio (27, 40, 69), la de cambios discontinuos e irreversibles y la existencia de "estados estables alternativos" en un mismo sitio ecológico (sitio con características físicas específicas que condicionan la estructura y funcionamiento del ecosistema). Basado en esta idea, el modelo de estados y transiciones (70) concibe que cada estado puede estar representado por diferentes comunidades vegetales, las que representan la dinámica del ecosistema dentro de los límites del mismo (Figura 2). Las transiciones de una comunidad a otra dentro de un estado se asumen reversibles, mientras que las transiciones entre estados se asumen irreversibles en función del disturbio que las originó. Dicho esto resulta claro que el modelo de estados estables alternativos más que excluir, comprende al modelo de estados estables singulares (7).

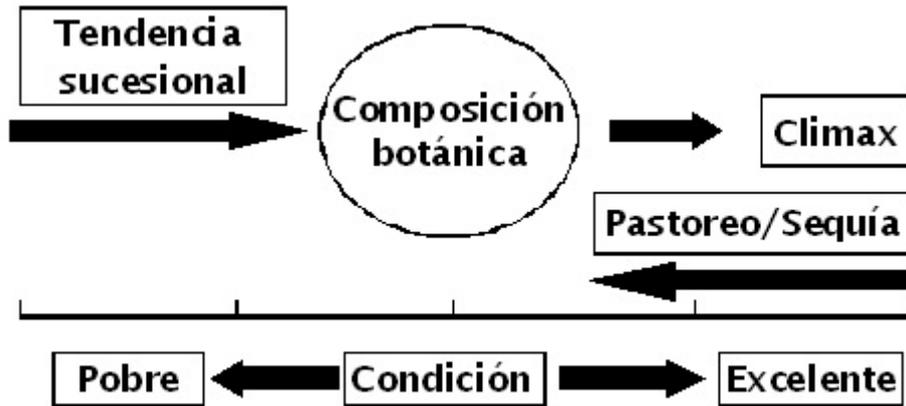


Figura 1: Dinámica de la vegetación en respuesta al disturbio según el Modelo Sucesional. Adaptado de Westoby et al. (1989).

Figure 1: Vegetation dynamic in response to disturbance according the Successional Model. Adapted from Westoby et al. (1989).

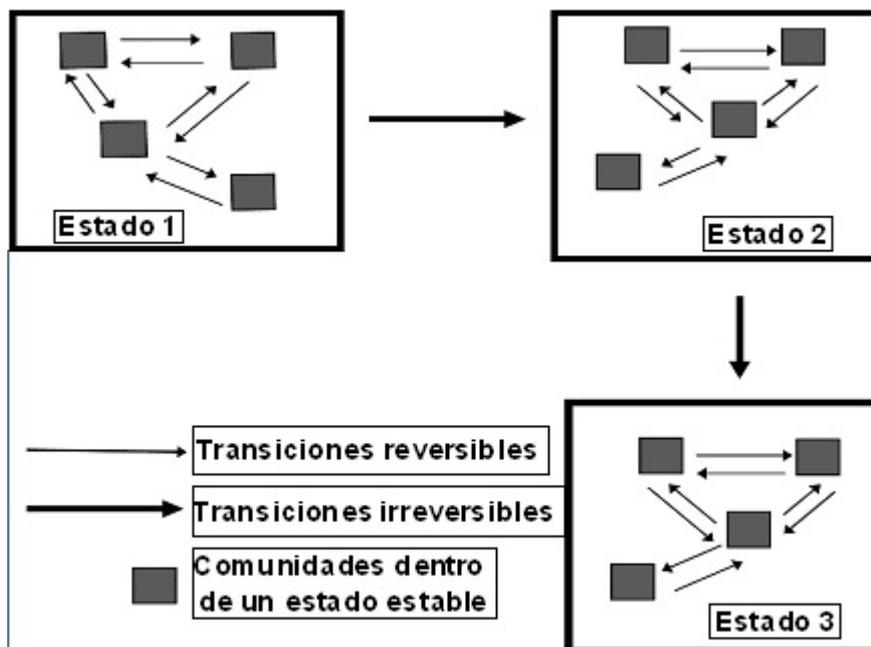


Figura 2: Dinámica de la vegetación en respuesta al disturbio según el Modelo de Estados y Transiciones. Adaptado de Stringham et al. (2003).

Figure 2: Vegetation dynamic in response to disturbance according the State and Transition Model. Adapted from Stringham et al. (2003).

A manera de ejemplo, la Figura 3 muestra el ordenamiento de la dinámica de la vegetación en ambientes de planicie del sur del Distrito del Caldén (13), según el modelo de estados y transiciones (21). El estado "Pastizal" representaría condiciones de la vegetación más próximas a la situación prístina, en particular la comunidad dominada por *Poa ligularis* (Figura 3-a)(24). El disturbio por pastoreo (en interacción con sequía y frecuencia de fuego) induciría cambios florísticos, determinando comunidades dominadas por *Stipa tenuis* y *Piptochaetium napostaense* ("flechillales"; Figura 3-b), por flechillas y especies anuales (Figura 3-c) o por especies anuales (Figura 3-d). Las transiciones entre las comunidades serían reversibles mediante la regulación de la carga animal. Pero el estado ("Pastizal") puede cambiar a estados estables alternativos representados por "Fachinal" (elevada dominancia de especies leñosas) o "Pajonal" (elevada dominancia de gramíneas perennes xerófitas) (Figura 3), y las transiciones al estado "Pastizal" ya no serían reversibles mediante la sola regulación de la carga animal. Cabe aclarar que, por simplicidad, en la Figura 3 se muestra solo una comunidad del estado "Fachinal" y del estado "Pajonal".

El modelo de estados estables alternativos enfatiza el rol de los controles externos (Ej., eventos climáticos extremos) en combinación con controles internos (interacciones planta-planta y animal-planta) en la regulación de la dinámica de los ecosistemas (67, 7, 48, 65, 19), y está fundamentado en conceptos de "resiliencia" y "umbrales ecológicos" (59, 8, 9, 52, 60, 66).

La resiliencia de un ecosistema se define como la habilidad del mismo de mantener su integridad estructural y funcional cuando está sujeto a disturbio (27). Cuanto mayor la intensidad de disturbio que un ecosistema puede absorber sin cambiar de estado, mayor la resiliencia del mismo. Pero los cambios estructurales y funcionales son reversibles hasta cierta intensidad de disturbio. Sobrepasado el límite de resiliencia se producen cambios en la integridad de los procesos ecológicos primarios del sitio (hidrología, captura de radiación solar, ciclado de nutrientes) que sobrepasan la

capacidad de autoreparación, traspasándose un umbral ecológico e iniciándose la transición a un estado estable alternativo integrado por un conjunto de comunidades vegetales diferentes (70, 16, 9). En el umbral de transición de un estado a otro los mecanismos de retroalimentación (procesos ecológicos) cambian de negativos (aumentan la resiliencia) a positivos (disminuyen la resiliencia) (55). Por ejemplo, en pastizales con arbustos aislados, los pastos proveen el combustible que posibilita que el disturbio por fuego controle el establecimiento de arbustos (retroalimentación negativa, dado que la respuesta del sistema tiende a contrarrestar el cambio). Pero el pastoreo o la combinación pastoreo-sequía pueden reducir la disponibilidad y continuidad de los pastos al punto tal de limitar el disturbio por fuego, posibilitando el establecimiento de arbustos y la transición a un arbustal (retroalimentación positiva, dado que la respuesta del sistema tiende a exacerbar el cambio). Dentro de cada estado, las denominadas "comunidades en riesgo" son las que presentan la menor resiliencia (porque los mecanismos de retroalimentación cambian más fácilmente de negativos a positivos), y por lo tanto las más cercanas a umbrales de transición hacia estados estables alternativos (57). En el ejemplo de pastizales del sur del Distrito del Caldén, la comunidad dominada por especies anuales del estado "Pastizal" (Figura 3-d) representaría una "comunidad en riesgo", dada su menor resiliencia en respuesta al disturbio por pastoreo y sequía (en comparación con las comunidades dominadas por gramíneas perennes), y por ende la de mayor probabilidad de transición a un estado estable diferente ("Fachinal" o "Pajonal") (Figura 4). Completada la transición, la trayectoria es irreversible sin acciones de manejo específicas que usualmente insumen una gran cantidad de energía. La recuperación de un estado deseable implica recorrer la transición en el sentido inverso mediante la restauración activa de mecanismos de retroalimentación negativos. En el ejemplo del arbustal, el mecanismo de retroalimentación negativo a restaurar es la acumulación de pasto para posibilitar que el disturbio por fuego controle los arbustos.

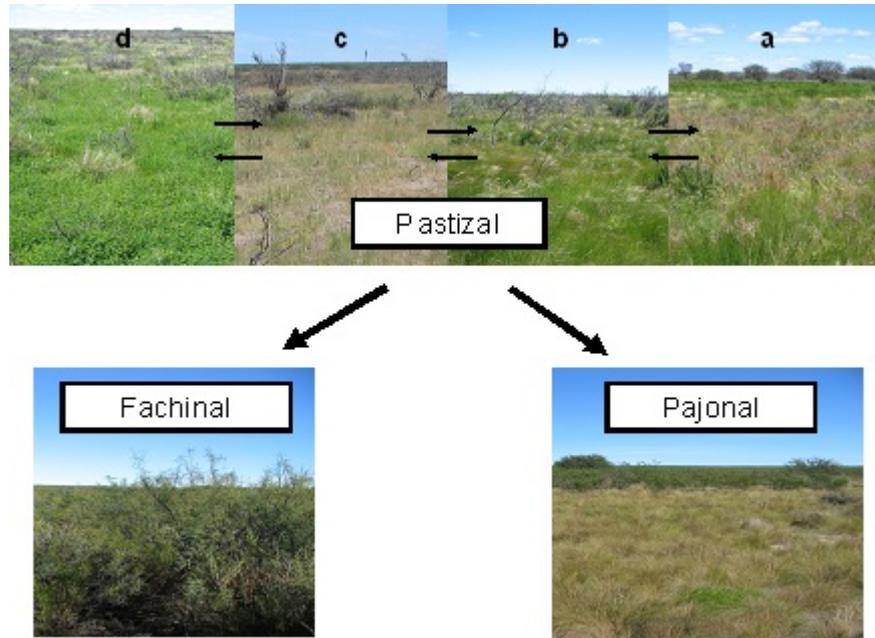


Figura 3: Representación de la dinámica de la vegetación en el sur del Distrito del Caldén mediante el Modelo de Estados y Transiciones. Las letras (a, b, c, d) indican diferentes comunidades vegetales dentro del estado "Pastizal".

Figure 3: Representation of the vegetation dynamics in the south of the Caldén District by the State and Transition Model. Letters (a, b, c, d) indicate different plant communities within the state "Pastizal".

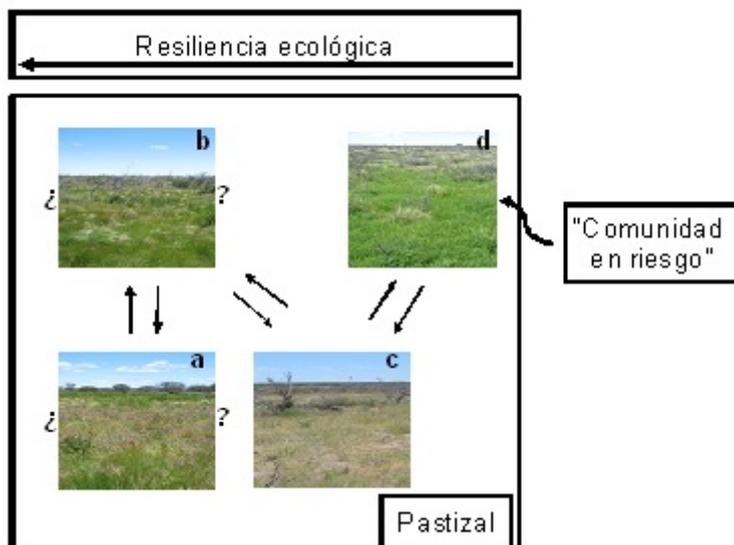


Figura 4: Dinámica de la vegetación dentro del estado "Pastizal" en el sur del Distrito del Caldén, ordenado según el nivel de resiliencia ecológica de las distintas comunidades. Las letras son como en la Figura 3. Los signos de interrogación indican incertidumbre sobre cuál de las dos comunidades (a o b) es la más resiliente al disturbio por pastoreo.

Figure 4: Vegetation dynamics within the "Pastizal" state in the south of the Caldén District, ordered according the

level of ecological resilience of the different communities. Letters are as in Figure 3. Question marks indicate uncertainty on which of the plant communities (a or b) is more resilient to grazing disturbance.

Operacionalmente, una crítica al concepto de umbral ecológico es el enfoque en las consecuencias catastróficas del traspaso del mismo, a expensas de los procesos graduales y determinísticos que lo preceden (ver 2). Este problema puede remediarse distinguiendo entre tipos de umbrales (5). A lo largo de la transición entre estados estables alternativos, primero se traspasaría un “umbral de patrón estructural”. Si un disturbio conduce a un valor crítico de patrón estructural (Ej., tamaño y conectividad de parches con suelo desnudo), la tasa de un proceso (Ej., erosión del suelo) puede cambiar en forma no lineal debido a la retroalimentación positiva con el cambio en el patrón estructural. Luego se traspasaría un “umbral de proceso”, resultante de las consecuencias de la tasa del proceso alterado sobre el ambiente, tal el efecto de una mayor tasa de erosión del suelo sobre el espesor y calidad del mismo. Finalmente se traspasaría un “umbral de degradación”, donde el cambio en el ambiente determina condiciones fuera del límite de tolerancia de las especies previa-

mente dominantes. La importancia práctica de la distinción entre tipos de umbrales es que resulta más factible revertir un cambio cuando se ha atravesado un umbral de patrón estructural únicamente, en comparación con situaciones donde se ha atravesado un umbral de proceso o de degradación.

La Figura 5 intenta ilustrar los diferentes tipos de umbrales ecológicos en un pastizal del Monte Oriental Rionegrino (13). El “umbral de patrón estructural” estaría representado por el tamaño y conectividad alcanzado por los parches de suelo desnudo; el “umbral de proceso” por la pérdida de suelo (evidenciada por la presencia de canto rodado sobre la superficie del mismo) resultante del proceso alterado (erosión) por el cambio de patrón estructural; mientras que el “umbral de degradación” por la preponderancia del pavimento de erosión en los parches desprovistos de vegetación, tornando a estos ambientes intolerables para la vegetación previamente existente en los mismos (34). La factibilidad de revertir los cambios, y el costo asociado disminu-

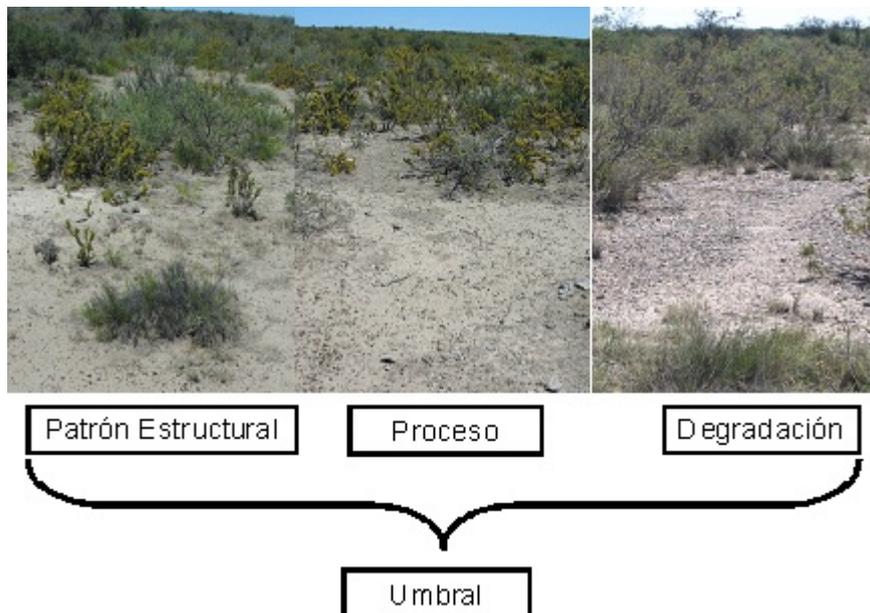


Figura 5: Representación de tres tipos de umbrales ecológicos en el Monte Oriental Rionegrino.
Figure 5: Representation of three types of ecological thresholds in the Monte Oriental Rionegrino.

yen y aumentan, respectivamente, en la medida que se traspasan umbrales de proceso y de degradación.

Del marco conceptual descripto se deduce que el objetivo primario de manejo del pastoreo en cada sitio ecológico del pastizal es preservar la comunidad vegetal deseable, evitando cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del mismo. En consonancia, la planificación de manejo del pastoreo debería estar enfocada principalmente en el control de la carga animal, los periodos de utilización y descanso, e indicadores de riesgo inminente de cambios indeseables.

2. Regulación de la carga animal

Las sequías impredecibles de diferente intensidad y duración constituyen la característica distintiva de las regiones áridas y semiáridas del mundo, y lo lógico es que los sistemas de producción ganadera se adapten al patrón, variabilidad e imprevisibilidad del régimen hídrico local. Dicho esto, el mantenimiento de una carga animal alta e inflexible no constituye la decisión apropiada. Sin embargo, esta decisión es la más común en pastizales de distintas partes del mundo (28). Decisiones alternativas, mejor adaptadas biológica y económicamente a la variabilidad e imprevisibilidad climática en el mediano y largo plazo, son la de trabajar con una carga animal conservadora (25, 61, 44, 49, 3, 43) o la de variar la carga animal en función de las lluvias y por ende de disponibilidad de pasto (20, 42). Respecto esta última variante, los ajustes se deberían realizar variando la carga de animales jóvenes (64). Si el ajuste se realiza sacando y reponiendo animales adultos (vientres) la ecuación económica comúnmente empeora (15). Además, con la venta de animales adultos se pueden perder años de mejora genética, y de adaptación de los animales al ambiente local (46). Una posibilidad sería la de ajustar la carga de animales adultos a un nivel conservador de utilización de la producción anual de forraje promedio (30-60% según las condiciones biofísicas del lugar; 26, 50) o de la capacidad de carga promedio (40-80%

según las condiciones biofísicas del lugar; 37, 64), o a la capacidad de carga del pastizal en situación de sequía ordinaria (sequía moderada de menos de un año de duración). Esta carga conservadora ayudaría a prevenir la degradación del pastizal en dichas condiciones. En síntesis, el valor absoluto de la carga de animales adultos dependerá de cada caso particular, y su determinación debería ser parte del manejo adaptativo del pastizal. En los años húmedos, el sobrante de pasto podría servir para recuperar vigor en las especies claves del pastizal (38, 54, 3), para realizar quemas controladas con el fin de prevenir cambios florísticos indeseables (1, 35) o destinarse a la recría (64, 37).

En situaciones de sequía extraordinaria (sequías severas de más de un año de duración), la reducción oportuna parcial (comenzando por los animales más susceptibles) o total de animales adultos constituiría la decisión a tomar para evitar o atenuar la degradación del pastizal (28). Una práctica común en estas situaciones es la suplementación para retrasar la salida de los animales del campo. Pero si los animales siguen teniendo acceso al pastizal, la suplementación puede agravar aún más el deterioro porque prolonga la sobreutilización del mismo. Además, cuando ocurre este tipo de sequía hay que tener en cuenta la falta de respuesta inmediata post-sequía de la vegetación, producto de la mortandad de plantas, baja densidad de macollas por mata y reducción del banco de semillas del suelo (41). En concordancia, la mayor pérdida de condición corporal del ganado comúnmente se observa en el año post-sequía, aún con lluvias por encima del promedio (20).

3. Regulación de los periodos de utilización y descanso

Otra de las decisiones importantes de manejo del pastoreo tiene que ver con el control de los periodos de utilización y descanso. En este sentido, la estrategia de pastoreo debería apuntar al mantenimiento del vigor de las especies claves del pastizal, de modo tal de permitir la expresión del potencial producti-

vo, la capacidad reproductiva y la habilidad competitiva de las mismas (14). Asumiendo estabilidad temporal discontinua entre el crecimiento de los pastos y el consumo animal (40), lo cual es de esperar ocurra con alta frecuencia en pastizales de regiones áridas y semiáridas dominados por gramíneas perennes, la táctica para realizar la estrategia antes señalada sería evitar sobrepasar un nivel mínimo de biomasa residual (6, 31) y otorgar periodos de descanso apropiados para la recuperación del área foliar perdida por defoliación (22). Ambos requerimientos (control de la biomasa residual y del periodo de descanso) podrían satisfacerse mediante un sistema de pastoreo rotativo, enmarcado en un plan de manejo adaptativo (29, 62, 63). La flexibilidad asociada al manejo adaptativo resulta esencial en la operación de sistemas de pastoreo rotativo exitosos en escenarios complejos, variables e impredecibles (68, 32). Ayudaría en esto el desarrollo de "sistemas de soporte de decisiones" (que combinan información de muy distinta fuente: mapas, modelos de procesos biológicos y conocimiento de expertos), y el reconocimiento que los productores mismos tienen mucho que ver en el desarrollo del mejor sistema de pastoreo (33).

En esta parte de la presente contribución, vale mencionar dos trabajos recientes sobre manejo del pastoreo en pastizales que cuestionan la superioridad del pastoreo rotativo sobre el pastoreo continuo. En uno de los trabajos (10), al revisar la evidencia experimental disponible los autores concluyeron que el pastoreo rotativo (en distintas variantes) no fue superior al pastoreo continuo, en variables de respuestas relacionadas con la vegetación y la producción animal. El desacuerdo de distintos actores (productores, asesores, técnicos e investigadores) no se hizo esperar, dado la evidencia anecdótica a favor del pastoreo rotativo. La explicación más parsimoniosa de la controversia sería la falta de precisión sobre tipo de pastoreo rotativo al que se está haciendo referencia. El "pastoreo rotativo" de los experimentos, a escala temporal y espacial reducida y aplicado como tratamiento (i.e., carga animal fija, periodos de pastoreo y descanso fijos), dista en mucho del

"pastoreo rotativo" adaptativo, flexible, que enfatiza beneficios socio-económicos, aplicado a escala comercial (12, 32). Por otra parte, la evidencia circunstancial básica sobre las respuestas morfo-fisiológicas de las plantas a defoliaciones moderadas a intensas es consistente con la hipótesis de superioridad del pastoreo rotativo en el mantenimiento del vigor de las especies clave del pastizal. Las plantas pastoreadas requieren un periodo pos-defoliación de semanas de duración (variable en función de características inherentes a la especie y del ambiente biótico y abiótico que habitan) para reajustar la morfo-fisiología y recuperar un funcionamiento normal (47), requerimiento más factible de satisfacer con un sistema de pastoreo rotativo que con pastoreo continuo. El descanso pos-defoliación es crítico para la supervivencia, crecimiento y reproducción de las plantas, aun en especies tolerantes a las defoliaciones (14).

En el restante trabajo (4) los autores ponen en duda la superioridad del pastoreo rotativo sobre el pastoreo continuo en pastizales naturales de regiones áridas y semiáridas en particular, aduciendo que en este tipo de pastizales el crecimiento de los pastos está limitado primariamente por las precipitaciones, más que por las frecuencias de las defoliaciones. No obstante, la argumentación propuesta podría ser válida en el extremo de aridez, donde comúnmente abundan especies efímeras cuyo crecimiento está controlado casi con exclusividad por eventos de lluvias pulsantes e infrecuentes (39), lo cual limita una retroalimentación fuerte entre la intensidad de pastoreo y la dinámica de la vegetación (56). Pero no así para el resto de las situaciones, donde el crecimiento de los pastos es de esperar varíe con las precipitaciones y con la frecuencia de las defoliaciones (23, 7).

4. Prevención de cambios indeseables e irreversibles en el pastizal

La prevención de transiciones a estados indeseables, en principio requiere del monitoreo de indicadores de riesgo inminente de cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del pastizal.

Dichos indicadores deberían representar alertas tempranas, tales como pérdida de vigor y disminución del tamaño de gramíneas perennes palatables, aumento en abundancia de especies anuales, establecimiento de especies indeseables (leñosas, gramíneas perennes de baja palatabilidad), incremento en tamaño y conectividad de parches con suelo desnudo, pérdida de estabilidad en agregados de suelo, etc. (45, 17, 58, 30, 36, 53). La alerta temprana resulta crítica, ya que la reversibilidad de los cambios indeseables es más factible y menos costosa. Mediante los indicadores en cuestión es posible identificar “comunidades en riesgo”, cuya existencia debería alertar sobre la necesidad de implementar acciones de manejo preventivas con el fin de impedir la ocurrencia de cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del pastizal. Dichas acciones deberían enfocarse en la reversión de cambios de patrón estructural que tornan al sistema vulnerable a alteraciones determinísticas o eventos pulsantes (11), e implicarían decisiones específicas en el manejo del pastoreo en combinación con otras decisiones de manejo (Ej. quema, rolado).

5. Conclusiones

El análisis e interpretación de la revisión bibliográfica precedente sugiere que el manejo adaptativo del pastoreo es imprescindible para la utilización sostenible de pastizales de zonas áridas y semiáridas. A través del manejo adaptativo se flexibiliza la carga animal y se regula la duración de los periodos de utilización y descanso, fundamentalmente en función de la limitante primaria en este tipo de ecosistema: el agua. También en el marco de un manejo adaptativo, y mediante el monitoreo de indicadores de riesgo y acciones de manejo específicas, se pueden corregir alteraciones estructurales y funcionales en el pastizal que comprometan la preservación de la comunidad vegetal deseable.

6. Bibliografía

1. Ansley, R.J., Pinchak, W.E., Teague, W.R., Kramp, B.A., Jones, D.L. y Barnett, K. 2010. Integrated grazing and prescribed fire restoration strategies in a mesquite savanna: II. Fire behavior and mesquite landscape cover responses. *Rangeland Ecol. Manag.* 63: 286-297.
2. Ares, J., Del Valle, H. y Bisigato, A. 2003. Detection of process-related changes in plant patterns at extended spatial scales during early dryland desertification. *Global Change Biol.* 9: 1643-1659.
3. Ash, A.J., Corfield, J.P., McIvor, J.G. y Ksiksi, T.S. 2011. Grazing Management in Tropical Savannas: Utilization and Rest Strategies to Manipulate Rangeland Condition. *Rangeland Ecol. Manag.* 64: 223-239.
4. Bailey, D.W. y Brown, J.R. 2011. Rotational grazing systems and livestock grazing behavior in shrub-dominated semi-arid and arid rangelands. *Rangeland Ecol. Manag.* 64:1-9.
5. Bestelmeyer, B.T. 2006. Threshold concepts and their use in rangeland management and restoration: The good, the bad, and the insidious. *Restor. Ecol.* 14: 325-329.
6. Briske, D.D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. In: R. K. Heitschmidt, R.K. y Stuth, J.W. (Eds.). *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Timber Press, Portland. Pp 85-108.
7. Briske, D.D., Fuhlendorf, S.D. y Smeins, F.E. 2003. Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms. *J. Appl. Ecol.* 40: 601-614.
8. Briske, D.D., Fuhlendorf, S.D. y Smeins, F.E. 2005. State-and-transition models, thresholds, and rangeland health: A synthesis of ecological concepts and perspectives. *Rangeland Ecol. Manag.* 58: 1-10.
9. Briske, D.D., Bestelmeyer, B.T., Stringham, T.K. y Shaver, P.L. 2008a. Recommendations for Development of Resilience-Based State-and-Transition Models. *Rangeland Ecol. Manag.* 61: 359-367.
10. Briske, D.D., Derner, J.D., Brown, J.R., Fuhlendorf, S.D., Teague, W.R., Havstad, K.M., Gillen, R.L., Ash, A.J. y Willms, W.D. 2008b. Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecol. Manag.* 61: 3-17.

11. Briske, D.D., Washington-Allen, R.A., Johnson, C.R., Lockwood, J.A., Lockwood, D.R., Stringham, T.K. y Shugart, H.H. 2010. Catastrophic thresholds: a synthesis of concepts, perspectives and applications. *Ecol. Soc.* [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art37/>
12. Brown, J., Kothmann, M. 2009. Rotational grazing and the profession and practice of rangeland management. *Rangelands* 31: 3-4.
13. Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. In: Kugler, W.F. (Ed.) *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, Tomo II-2da. Ed. Acmé, Buenos Aires.
14. Caldwell, M.M. 1984. Plant requirements for prudent grazing. In: Committee on Developing Strategies for Rangeland Management, National Research Council of the National Academy of Sciences (Eds.). *Developing strategies for rangeland management*. Westview Press, Boulder. Pp. 117-152.
15. Campbell, B.M., Gordon, I.J., Luckert, M.K., Petheram, L. y Vetter, S. 2006. In search of optimal stocking regimes in semi-arid grazing lands: One size does not fit all. *Ecol. Econ.* 60:75-85.
16. Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M. y Abel, N. 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4:765-781.
17. Chartier, M.P. y Rostagno, C.M. 2006. Soil erosion thresholds and alternative states in Northeastern Patagonian Rangelands. *Rangeland Ecol. Manag.* 59: 616-624.
18. Clements, F.E. 1916. *Plant succession: An analysis of the development of vegetation*. Carnegie Inst. Washington Pub. 242: 1-512.
19. Derry, J.F. y Boone, R.B. 2010. Grazing systems are a result of equilibrium and non-equilibrium dynamics. *J. Arid Environ.* 74: 307-309.
20. Díaz-Solís, H., Grant, W.E., Kothmann, M.M., Teague, W.R. y Díaz-García, J.A. 2009. Adaptive management of stocking rates to reduce effects of drought on cow-calf production systems in semi-arid rangelands. *Agr. Syst.* 100: 43-50.
21. Distel, R.A. y Bóo, R.M. 1996. Vegetation states and transitions in temperate semiarid rangelands of Argentina. In: N.E. West (Ed.). *Rangelands in a Sustainable Biosphere*. Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress (Vol. 1). Society for Range Management, Denver. Pp 117-118.
22. Ferraro, D.O. y Oesterheld, M. 2002. Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. *Oikos* 98: 125-133.
23. Fuhlendorf, S.D., Briske, D.D. y Smeins, F.E. 2001. Herbaceous vegetation changes in variable rangeland environments: The relative contribution of grazing and climatic variability. *Appl. Veg. Sci.* 4: 177-188.
24. Gallego, L., Distel, R.A., Camina, R. y Rodríguez Iglesias, R.M. 2004. Soil phytoliths as evidence for species replacement in grazed rangelands of central Argentina. *Ecography* 27: 725-732.
25. Higgins, S.I., Kantelhardt, J., Scheiter, S. y Boerner, J. 2007. Sustainable management of extensively managed savanna rangelands. *Ecol. Econ.* 62: 102-114.
26. Holechek, J.L. 1988. An approach for setting the stocking rate. *Rangelands* 10: 10-14.
27. Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann.Rev.Ecol.Syst.* 4: 1-23.
28. Illius, A.W., Derry, J.F. y Gordon, I.J. 1998. Evaluation of strategies for tracking climatic variations in semi-arid grazing systems. *Agr. Syst.* 57: 381-398.
29. Jacobo, E.J., Rodríguez, A.M., Bartolini, N. y Deregibus, V.A. 2006. Rotational grazing effects on rangeland vegetation at farm scale. *Rangeland Ecol. Manag.* 59: 249-257.
30. Kaghergis, E., Rocca, M.E. y Fernández-Giménez, M.E. 2011. Indicators of ecosystem function identify alternate states in the sagebrush steppe. *Ecol. Appl.* 21: 2781-2792.
31. Kahn, L.P., Earl, J.M. y Nicholls, M. 2010. Herbage mass thresholds rather than plant phenology are a more useful cue for grazing management decisions in the mid-north region of South Australia. *Rangeland J.* 32: 379-388.
32. Kothmann, M. 2009. Grazing Methods: A viewpoint. *Rangelands* 31: 5-10.
33. Kothmann, M., Teague, R., Díaz-Solís, H. y Grant, W. 2009. Viewpoint: New approaches and protocols for grazing management research. *Rangelands* 31: 31-36.
34. Kröpfl, A.I., G.A. Cecchi, N.M. Villasuso y R.A. Distel. 2012. Degradation and recovery processes in semi-arid patchy rangelands of northern Patagonia, Argentina. *Land Degrad. Dev.* DOI: 10.1002/ldr.1145
35. Limb, R.F., Fuhlendorf, S.D., Engle, D.M., Weir, J.R., Elmore, R.D., y Bidwell, T.G. 2011. Pyric-Herbivory and Cattle Performance in Grassland Ecosystems. *Rangeland Ecol. Manag.* 64: 659-663.
36. López, D.R., Cavallero, L., Brizuela, M.A. y Aguiar, M.R. 2011. Ecosystemic structural-functional approach of the state and transition model. *Appl. Veg. Sci.* 14: 6-16.

37. Lyons, R.K. y Machen, R.V. 2011. Stocking rate: the key grazing management decision. Texas Cooperative Extension, Texas A&M University System. [online] URL: http://agrifilecdn.tamu.edu/coastalbend/files/2011/10/StockingRatePasture_9.pdf
38. Müller, B., Frank, K. y Wissel, C. 2007. Relevance of rest periods in non-equilibrium rangeland systems – A modelling analysis. *Agr. Syst.* 92: 295-317.
39. Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4: 25-51.
40. Noy-Meir, I. 1975. Stability of grazing systems: an application of predator-prey graphs. *J. Ecol.* 63: 459-481.
41. Oesterheld, M., Loreti, J., Semmartin, M. y Sala, O.E. 2001. Inter-annual variation in primary production of a semi-arid grassland related to previous-year production. *J. Veg. Sci.* 12: 137-142.
42. Oliva, G., Ferrante, D., Puig, S. y Williams, M. 2012. Sustainable sheep management using continuous grazing and variable stocking rates in Patagonia: a case study. *Rangeland J.* D.O.I.: <http://dx.doi.org/10.1071/RJ12016>
43. Orr, D.M. y O'Reagain, P.J. 2011. Managing for rainfall variability: impacts of grazing strategies on perennial grass dynamics in a dry tropical savanna. *Rangeland J.* 33: 209-220.
44. Quiroga, R.E., Blanco, L.J. y Ferrando, C.A. 2009. A case study evaluating economic implications of two grazing strategies for cattle ranches in northwest Argentina. *Rangeland Ecol. Manag.* 62: 435-444.
45. Pellant, M., Shaver, P., Pyke, D.A. y Herrick, J.E. 2005. Interpreting indicators of rangeland health: version 4. Technical Reference 1734-6. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center, Denver, Colorado, USA.
46. Provenza, F.D. 2008. What does it mean to be locally adapted and who cares anyway? *J. Anim. Sci.* 86: E271-E284.
47. Richards, J.H. 1993. Physiology of plant recovering from defoliation. In: *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*, Palmerston North. Pp. 85-93.
48. Richardson, F.D., Hahn, B.D. y Hoffman, M.T. 2005. On the dynamics of grazing systems in the semi-arid succulent Karoo: The relevance of equilibrium and non-equilibrium concepts to the sustainability of semi-arid pastoral systems. *Ecol. Model.* 187: 491-512.
49. Richardson, F.D., Hoffman, M.T. y Gillson, L. 2010. Modeling the complex dynamics of vegetation, livestock and rainfall in a semi-arid rangeland in South Africa. *Afr. J. Range For. Sci.* 27: 125-142.
50. Ritten, J.P., Bastian, C.T. y Frasier, W.M. 2010. Economically optimal stocking rates: A bioeconomic grazing model. *Rangeland Ecol. Manag.* 63: 407-414.
51. Sampson, A.W. 1919. Plant succession in relation to range management. *USDA Bull.* 791.
52. Sasaki, T., Okayasu, T., Jamsran, U. y Takeuchi, K. 2008. Threshold changes in vegetation along a grazing gradient in Mongolian rangelands. *J. Ecol.* 96: 145-154.
53. Sasaki, T., Ocuho, S., Okayasu, T., Jamsran, U., Ohkuro, T. y Takeuchi, K. 2011. Indicators species and functional groups as predictors of proximity to ecological thresholds in Mongolian rangelands. *Plant Ecol.* 212: 327-342.
54. Scanlan, J.C., Ghish, G.L., Pahl, L.I., Cowley, R.A. y MacLeod, N.D. 2011. Assessing the impact of pasture resting on pasture condition in the extensive grazing lands of northern Australia. 19th International Congress on Modeling and Simulation, Perth, Australia. Online URL <http://mssanz.org.au/modsim2011>
55. Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell, W.M., Virginia, R.A. y Whitford, W.J. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-1048.
56. Silcock, J.L. y Fensham, R.J. 2012. Arid vegetation in disequilibrium with livestock grazing: Evidence from long-term exclosures. *Austral Ecol.* DOI: 10.1111/j.1442-9993.2012.02374.x
57. Speed, J.D.M., Cooper, E.J., Jónsdóttir, I.S., van der Wal, R. y Woodin, S.J. 2010. Plant community properties predict vegetation resilience to herbivore disturbance in the Arctic. *J. Ecol.* 98: 1002-1013.
58. Stokes, C.J., Yeaton, R.I., Bayer, M.B. y Bestelmeyer, B.T. 2009. Indicators patches: exploiting spatial heterogeneity to improve monitoring systems. *Rangeland J.* 31: 385-394.
59. Stringham, T.K., Krueger, W.C. y Shaver, P.L. 2003. State and transition modeling: An ecological process approach. *J. Range Manage.* 56: 106-113.
60. Suding, K.N. y Hobbs, R.J. 2009. Threshold models in restoration and conservation: a developing framework. *Trends Ecol. Evol.* 24: 271-279.

61. Teague, W.R., Grant, W.E., Kreuter, U.P., Diaz-Solis, H., Dube, S., Kothmann, M.M., Pinchak, W.E. y Ansley, R.J. 2008a. An ecological economic simulation model for assessing fire and grazing management effects on mesquite rangelands in Texas. *Ecol. Econ.* 64: 611-624.
62. Teague, R., Provenza, F., Norton, B., Steffens, T., Barnes, M., Kothmann, M. y Roath, R. 2008b. Benefits of Multi-Paddock Grazing Management on Rangelands: Limitations of Experimental Grazing Research and Knowledge Gaps. In: Schroder, H.G. (Ed.). *Grasslands: Ecology, Management and Restoration*. Nova Science Publishers, Inc., New York. Pp. 41-80.
63. Teague, W.R., Dowhower, S.L., Baker, S.A., Haile, N., DeLaune, P.B., Conover, D.M. 2011. Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agr. Ecosys. Environ.* 141: 310-322.
64. Torell, L.A., Murugan, S. y Ramirez, O.A. 2010. Economics of flexible versus conservative stocking strategies to manage climate variability risk. *Rangeland Ecol. Manage.* 63: 415-425.
65. Vetter, S. 2005. Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *J. Arid Environ.* 62: 321-341.
66. Vetter, S. 2009. Drought, change and resilience in South Africa's arid and semi-arid rangelands. *S. Afr. J. Sci.* 105: 29-33.
67. Walker, S. y J.B. Wilson. 2002. Tests for nonequilibrium, instability, and stabilizing processes in semiarid plant communities. *Ecology* 83: 809-822.
68. Watson, I.W., Burnside, D.G. y Holm, A.M. 1996. Event-driven or continuous; what is the better model for managers? *Rangeland J.* 18: 351-369.
69. Westoby, M. 1980. Elements of a theory of vegetation dynamics in arid rangelands. *Israel J. Bot.* 28: 169-194.
70. Westoby, M., Walker, B. y Noy-Meir, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *J. Range Manage.* 42: 266-274.