

# **Revisión Pastoreo en múltiples potreros en pastizales: ¿Por qué la dicotomía perceptiva entre los resultados de la investigación y la experiencia de los ganaderos?**

## **Review Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience?**

Richard Teague a,b,\* , Fred Provenza c , Urs Kreuter a , Tim Steffens d , Matt Barnes e a  
Ecosystem Science and Management, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA b  
Texas A&M AgriLife Research, Texas A&M University System, Vernon, TX 76384, USA c  
Wildland Resources, Utah State University, Logan, UT 84322-5230, USA dUSDA-Natural  
Resources Conservation Service, Springfield, CO 81073, USA e Shining Horizons Land  
Management, LLC, San Luis, CO 81152, USA

Journal of Environmental Management 128 (2013) 699e717

### **ABSTRACTO**

**Mantener o mejorar la capacidad productiva y la resiliencia de los ecosistemas de pastizales es fundamental para el apoyo continuo de las personas que dependen de ellos para su sustento, especialmente frente al cambio climático. Esto también es necesario para la prestación continua de servicios ecosistémicos derivados de los pastizales para el beneficio más amplio de las sociedades de todo el mundo. El manejo del pastoreo en múltiples potreros se ha recomendado desde mediados del siglo XX como una herramienta importante para gestionar de manera adaptativa los ecosistemas de pastizales para sostener la productividad y mejorar el manejo animal. Además, existe mucha evidencia anecdótica de los productores de que, si se aplica adecuadamente, el pastoreo en múltiples potreros puede mejorar la producción de forraje y ganado. Por el contrario, revisiones recientes de estudios publicados sobre sistemas de pastoreo basados en pastizales han concluido que, en general, los ensayos de campo no muestran ninguna superioridad de la vegetación o la producción animal en el pastoreo de múltiples potreros en comparación con la siembra continua durante un año en sistemas de producción ganadera de un solo potrero. Nuestro objetivo es proporcionar un marco para las decisiones de manejo de pastizales que respalden la productividad y la resiliencia de los pastizales y luego identificar por qué existen diferentes percepciones entre los administradores de pastizales que han utilizado eficazmente sistemas de pastoreo de múltiples potreros y los científicos investigadores que los han estudiado. Primero, discutimos la ecología de los ecosistemas pastoreados bajo herbívoros en libertad y en condiciones de cercado de un solo potrero. En segundo lugar, identificamos cinco principios que sustentan las acciones de manejo adaptativo utilizadas por los administradores exitosos del pastoreo y el marco ecológico, fisiológico y de comportamiento que utilizan para lograr las metas deseadas de conservación, producción y finanzas. En tercer lugar, examinamos los principios de gestión adaptativa necesarios para gestionar con éxito los pastizales sujetos a**

**condiciones ambientales variables. Cuarto, describimos las diferencias entre la interpretación de los resultados de la investigación de sistemas de pastoreo reportados en la literatura científica y los resultados reportados por administradores de pastoreo exitosos; Destacamos las deficiencias de la mayoría de las investigaciones sobre sistemas de pastoreo realizadas anteriormente para proporcionar información relevante para los administradores de pastizales que buscan alcanzar las metas ambientales y económicas deseadas. Finalmente, describimos las lagunas de conocimiento y presentamos hipótesis comprobables para ampliar nuestra comprensión de cómo se puede utilizar el manejo planificado del pastoreo en múltiples potreros a escala empresarial ganadera para facilitar el manejo adaptativo de los pastizales en condiciones ambientales dinámicas.**

© 2013 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados.

## 1. Introducción

Los pastizales son ecosistemas y accidentes geográficos diversos que cubren aproximadamente la mitad de la superficie terrestre del mundo, excluidas la Antártida y Groenlandia, y que no son aptos para la agricultura o la silvicultura intensivas debido a limitaciones climáticas, edáficas o topográficas (Holechek et al., 2004). Las personas de muchas poblaciones rurales y urbanas dependen de ellos para su sustento, a menudo a través de la producción ganadera, y para los servicios ecosistémicos que afectan el bienestar humano. Dichos servicios incluyen el mantenimiento de suelos estables y productivos, el suministro de agua limpia, el sustento de plantas, animales y otros organismos que sustentan los medios de vida humanos, y otras características que respaldan los valores estéticos y culturales (Daily, 1997; Grice y Hodgkinson, 2002.)

Los pastizales sanos son más productivos, estables y resilientes que aquellos en peores condiciones y proporcionan mayores ingresos y servicios ecosistémicos más abundantes (Heitschmidt y Taylor,

1991; Oesterheld y otros, 1992; Milchunas y Lauenroth, 1993;

Wessels et al., 2007; Teague et al., 2009a, 2011). Por lo tanto, para apoyar su sostenibilidad, cualquiera que gestione los pastizales debe aspirar a mejorar la salud y la resiliencia socioecológica de estos ecosistemas (Walker et al., 2002). Esto requiere adoptar horizontes de planificación a largo plazo, conservar los recursos primarios, elegir objetivos de gestión adecuados y adaptarse continuamente a condiciones ecológicas, sociales y económicas dinámicas.

Los cambios en las condiciones ambientales a menudo ocurren de manera tan gradual que la mayoría de las personas no son conscientes de ellos hasta que se excede alguna condición umbral (Senge, 1994). A menos que se monitoreen continuamente indicadores de

cambio suficientemente sensibles, los propietarios de tierras que se centran en la maximización de ganancias a corto plazo pueden no darse cuenta de que los ecosistemas de los que dependen sus sistemas de producción se están degradando sistemáticamente (Kothmann et al., 1971; Whitson et al., 1982; Knight et al., 1990; League et al., 2009a). Como resultado, maximizar la producción ganadera de los pastizales es inevitablemente un objetivo insostenible tanto desde el punto de vista ecológico como económico (Workman, 1986). Para seguir siendo económicamente viables, los administradores deben mantener o mejorar las funciones y procesos biofísicos necesarios para sostener la salud y la resiliencia de los ecosistemas, incluida la acumulación de materia orgánica en el suelo, la captura de energía solar, la infiltración de agua y el ciclo de nutrientes, manteniendo al mismo tiempo la biodiversidad del ecosistema. A largo plazo, esta estrategia proporciona el mayor potencial de producción acumulativo y ganancias económicas sin disminuir la prestación de servicios ecosistémicos para la sociedad.

Los ganaderos con tenencia segura de la tierra generalmente tienen un interés personal en gestionar sus recursos para lograr altos rendimientos y rentabilidad sostenidos. Lograr este objetivo requiere que los ganaderos integren conocimientos de disciplinas biológicas, económicas y de gestión y ajusten continuamente las acciones de gestión en respuesta a las condiciones ambientales y socioeconómicas cambiantes. En respuesta, la gente ha desarrollado numerosas estrategias de pastoreo para mantener y mejorar la salud de los pastizales. Sin embargo, aplicar cualquiera de ellos con éxito requiere el uso de una gestión adaptativa basada en información científica relevante y, lo que es igualmente importante, conocimiento y experiencia locales para responder a circunstancias en constante cambio (Walters,

1986; Holling y Meffe, 1996; Walker et al., 2002). Los beneficios del pastoreo en múltiples potreros para mantener la productividad y la rentabilidad y para las respuestas de manejo adaptativo a las condiciones cambiantes han sido evidentes para los ganaderos durante muchos años en muchos países (Tainton et al., 1999; Teague et al., 2009b). Sin embargo, revisiones recientes de estudios publicados sobre pastoreo en pastizales sugieren que el pastoreo rotacional en múltiples potreros no mejora ni la vegetación ni la producción animal en comparación con la siembra continua en un solo potrero (Briske et al., 2008).

El objetivo de nuestro artículo es proporcionar un marco para las decisiones de manejo de pastizales para mejorar la resiliencia de los ecosistemas y la prestación de servicios ecosistémicos y desarrollar hipótesis comprobables que expliquen las diferencias en las perspectivas de las observaciones de los ganaderos y los resultados de la investigación científica. Al presentar el marco y las hipótesis, distinguimos entre principios y procesos de adaptación y sus manifestaciones locales para plantas, herbívoros y personas. Muchas publicaciones informan sobre las manifestaciones de respuestas particulares únicas a las condiciones locales de plantas, herbívoros e investigadores, y no se centran en los principios y procesos que se requieren para aumentar una comprensión más amplia de las respuestas a las acciones de manejo. Si bien los principios y procesos se aplican generalmente en el tiempo y el espacio, la aplicación de los tratamientos varía de un momento a otro y de un lugar a otro, lo que hace que sus respuestas sean únicas en el espacio y el tiempo.

## 2. Ecología de los ecosistemas pastoreados

### 2.1. Efectos del pastoreo bajo herbivoría en libertad

Desde finales de la Era Mesozoica, el pastoreo de grandes ungulados ha sido una parte integral de la mayoría de los ecosistemas. La coevolución de plantas y herbívoros bajo condiciones ambientales cambiantes ha resultado en ecosistemas de pastoreo altamente resilientes que sustentan más biomasa animal y sostienen niveles considerablemente más altos de herbivoría que otros hábitats terrestres (Stuart Hill y Mentis, 1982; Frank et al., 1998). El pastoreo, los incendios y los regímenes climáticos fluctuantes crean la resiliencia dinámica de los organismos que responden constantemente a los eventos biofísicos. Como consecuencia, la mayoría de los ecosistemas nunca alcanzan un estado estacionario o una etapa clímax seral (Pielou, 1991). Más bien, las perturbaciones periódicas rejuvenecen y transforman los paisajes, incluidos los nutrientes y la estructura del suelo, la composición de las especies de plantas, la estructura y la biodiversidad (Vogl, 1974; Rice y Parenti, 1978; Pickett y White, 1985; Hulbert, 1969, 1988). Los elementos clave que caracterizan a los ecosistemas de pastoreo son la variación espacial y temporal en la diversidad de plantas, el suministro de forraje y el dominio de grandes manadas migratorias de herbívoros. La heterogeneidad de la vegetación está determinada por la variación espacial en la topografía y los suelos y la variación temporal en la precipitación (McNaughton et al., 1989; Frank et al., 1998). Estos caprichos hacen que los pastores se muevan regularmente por varias razones: saciedad de agua y requerimientos de nutrientes, incluidos compuestos primarios y secundarios, ensuciamiento de los sitios con orina y heces, organización social y las influencias del fuego, la depredación, el pastoreo y la caza (Provenza, 2003a, 2003b; Bailey y Provenza, 2008). Aunque la presión del pastoreo puede ser intensa en algunos sitios, el pastoreo concentrado rara vez dura mucho tiempo cuando el movimiento de los herbívoros no está restringido; en cambio, a las plantas pastoreadas normalmente se les da tiempo para recuperarse de la defoliación cuando los rebaños se trasladan a nuevas zonas de alimentación (Frank et al., 1998). Los pastores nómadas que imitan los patrones de pastoreo de los herbívoros libres parecen tener efectos menos perjudiciales en los pastizales en comparación con los sitios donde las frecuencias de defoliación aumentan cuando los animales de pastoreo se restringen a un solo potrero cercado (Meuret, 2010).

Los herbívoros y navegadores afectan muchos procesos de los ecosistemas. A través de la orina y la defecación pueden aumentar las concentraciones de nutrientes (Holland et al., 1992) y mejorar la disponibilidad de minerales para los microbios del suelo y las raíces de las plantas. Esto influye positivamente en la nutrición de las plantas, especialmente el nitrógeno, aumentando así la fotosíntesis (Hamilton y Frank, 2001) y, en última instancia, aumentando la producción vegetal en comparación con las áreas no pastoreadas (Bryant et al., 1991; Frank et al., 1998).

Además, al crear concentraciones de materia orgánica vegetal, nutrientes y humedad del suelo, los herbívoros generan condiciones que son más propicias para el crecimiento que para el desarrollo de defensas químicas por parte de las plantas, mejorando así la

palatabilidad de las plantas (Bryant et al., 1991; Coley et al., 1985; Provenza et al., 2003b). Estos efectos de los pastores sobre la distribución del carbono y el nitrógeno son tan importantes para determinar los procesos ecológicos a escala del paisaje como la topografía, la posición catenal y el tipo de suelo (Frank y Groffman,

1998). Sin embargo, la retroalimentación potencialmente positiva de los pastores sobre los ecosistemas está mediada por condiciones de baja humedad o temperatura extrema que limitan el crecimiento de las plantas (Wallace et al., 1984; Coughenour et al., 1985; Louda et al., 1990).

## 2.2. Efectos del pastoreo en condiciones de cercado de un solo potrero

Lamentablemente, la sustitución de herbívoros silvestres en libertad por ganado gestionado por humanos ha provocado con frecuencia una grave degradación de los pastizales. El ganado domesticado se ha vuelto sedentario a medida que los humanos restringieron sus movimientos a través del paisaje, suprimieron incendios periódicos y eliminaron grandes depredadores (Milchunas y Lauenroth, 1993). Esto ha llevado a la eliminación del uso periódico de animales y de los impactos positivos de los animales en las plantas, seguido del elemento revitalizante clave del descanso periódico de la defoliación para las plantas y a una disminución de la calidad nutricional y la salud de los herbívoros (Provenza, 2008). En muchos casos, la presión sobre las plantas pastoreadas se ha incrementado aún más mediante el uso de alimentos suplementarios para retener un gran número de animales durante los períodos menos productivos (Oesterheld et al., 1992). Los animales no pastan uniformemente en el paisaje, sino que consumen repetidamente sus plantas y parches de vegetación preferidos. Esta selectividad se ve afectada más por la heterogeneidad vegetativa a nivel del paisaje y, en menor grado, por la heterogeneidad de las plantas a escala de la estación de alimentación y por la distancia de los recursos forrajeros al agua (Stuth, 1991; WallisDeVries et al., 1999). El sobrepastoreo ocurre cuando las plantas individuales son sometidas a múltiples y severas defoliaciones sin suficiente tiempo de recuperación fisiológica (Briske, 1991; Roshier y Nicol, 1998). A su vez, la herbivoría excesiva elimina cantidades umbral de biomasa y hojarasca, provocando exposición y degradación del suelo en áreas muy utilizadas (Thurow, 1991; Fuls, 1992; O'Connor, 1992; Derner et al., 1994; Ash y Stafford-Smith, 1996; Teague et al., 2004, 2011). La disposición espacial y la escala de la distribución vegetativa son determinantes importantes de los patrones de pastoreo y la selección del sitio cuando el ganado se almacena continuamente en un área determinada. Los patrones de pastoreo están influenciados además por la variación topográfica, la distribución del agua, las lapas minerales y la cobertura, y las interacciones sociales intra e interespecíficas entre herbívoros (Coughenour, 1991; Provenza, 2003b).

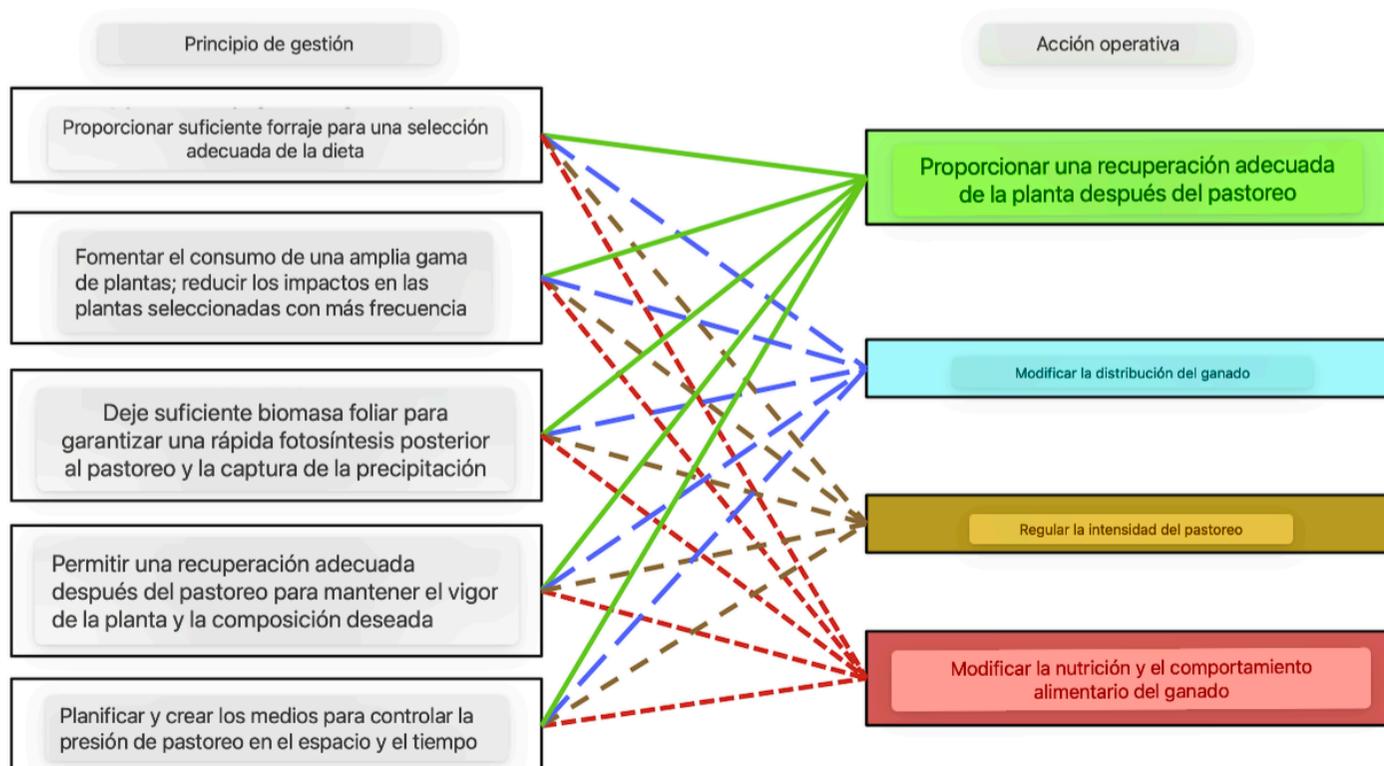
Estos factores se combinan para aumentar la heterogeneidad vegetativa a medida que aumenta el tamaño del potrero de pastoreo (Stuth, 1991; Illus y O'Connor, 1999; WallisDeVries et al., 1999), lo que típicamente causa impactos fuertes y repetidos en áreas preferidas, mientras que otras partes de el potrero recibe poca o ninguna utilización

(Coughenour, 1991; Fuls, 1992; Kellner y Bosch, 1992; Teague et al., 2004). Las sequías, que son comunes en muchos ecosistemas de pastizales, exacerbaban los efectos de la defoliación crónica (Mcivor, 2007), provocando la muerte de las plantas preferidas y permitiendo que las plantas menos deseables, que son especies de pastos, hierbas y arbustos mejor defendidas física y químicamente, se expandan. (Bryant et al., 1983; Briske, 1991; Herms y Mattson, 1992). Estos efectos de degradación se agravan con el tiempo, disminuyendo la prestación de servicios ecosistémicos que pueden ser difíciles o imposibles de restaurar (Coughenour, 1991; Fuls, 1992; Kellner y Bosch, 1992; Teague et al., 2004).

Históricamente, se ha identificado que las altas cargas ganaderas son la principal causa de la degradación de los pastizales (Heitschmidt y Taylor,

1991). Reducir las tasas de carga ganadera a niveles bajos para reducir la degradación a menudo exagera el impacto desigual del pastoreo porque las áreas y plantas más deseables dentro de ellas continúan siendo pastoreadas con mayor frecuencia e intensidad, mientras que las áreas y plantas menos deseadas se frecuentan con menos frecuencia (Ash y Stafford-Smith, 1996; Earl y Jones, 1996;

Teague et al., 2004, 2011). Por lo tanto, si bien la siembra de acuerdo con el suministro de forraje es un primer paso crucial en el manejo sostenible de los pastizales para la producción ganadera, debe aplicarse junto con otras prácticas que aumenten la distribución y el movimiento de los animales, y que incluyan la recuperación periódica de la temporada de crecimiento y períodos cortos de pastoreo. para mitigar los efectos dañinos del pastoreo selectivo repetido (Morris y Tainton, 1991; O'Connor, 1992; Norton, 1998, 2003; Provenza, 2008; Teague et al., 2004, 2011).



**Fig. 1. Vínculos entre cinco principios de gestión exitosa del pastoreo y cuatro categorías de acciones operativas utilizadas para aplicar estos principios**

### 3.2. Modificando la distribución del ganado

El uso de múltiples potreros por rebaño permite al administrador aumentar efectivamente la superficie utilizada por los animales en pastoreo; Subdividir una unidad de pastoreo en potreros más pequeños facilita ubicar el ganado en partes del paisaje que anteriormente podrían haber descuidado o subutilizado. Esto crea un aumento de facto en el forraje disponible que el ganado realmente busca, encuentra y consume en comparación con el anterior a la subdivisión (Teague et al., 2004). Incluso bajo condiciones de repoblación continua, el ganado que está restringido a potreros más pequeños utilizará más vegetación de pastizales porque la heterogeneidad del paisaje y la distribución del forraje aumentan a medida que aumenta el tamaño de la unidad de pastoreo y disminuye la densidad del ganado (Senft et al., 1985; Hart et al., 1993a, b). Debido a que el ganado desarrolla preferencias por algunas partes del paisaje sobre otras (Senft, 1989; Provenza, 2003b), las tasas de carga ganadera de facto varían de altas a bajas en un paisaje que, en promedio, está repoblado "modestamente". El uso de potreros más numerosos y más pequeños tiende a distribuir la demanda de forraje de manera más equitativa en todo el paisaje al aumentar la proporción del paisaje utilizado por el ganado, aumentar la presión del pastoreo en áreas previamente no utilizadas o poco utilizadas y disminuir la presión del pastoreo en áreas preferidas. El efecto general es aumentar la capacidad de carga de ganado para el paisaje.

### 3.3. Regular la intensidad del pastoreo

El pastoreo en múltiples potreros puede prevenir o revertir la degradación de los pastizales causada por el sobrepastoreo selectivo por áreas y parches que se desarrolla dentro de potreros únicos que se siembran continuamente (Teague et al., 2004, 2011). Si bien esto se aplica a todos los pastizales, los administradores de ganado deben ser sensibles a la capacidad relativa de las plantas para recuperarse del pastoreo debido a sus historias coevolutivas únicas con los herbívoros, a las diferencias en el grado de defoliación entre sus contemporáneos y a las condiciones ambientales actuales. (Caldwell et al., 1981; Milchunas y Lauenroth, 1993; Adler et al., 2004, 2005; De Bello et al., 2005). Cuando las plantas deben ser pastoreadas durante la temporada de crecimiento, persisten mejor cuando se defolian moderadamente y cuando existe suficiente humedad en el suelo y temperaturas del aire moderadas para el rebrote después de la defoliación (Caldwell et al., 1981). El uso de múltiples potreros por rebaño permite al administrador regular la duración de un período de pastoreo y, por lo tanto, la intensidad promedio de la defoliación, así como el período de tiempo antes de que cada potrero sea pastado nuevamente (Teague et al., 2004; Barnes et al., 2008). Cuando el período de pastoreo disminuye proporcionalmente más de lo que aumenta la densidad de ganado, la intensidad promedio de defoliación de las plantas preferidas y la oportunidad de uso repetido de áreas previamente muy utilizadas tienden a disminuir si los períodos de pastoreo son lo suficientemente cortos (Steffens et al., 2009). Cuando se combinan con una recuperación más prolongada entre períodos de pastoreo, los períodos de pastoreo más cortos permiten una rápida recuperación de las plantas perennes y aumentan la posibilidad de germinación y establecimiento de especies deseables. El grado de control sobre el momento de ocupación de un área de pastoreo y el potencial de beneficios para la producción animal y de forraje son función del número de potreros para un ciclo de rotación de pastoreo individual (Norton, 1998; Teague et al., 2004). y la duración del período de pastoreo en cada potrero. Juntos determinan la demanda de forraje en relación con el forraje disponible durante el período de pastoreo (Steffens et al., 2009).

La regulación de la intensidad del pastoreo es un factor importante que determina el vigor y la productividad de las plantas. La tasa máxima de crecimiento del forraje ocurre cuando las condiciones ambientales son óptimas y las plantas son vegetativas y tienen biomasa foliar (intermedia) adecuada (capacidad fotosintética) para volver a crecer rápidamente después del pastoreo; La tasa de crecimiento foliar es baja cuando la biomasa foliar es baja o cuando las plantas alcanzan la fase reproductiva (Booyesen, 1966; Booyesen y Tainton, 1978;

Maeda y Yonetani, 1978). La siembra continua durante toda la temporada en toda la unidad de manejo da como resultado plantas sobreutilizadas y subutilizadas, las cuales exhiben baja capacidad fotosintética y tasas de crecimiento. Por el contrario, cuando las diferencias de calidad entre las plantas son relativamente bajas, el pastoreo intensivo en múltiples potreros puede mejorar la capacidad fotosintética y las tasas de crecimiento de las plantas pastoreadas durante períodos más prolongados durante la temporada de crecimiento y en una mayor proporción del área de pastoreo al aumentar la proporción de plantas que se mantienen en un estado vegetativo

y frondoso, asumiendo que las condiciones ambientales son óptimas para el crecimiento (Teague et al., 2011). Cuando estas diferencias son altas, aumentar el número de potreros para proporcionar tiempos prolongados de recuperación post-defoliación proporciona una manera de permitir que plantas de muy alta calidad muy defoliadas se recuperen fisiológicamente más completamente entre defoliaciones y, por lo tanto, mantengan mejor su posición competitiva en la comunidad vegetal. En pastizales más méxicos, como las praderas de pastos altos, donde el agua y los nutrientes son menos limitantes para el recrecimiento, el pastoreo en múltiples potreros bien manejado puede aumentar la producción vegetal y animal al mantener las plantas en estado vegetativo durante más tiempo (Gerrish, 2004; Teague et al., 2011). En tales ecosistemas, los períodos de crecimiento son frecuentes y lo suficientemente largos como para que sea factible mantener grandes porciones de las plantas en la unidad de pastoreo en una fase frondosa y no reproductiva utilizando niveles moderados de defoliación con períodos de pastoreo de 1 a 3 días seguidos de Períodos de recuperación tan cortos como 45-90 días. Fundamentalmente, lograr este resultado en entornos altamente variables significa que la gestión debe ser flexible (Díaz-Solis et al., 2009).

En ecosistemas más xéricos que experimentan precipitaciones erráticas y períodos cortos e intermitentes de crecimiento de las plantas, como los pastizales anuales en California y los pastizales perennes en todo el mundo, donde la recuperación de las plantas es inherentemente más lenta, se necesitan diferentes estrategias de pastoreo en comparación con las más adecuadas para las áreas méxicas (Tainton et al., 1999). Los eventos de precipitación breves y esporádicos favorecen a las plantas que responden rápidamente, tanto al iniciar como al desacelerar el crecimiento en respuesta a los pulsos de humedad. En ambientes xéricos, los beneficios de períodos de pastoreo más cortos combinados con períodos de recuperación de la temporada de crecimiento más largos son relativamente pequeños en comparación con áreas más méxicas. Para mantener o mejorar las condiciones de los pastizales en ambientes más secos y en aquellos con una respuesta más lenta a la herbivoría, los administradores deben aplicar un uso moderado durante la temporada de crecimiento largo con largos períodos de recuperación de la temporada de crecimiento. Mantener una cubierta vegetal adecuada y minimizar los efectos adversos del suelo desnudo sobre las plantas son fundamentales para conservar la productividad de las plantas y prevenir la erosión y el deterioro del suelo (Thurow, 1991; Teague et al., 2011).

### 3.4. Modificar la nutrición y el comportamiento alimentario.

El régimen nutricional de los herbívoros en los pastizales suele ser muy variable. Los animales no necesariamente pueden satisfacer sus necesidades nutricionales durante los períodos de alta demanda, incluida la concepción, la gestación tardía y la lactancia, especialmente si los procesos de mantenimiento y reproducción no están sincronizados con el crecimiento y la producción estacional de la vegetación (Provenza, 2008). El manejo de potreros múltiples puede influir positivamente tanto en la productividad como en la calidad del forraje y los administradores pueden planificar los movimientos de ganado para colocar a los animales en potreros con mayores posibilidades de satisfacer mayores requerimientos nutricionales (Tainton et al., 1999). Sin embargo, los pastizales húmedos y secos requieren diferentes estrategias de manejo para lograr este objetivo porque la cantidad y calidad del forraje y los desafíos de nutrición animal no son los mismos.

La producción vegetal es menor en los ecosistemas más secos que en los más húmedos, pero la calidad del forraje disminuye más precipitadamente con la madurez de las plantas en los ecosistemas más húmedos. En los pastizales más húmedos y subtropicales, el forraje madura más rápidamente y las especies de pastos más altos se lignifican a medida que maduran. El rendimiento animal aumenta a medida que disminuye el período de pastoreo si se dispone de suficiente cantidad y calidad de hojas verdes. Por el contrario, el rendimiento animal disminuye a medida que aumenta la duración del período de descanso más allá del tiempo que tardan las plantas en pastoreo en recuperarse a medida que maduran. El consumo de nutrientes se vuelve más sensible a la duración del período de pastoreo a medida que aumenta el número de potreros porque el forraje de mayor calidad desaparece más rápidamente con un mayor número de potreros por rebaño (Steffens et al., 2009). También se produce una mayor producción de forraje con una utilización moderada en períodos de pastoreo cortos (Gerrish, 2004). Por lo tanto, para una ingesta óptima de nutrientes, los períodos de descanso deben ser lo suficientemente largos para que las plantas se recuperen, pero no tanto como para que maduren; la calidad de los pastos y las hierbas disminuye notablemente con la madurez, mientras que los arbustos mantienen la calidad, especialmente la proteína, y pueden proporcionar una fuente de forraje complementaria cuando los pastos

maduran (Provenza et al., 2003b). Los períodos de pastoreo deben ser cortos y la defoliación debe ser moderada para lograr estos objetivos, pero los administradores también deben ser flexibles al determinar el período y la intensidad del pastoreo a medida que cambian las circunstancias (Voisin, 1959; Booyesen, 1966; Booyesen y Tainton, 1978; Teague et al., 2011).

El manejo del pastoreo influye en la selección de la dieta y los animales optimizan la ingesta de alimentos en función de cómo han aprendido a utilizar diversas combinaciones de plantas y ubicaciones en un pasto (Provenza et al., 2003a; Provenza, 2003b). En condiciones de pastoreo continuo y de baja densidad, el ganado a menudo aprende a comer sólo un pequeño subconjunto de los alimentos más sabrosos que proporcionan una nutrición adecuada, aunque puede haber disponibilidad de una calidad adecuada para que utilicen una mayor proporción de las plantas para satisfacer sus necesidades dietéticas si se mezclan en una cantidad determinada. corto período de tiempo (Steffens et al., 2009). Es poco probable que los animales pastoreados de esta manera aprendan sobre los posibles beneficios de mezclar diferentes alimentos, especialmente aquellos con alto contenido de compuestos secundarios. Con el tiempo, esta búsqueda selectiva de alimentos cambiará la combinación de plantas que se ofrecen en un ciclo que se refuerza a sí mismo y que reduce aún más las oportunidades de aprender, y degradará gradualmente los suelos, las plantas, el desempeño animal y los paisajes (Provenza, 2008).

Una de las principales ventajas de una alta densidad de ganado, que a menudo se pasa por alto en los estudios de pastoreo, es permitir que los animales tengan la oportunidad adecuada de aprender a seleccionar una dieta de alta calidad en una pradera mixta o en un paisaje con diversas características topográficas, edáficas y de vegetación. Cuando se les introduce en el pastoreo en múltiples potreros, rápidamente agotarán esas plantas preferidas y se les puede alentar a tomar una mayor proporción de otras plantas (Provenza et al., 2003a).

En el proceso, aprenden a "mezclar lo mejor con el resto" en lugar de "comer lo mejor y dejar el resto", extendiendo así la presión del pastoreo hacia las plantas menos apetecibles (Villalba et al., 2004; Shaw et al., 2006). Eso implica aprender sobre las complementariedades entre los compuestos primarios y secundarios en diferentes plantas (Villalba et al., 2011; Lyman et al., 2012; Owens et al., 2012). Este proceso se acelera si los períodos de pastoreo son cortos y la densidad de ganado es alta. Por lo tanto, la combinación de más potreros con alta densidad de ganado durante períodos cortos puede alentar al ganado a comer una variedad más amplia de plantas y evitar volver a pastorear sólo las plantas más apetecibles (O'Connor, 1992; Provenza, 2003a, 2003b).

También hay otras formas en que los animales aprenden a utilizar alimentos nuevos en combinación con alimentos familiares. Por ejemplo, los pastores en Francia establecen potreros de entrenamiento para animales inexpertos y mueven su ganado entre diferentes tipos de vegetación en ciertas secuencias para aprovechar las sinergias que aumentan la ingestión de ciertos alimentos después de que se han consumido otros forrajes específicos, estimulando así el apetito y la ingesta de alimentos. una variedad de forrajes, muchos de los cuales los animales normalmente no comerían (Provenza, 2008; Meuret, 2010). Aunque los animales acostumbrados a pastar selectivamente plantas ONU En condiciones de baja densidad, la repoblación continua puede tener un mal desempeño cuando se comienza a pastar en condiciones de pastoreo de alta densidad, ya que aprenden a

"mezclar lo mejor con el resto", se aclimatan a la nueva gestión en 3 años y reanudan los niveles de rendimiento anteriores, como veremos en las siguientes secciones, y lo mismo es cierto para aprender a utilizar nuevos hábitats, por ejemplo, tierras altas en lugar de áreas ribereñas (Provenza et al., 2003a). Aumentar el número de potreros para acortar los períodos de ocupación reduce los efectos negativos sobre el rendimiento animal y dependiendo de cómo se utilicen, también pueden servir como pastos de entrenamiento (Meuret, 2010).

#### 4. Gestión adaptativa en entornos variables

El manejo es relativamente fácil cuando los recursos para el crecimiento de las plantas son abundantes y predecibles y cuando la calidad del forraje es razonablemente alta y consistente. Los pastizales, por el contrario, son difíciles de gestionar porque las decisiones deben adaptarse a cambios sustanciales e incertidumbre,

incluidas variaciones climáticas interestacionales e intraestacionales con sequías periódicas, calidad baja y variable del forraje y variaciones en las preferencias sociales y factores económicos que afectan la rentabilidad (Tainton et al. al., 1999; Sayre, 2001). Para gestionar los recursos de manera sostenible en entornos tan variables e inciertos se necesita una gestión adaptativa que se base tanto en principios científicamente establecidos como en el conocimiento local. La gestión adaptativa incluye visualizar para determinar objetivos a largo plazo, desarrollar e implementar un plan de acción para alcanzar esas metas, monitorear y analizar los efectos de las acciones de gestión y ajustarse continuamente para avanzar en la dirección de las metas establecidas (Savory y Butterfield, 1999). Un principio fundamental del manejo adaptativo es que, debido al conocimiento incompleto y a las condiciones invariablemente cambiantes, las decisiones de manejo son imperfectas y deben modificarse continuamente a medida que las condiciones cambian y se obtienen nuevos conocimientos. La gestión debe ser flexible si se quieren alcanzar los resultados deseados. Múltiples potreros brindan la flexibilidad para facilitar el manejo adaptativo de los recursos de pastoreo en ecosistemas de pastizales heterogéneos y dinámicos (Norton, 1998).

En las siguientes subsecciones abordamos la necesidad de flexibilidad en el manejo en el contexto de la variabilidad climática, los incendios periódicos y las filosofías de manejo del pastoreo extensivo versus intensivo que promueven el uso de muchos o pocos potreros. Si bien nos centramos en los potreros cercados, al principio también enfatizamos que no es necesario instalar cercas permanentes para implementar alternativas a las estrategias de pastoreo de alta densidad o de potreros múltiples porque el movimiento de los animales también se puede lograr de manera efectiva mediante el uso de cercas eléctricas temporales. , pastoreo (Bradford, 1998; Coughenour, 1991; Butler, 2000; Bailey et al., 2008 Meuret, 2010), quema prescrita (Archibald et al., 2005; Fuhlendorf et al., 2006), suplementación estratégica (Bailey y Welling , 2007), control de puntos de agua y otras modificaciones del comportamiento animal (Provenza, 2003a,b; Launchbaugh y Howery, 2005).

Cualquiera de estos métodos se puede utilizar para mover continuamente la presión del pastoreo a través de paisajes, minimizando así los efectos negativos de la selección de plantas y áreas, y mejorando la biodiversidad.

#### 4.1. Manejo estratégico del pastoreo adaptativo

Se han desarrollado protocolos de manejo para pocos o muchos potreros por rebaño en pastizales climáticamente variables. En los pastizales más áridos, el uso de múltiples potreros para restringir el pastoreo en un cuarto a la mitad de la unidad de manejo durante la temporada de crecimiento proporciona recuperación para las plantas preferidas. Este enfoque también crea una reserva de forraje que puede transferirse al año siguiente si no es necesaria para compensar la escasez de forraje durante un período seco o puede usarse, por ejemplo, para implementar quemas prescritas para suprimir las plantas leñosas invasoras. El momento del traslado de los animales a los potreros descansados debe coincidir con los requisitos nutricionales máximos del rebaño para garantizar un alto rendimiento animal. Estas simples estrategias de gestión ayudan a los ganaderos a mantener o mejorar la base de recursos y al mismo tiempo estabilizar el número de animales y el flujo de efectivo (Danckwerts, 1984; Müller et al., 2007; Van de Pol y Jordaan, 2008). Un sistema de baja intensidad con 2 a 4 potreros por rebaño puede proporcionar una recuperación adecuada de la temporada de crecimiento en cada potrero cada 2 a 4 años, pero puede requerir tasas de carga más bajas para lograr simultáneamente una utilización adecuada del forraje y mantener el rendimiento individual del ganado. Para una mayor producción forrajera y animal, un administrador puede implementar un pastoreo más intensivo con 16 o más potreros por rebaño (Norton, 1998; Savory y Butterfield, 1999; Beukes et al., 2002; Gerrish, 2004; Teague et al., 2011). En pastizales más húmedos, el manejo de potreros múltiples proporciona mayor flexibilidad para facilitar la toma de decisiones efectiva tanto en la estación húmeda como en la seca. Para lograr una defoliación moderada en años con precipitaciones superiores al promedio, los animales se trasladan a través de potreros a los que no se les ha asignado un período de descanso (Teague et al., 2011). Cuando el primer potrero pastado esa temporada ha tenido tiempo suficiente para que las plantas defoliadas se recuperen completamente, el rebaño regresa a él independientemente de la ubicación del rebaño en el ciclo de pastoreo. Este enfoque deja una biomasa vegetal residual adecuada en los potreros pastoreados para mantener altas tasas de crecimiento de las plantas y una alta calidad del forraje para los animales. También da como resultado que los últimos potreros de la secuencia de pastoreo reciban poco o ningún pastoreo en los años húmedos, lo que permite que crezcan y se reproduzcan plantas apetecibles y que el área no pastoreada se utilice como zona de amortiguamiento de forraje y refugio de vida silvestre, creando así diversidad en los paisajes. Sin embargo, en los pastizales húmedos, el remanente interanual de biomasa después de las estaciones húmedas puede ser sustancial. El exceso de cultivos

senescentes puede reducir el ciclo de nutrientes, la penetración de la luz, la fotosíntesis y la productividad primaria, lo que produce cambios indeseables en la composición de las especies de plantas y disminuye la calidad de la dieta de los animales en pastoreo (Pieper, 1994; Olf y Ritchie, 1998). En sistemas de múltiples potreros, dicha biomasa senil puede convertirse en hojarasca que se incorpora al suelo durante la temporada de inactividad mediante el pisoteo de los animales en pastoreo que se concentran en áreas más pequeñas debido al uso de muchos potreros por rebaño (Teague et al., 2011). , quemados para gestionar la vegetación leñosa o utilizados como forraje por los animales durante períodos de menores necesidades de nutrientes. Los mismos principios de defoliación moderada y recuperación antes del nuevo pastoreo también se aplican en años secos en pastizales méxicos. Sin embargo, debido a que el crecimiento de las plantas es más lento, se pastorearán más potreros antes de que las plantas en el primer potrero pastoreado hayan tenido tiempo de volver a crecer lo suficiente (Tainton et al., 1999). En años muy secos, eso sólo puede lograrse utilizando áreas programadas para el descanso, que sirven como amortiguadores de forraje durante la sequía. Si persisten las condiciones secas, se deben reducir las cargas ganaderas para que la demanda de forraje no supere la oferta. Un valor subestimado del pastoreo en múltiples potreros es que el forraje dentro de un potrero más pequeño se agotará más rápidamente y, por lo tanto, de manera más notable que en un sistema similar de pastoreo continuo, proporcionando al administrador una señal más inmediata para ajustar preventivamente el número de ganado (Díaz-Solis et al. ., 2009).

#### 4.2. Enfoques de gestión del pastoreo extensivo versus intensivo

Debido a la considerable variabilidad e incertidumbre, los pastizales son entornos riesgosos para realizar negocios. Mantener el riesgo en un nivel aceptable es fundamental para la mayoría de los ganaderos, pero difieren ampliamente en su aversión al riesgo, resistencia al cambio y capacidad de gestión (Teague et al., 2009b). No todos los ganaderos se sienten cómodos implementando estrategias de pastoreo intensivo en múltiples potreros. Por lo tanto, existe la necesidad de un amplio conjunto de estrategias, cada una de las cuales difiere en la complejidad del manejo del pastoreo para brindar opciones adecuadas a diversos ganaderos para obtener una productividad satisfactoria y sostener o mejorar los recursos de los pastizales (Teague et al., 2009b). Para aquellos que deseen utilizar un manejo más simple y menos intensivo, las estrategias con menos de cinco potreros por rebaño pueden permitir un descanso suficiente de la temporada de crecimiento con tasas de carga relativamente bajas (Teague et al., 2009b). Por ejemplo, sistemas como la estrategia de flujo controlado de forraje de 2 a 3 potreros (Van de Pol y Jordaan, 2008) y el sistema Merrill de 4 potreros y 3 rebaños (Heitschmidt y Taylor, 1991; Taylor et al., 1993) pueden producir resultados satisfactorios con un manejo menos intensivo. Dos o cuatro potreros por rebaño permiten la recuperación periódica de toda la temporada de crecimiento con o sin pastoreo en múltiples potreros (Danckwerts, 1984; Tainton et al., 1999; Müller et al., 2007). Sin embargo, si bien estos sistemas no requieren una gestión intensiva, tienen un potencial mínimo para inhibir el pastoreo selectivo por parte del ganado no condicionado a "mezclar lo mejor con el resto", para proporcionar una recuperación significativa después del pastoreo o para mejorar la distribución del ganado en el paisaje (Teague et al., 2009b). Cuando los pastizales están en buenas condiciones, estos aspectos negativos pueden ser difíciles de notar a corto plazo, pero cuando se han degradado, las plantas y los parches de vegetación deseables tendrán poco vigor y abundancia. Los períodos prolongados de pastoreo con menos potreros mantendrán una fuerte presión negativa sobre estas plantas más valiosas y requerirán períodos de recuperación mucho más largos si se quiere mantener o aumentar el vigor, la abundancia y la productividad de las plantas. La rotación intensiva a través de muchos potreros por rebaño facilita una mejor planificación e incurre en un menor riesgo ecológico, aunque las actividades y decisiones de manejo pueden ser más intensivas; de ahí el énfasis en el "manejo" en el pastoreo "intensivo" (Gerrish, 2004; Howell, 2008; Teague et al., 2009b). Se facilita un manejo más cuidadoso para reducir el número de animales durante períodos de baja productividad de las plantas, porque la escasez de forraje se puede detectar más rápidamente, lo que permite al administrador evitar degradar la base de recursos e incurrir en pérdidas económicas (Díaz-Solis et al., 2009). Los administradores que utilizan múltiples potreros por rebaño a menudo experimentan menos riesgo y generalmente tienen exceso de forraje debido a una combinación de una mejor distribución del pastoreo en el paisaje, períodos de pastoreo más cortos, períodos de recuperación más largos y una mayor proporción del año en que el crecimiento y la recuperación pueden ocurrir en cualquier lugar. área particular sin riesgo de defoliación repetida (Norton, 1998; Teague et al., 2009b). Además, la gestión se

puede adaptar para tener en cuenta las respuestas relativas a la defoliación de especies de plantas específicas frente a especies coexistentes. Los períodos de defoliación más cortos reducen los impactos repetidos de la defoliación en las plantas deseables, lo que respalda una ventaja competitiva para las especies más deseables (Tainton et al., 1999).

#### 4.3. Impactos del pastoreo de alta densidad

La experiencia de los ganaderos y los experimentos científicos indican que los impactos de las altas densidades de ganado en las plantas bajo pastoreo intensivo en múltiples potreros pueden beneficiar a las plantas debido a la combinación de tres factores: los animales incluyen más especies en sus dietas, las especies preferidas experimentan menos defoliaciones repetidas y los períodos de recuperación del pastoreo se extienden (Norton, 1998, 2003; Beukes et al., 2002; Teague et al., 2011). Debido a que los impactos del pastoreo se extienden sobre una porción más grande del rancho a medida que aumenta el número de potreros en la secuencia de pastoreo, disminuye la necesidad de un período de recuperación prolongado. Si se reduce la selectividad y más especies experimentan un grado similar de defoliación, las especies palatables experimentan menos desventaja competitiva en relación con las especies menos preferidas durante el período de rebrote (Teague y Dowhower, 2001). Los impactos animales en altas densidades de población también pueden alterar las características químicas de especies sabrosas y desagradables (Provenza et al., 2003a, 2003b). Las plantas palatables persisten en la vegetación de pastoreo porque invierten en tejido fotosintético de rápido crecimiento en lugar de defensas físicas y químicas que exigen energía para resistir la herbivoría (Bryant et al., 1983, 1991; Coley et al., 1985; Herms y Mattson, 1992). Los ganaderos han utilizado con éxito el pastoreo de alta intensidad durante décadas en numerosos países y muchos ganan periódicamente prestigiosos premios de conservación (Teague et al., 2009b). Además, Norton (1998) enumeró nueve ejemplos de pruebas de pastoreo en Canadá, Estados Unidos, Zimbabue, Australia y Nueva Zelanda que duraron entre 5 y 35 años. Estos ensayos no informaron efectos ecológicos adversos de los tratamientos de pastoreo continuo o en múltiples potreros, probablemente como resultado directo del uso de potreros pequeños en ambos casos, a pesar de que las cargas ganaderas experimentales se mantuvieron entre un 40% y un 200% por encima de las recomendadas para propiedades comerciales. Norton (1998) plantea la hipótesis de que cuando se utilizan pequeños potreros para contener animales en pastoreo, la disponibilidad de forraje no está limitada por la mala distribución de los animales que ocurre en áreas mucho más extensas y continuamente repobladas. Esta hipótesis es consistente con la investigación publicada relacionada con el proceso de utilización desigual en los paisajes (Teague et al., 2004, 2010a,b, 2011).

Cuando se gestiona de forma adaptativa para conservar y restaurar recursos y proporcionar servicios ecosistémicos, el pastoreo en múltiples potreros puede proporcionar resultados superiores en relación con la siembra continua (Earl y Jones, 1996; Biondini y Manske, 1996; Jacobo et al., 2006; Sanjari et al., 2008; Teague et al., 2010a,b, 2011). En este contexto, el pastoreo en múltiples potreros puede aumentar el área basal perenne, así como la cobertura de hojarasca (Teague et al., 2004, 2010a,b, 2011), lo que, a su vez, mejora la materia orgánica del suelo y el contenido de agua del suelo (Naeth et al., 1991; Snyman y du Preez, 2005; Weber y Gokhale, 2011). Durante un período de 9 años, la salud del suelo y las plantas en las praderas de pastos altos del norte de Texas mejoró cuando los ganaderos utilizaron pastoreo en múltiples potreros con altas densidades de ganado durante períodos cortos, en comparación con el pastoreo continuo ligero o pesado en los ranchos vecinos (Teague et al., 2011). Con el pastoreo en múltiples potreros, la vegetación resultante estuvo dominada por pastos deseables con alto contenido de seral en lugar de los pastos cortos y herbáceos menos deseables que se produjeron bajo carga continua tanto ligera como pesada. La dominancia de pastos con alto contenido de seral bajo pastoreo en múltiples potreros mejora las funciones hidrológicas (Pluhar et al., 1987; Thurow, 1991; Teague et al., 2011), lo que se demostró por la mayor proporción de hongos y bacterias con el pastoreo en múltiples potreros, lo que indica una capacidad superior de retención de agua y disponibilidad de nutrientes. Además, la cantidad de suelo desnudo fue menor y la estabilidad de los agregados del suelo fue mayor en áreas sometidas a pastoreo de potreros múltiples que en áreas con pastoreo intenso y continuo con la misma carga ganadera, mientras que la materia orgánica del suelo y la capacidad de intercambio catiónico fueron mayores con pastos múltiples. -pastoreo en potreros que con carga continua ligera o pesada (Teague et al., 2011). Por lo tanto, una carga ganadera más alta con pastoreo intensivo en múltiples potreros puede tener como resultado un menor impacto en las propiedades físicas del suelo que una carga ganadera continua con la misma carga

ganadera alta (Thurow, 1991). Por el contrario, el aumento de las cargas ganaderas sin un manejo intensificado puede afectar negativamente las propiedades del suelo y las tasas de infiltración (Warren et al., 1986; Gerrish, 2004).

Aunque el pastoreo en múltiples potreros puede disminuir la heterogeneidad del paisaje (Toombs y Roberts, 2009), el resultado opuesto también es posible dependiendo de los objetivos de gestión, la ejecución operativa y las escalas temporales y espaciales que se evalúen. Los potreros más pequeños pueden mejorar la distribución de los animales en un paisaje, lo que puede aumentar o disminuir la diversidad, dependiendo de cómo se distribuían los animales anteriormente. La creciente heterogeneidad espacial y temporal de la perturbación en los pastizales es importante para aumentar la biodiversidad en niveles tróficos más altos (Fuhlendorf et al., 2006; Isacch y Cardoni, 2011). Dependiendo de los objetivos de manejo para la estructura de la vegetación y la diversidad de especies, el mayor control con potreros más pequeños permite a los administradores una mayor flexibilidad en la ubicación y el movimiento de los animales para crear la diversidad compositiva y estructural deseada de la vegetación. Esto se puede lograr repasando algunos potreros antes o permitiendo un mayor rebrote y una mayor similitud estructural dentro de un potrero. Por lo tanto, se pueden utilizar potreros pequeños para mejorar la distribución de parches con diferentes estructuras de vegetación en diferentes potreros, si así se desea. El administrador puede decidir cómo yuxtaponer estos componentes para lograr objetivos específicos de plantas, ganado y vida silvestre. Asimismo, dependiendo de la ubicación de las cercas y la diversidad de topografía, aspecto, suelos y comunidades de plantas dentro de los potreros, el pastoreo puede ser más o menos uniforme dentro de un potrero durante un período de pastoreo determinado.

#### 4.4. Limitaciones del pastoreo en múltiples potreros

Una desventaja de utilizar el pastoreo en múltiples potreros es que la intensidad del manejo aumenta a medida que aumenta el número de potreros por rebaño. Una gestión más intensiva requiere mayores niveles de compromiso, habilidad organizacional y conocimiento, que tal vez no siempre estén fácilmente disponibles. Sin embargo, esta no es una razón para evitar el pastoreo estratégico, ya que las estrategias que emplean pocos potreros por rebaño son fáciles de implementar y pueden producir un buen desempeño animal, una modesta recuperación de la vegetación, un buen hábitat para la vida silvestre y mantener la provisión de servicios ecosistémicos. Si bien una gestión menos intensiva contribuye poco a mejorar la extensión del pastoreo selectivo o su distribución en el paisaje, la gestión y el esfuerzo menos sofisticados necesarios para implementarlos también deben sopesarse con los mayores costos de infraestructura y las mayores habilidades de gestión asociadas con sistemas potencialmente más eficaces y Manejo sustentable del pastoreo en múltiples potreros. En relación con la siembra continua, el éxito se ha logrado con niveles altos y bajos de intensidad de manejo con manejo de potreros múltiples, o en ausencia de cercas, proporcionando una recuperación regular y adecuada de la temporada de crecimiento de manera secuencial en el área bajo manejo. Como no hay dos propiedades o administradores de ranchos iguales, cada administrador debe elegir la combinación de inversiones, estrategias y herramientas de gestión que más se adapten a su capacidad financiera, personalidad y entorno social y biofísico donde vive.

#### 5. Limitaciones de la evidencia experimental

Para que sea científicamente sólido y significativo para los administradores, el objetivo principal de cualquier experimento de pastoreo y de la ejecución de cualquier tratamiento de pastoreo debe ser mejorar el desempeño del suelo, la vegetación, los animales y los seres humanos durante muchos años. Sin este énfasis, y si el diseño y la implementación experimental favorecen un resultado, es inexacto afirmar que un determinado tratamiento de pastoreo no produjo resultados mejores o inferiores que otro tratamiento. Cuando los investigadores realizan pruebas de pastoreo, se convierten en "administradores" de la tierra en la que se realizan las pruebas y, al participar (a través de las preguntas que formulan, la forma en que diseñan e implementan sus experimentos y la forma en que interpretan los resultados), influyen en el proceso. resultados de sus estudios. No existe un "observador imparcial" en la ciencia o la práctica de los pastizales (Provenza, 2000; Van der Ploeg et al., 2006), y como saben los investigadores por estudios de campo que duran más de un año, no dos años, o meses de un

año a otro, son siempre iguales. Para ser relevante para los administradores, la investigación debe proporcionar información fundamental sobre los principios y procesos que necesitan los administradores de ranchos para lograr los resultados deseados en los paisajes únicos que administran (Provenza, 2000). A menos que los resultados de la investigación puedan aplicarse a la gestión de paisajes dentro de un marco de sistemas, probablemente serán irrelevantes o engañosos para quienes gestionan operaciones comerciales para objetivos económicos y de conservación a largo plazo en escalas espaciales y temporales más amplias (Provenza, 1991; Van der Ploeg et al., 2006). Los administradores de pastizales operan a escalas mayores, por lo que los estudios científicos de los procesos ecológicos deben abordar las consecuencias a largo plazo y a escala del paisaje de las prácticas alternativas de manejo de la tierra dentro de un marco de manejo adaptativo y de sistemas o abordar específicamente cómo las diferencias en las escalas espaciales y temporales pueden afectar las implicaciones y implementación de sus resultados para los directivos. Las preguntas relevantes para los administradores incluyen: (1) ¿Cuáles son las ventajas relativas de las opciones alternativas de administración? (2) ¿Qué condiciones son necesarias para la mayor probabilidad de aplicación exitosa de la mejor opción de gestión? (3) ¿Cómo debería implementarse la opción preferida para que sea más efectiva desde el punto de vista ecológico, económico y social? y (4) ¿Qué umbrales e indicadores biofísicos pueden proporcionar orientación para adaptarse a condiciones cambiantes o resultados imprevistos? Utilizamos los cinco principios de manejo que sustentan el manejo exitoso del pastoreo descritos en la sección 2 para evaluar cómo tanto los éxitos como los fracasos observados en experimentos científicamente controlados corroboran esos principios rectores. Hacemos esto para comprender cómo los investigadores han llegado a conclusiones diferentes sobre el pastoreo en múltiples potreros que las alcanzadas por muchos ganaderos exitosos que han utilizado este enfoque de pastoreo para lograr los objetivos deseados de producción y conservación.

### 5.1. Enfoque, implementación y escala de investigaciones anteriores.

La forma en que los investigadores han implementado tratamientos de pastoreo en múltiples potreros rara vez ha tenido en cuenta principios comúnmente reconocidos para mantener la salud y el vigor de las plantas y la ingesta de nutrientes por parte de los animales. Muchos estudios se han realizado sin indicar en los métodos cómo se llevó a cabo la investigación para lograr objetivos ecológicos o de producción específicos y deseables y han ignorado conocimientos ecológicos o prácticos relevantes, como proporcionar una recuperación adecuada después del pastoreo o ajustar el número de ganado en épocas de sequía, cuando elegir e implementar tratamientos de pastoreo (p. ej., Hart et al., 1993a,b; Derner y Hart, 2007a,b). Como se indica más adelante, estas son "mejores prácticas de gestión" aceptadas para gestionar el mantenimiento de los recursos y el potencial productivo (Tainton et al., 1999). En los casos en que las necesidades fisiológicas de las plantas se cubrieron mediante períodos de recuperación adecuados entre defoliaciones, la composición de las especies de plantas cambió hacia especies más productivas y apetecibles en algunos casos de pastoreo en múltiples potreros, incluso cuando los niveles de utilización eran extremadamente altos (p. ej., Reardon y Merrill, 1976; HILF tratamiento de Taylor et al., 1993; Jacobo et al., 2006). Además, cuando había suficiente forraje disponible durante cada período de pastoreo, el rendimiento animal era igual o superior en el pastoreo en múltiples potreros en comparación con el pastoreo continuo (p. ej., Reardon y Merrill, 1976; Denny y Barnes, 1977; Barnes y Denny, 1991; Biondini y Manske, 1996). En las investigaciones sobre pastoreo, los efectos de la carga ganadera y del tratamiento de pastoreo a menudo se han confundido. Por ejemplo Briske et al. (2008) resumen los resultados de 11 estudios que compararon los efectos de la carga ganadera continua con cargas ganaderas moderadas con el pastoreo en múltiples potreros con cargas ganaderas mucho más altas, hasta 1,5 a 2 veces mayores. La carga ganadera, en cualquier circunstancia dada, tiene mayores efectos sobre las respuestas de los animales y la vegetación que el sistema de pastoreo (Heitschmidt y Taylor, 1991; Manley et al., 1997; Gillen et al., 1998; McCollum et al., 1999). Sin embargo, en estos 11 estudios, la productividad de las plantas fue generalmente igual a la de la carga continua con tasas de carga más bajas, lo que indica los beneficios de la recuperación fisiológica después del pastoreo, especialmente cuando los niveles de defoliación son más severos. Además, en 3 de los 5 estudios con diferentes cargas ganaderas entre los tratamientos en los que se midió el rendimiento animal, el rendimiento de los animales que fueron pastoreados en rotación fue similar al de los animales que fueron pastoreados continuamente y se sembraron menos y la producción animal por hectárea fue mayor en 4 de los 5 tratamientos de pastoreo rotacional. La duración relativamente corta de la mayoría de los estudios de pastoreo (Tabla 1) oculta el hecho de que los ranchos bien administrados que mejoran la composición de especies y la salud del suelo se vuelven mucho más productivos durante períodos de tiempo más largos (Teague et al., 2011).

La confusión entre las diferentes tasas de pastoreo entre las estrategias de pastoreo se ve exacerbada por el clima variable en los ecosistemas semiáridos.

Las buenas prácticas de manejo aceptadas durante las sequías comúnmente incluyen la reducción temprana del número de poblaciones para minimizar los efectos nocivos sobre la vegetación, la condición de los animales y la rentabilidad (Díaz-Solis et al., 2009; Teague et al., 2009a,b). Estas acciones de gestión tienen como objetivo imitar respuestas ecológicas naturales en las que las poblaciones de animales disminuyen durante la sequía y luego aumentan gradualmente a medida que la sequía se disipa. Los experimentos de pastoreo rara vez han ajustado el número de animales de manera similar. Si lo hicieran, los tratamientos con mayor carga ganadera serían consistentes con las buenas prácticas de pastoreo aceptadas y probablemente no habrían incurrido en efectos perjudiciales (Teague et al., 2011). Como Briske et al. (2011), el manejo que se adapta a las condiciones cambiantes del terreno se puede aplicar ya sea a múltiples potreros o a una siembra continua y superará la falta de manejo utilizando cualquier sistema de pastoreo. Desafortunadamente, los experimentos de investigación casi nunca se han manejado de manera adaptativa cuando abordan cuestiones de pastoreo en múltiples potreros, por lo que no debería sorprender que no se midieran diferencias entre los tratamientos en la mayoría de los casos. El monitoreo oportuno y la adaptación a las condiciones cambiantes son fundamentales para gestionar eficazmente las empresas ganaderas para lograr objetivos de producción y conservación (Danckwerts et al., 1993; Walker et al., 2002). Sin embargo, lo estadísticamente "correcto" El diseño de experimentos de pastoreo y la implementación de dichos experimentos rara vez han incorporado flexibilidad de tratamiento para adaptarse a condiciones ambientales y de mercado en constante cambio y, por lo tanto, los resultados no reflejan un manejo adaptativo a escala de rancho (ver, por ejemplo, manejo de ganado fijo adoptado por Heitschmidt et al., 1987a,b; Cassels et al., 1995; Gillen et al., 1998; McCollum et al., 1999). Por lo tanto, la mayoría de los experimentos de pastoreo son meras inflexiones únicas en el tiempo y el espacio de procesos biofísicos que vinculan suelos, plantas, herbívoros y personas, no generalizaciones que puedan extrapolarse a través de sistemas de gestión y paisajes. Si se aplicaran los mismos tratamientos y se gestionaran para obtener los mejores resultados ecológicos, sociales y económicos, es probable que los resultados hubieran diferido, como se ilustra en varios estudios (Earl y Jones, 1996; Beukes y Cowling, 2003; Jacobo et al., 2006 ; Sanjari et al., 2008; Teague et al., 2011).

## 5.2. Subestimar el impacto del pastoreo selectivo

El sobrepastoreo selectivo de plantas y parches y el deterioro de los recursos tienen profundas consecuencias para la interpretación de los resultados experimentales y para el manejo sostenible de los pastizales (Teague et al., 2004, 2011). Los potreros experimentales en muchas pruebas de pastoreo han tenido menos de 25 ha y, a menudo, menos de 5 ha (Norton, 1998), y el tamaño de los potreros en la investigación revisada por Briske et al. (2008) era generalmente una pequeña fracción de los potreros en ranchos comerciales (Tabla 1). Los potreros experimentales más pequeños tienden a disminuir la heterogeneidad interna del forraje y, por lo tanto, producen una distribución más uniforme de la presión de pastoreo que en los potreros más grandes, tergiversando así la forma en que los animales en pastoreo con bajas densidades de ganado utilizan paisajes más grandes que son característicos de la ganadería continua. Barnes et al., 2008). Como resultado, ignoran los patrones heterogéneos documentados de selección de forraje y los impactos asociados a la vegetación que ocurren en grandes potreros donde los hábitos de alimentación transgeneracionales tienden a conducir a una selección preferencial repetida de microhábitats y especies de plantas específicas (Bissonette, 1997; Norton, 1998, 2003; Provenza, 2003b; Teague et al., 2004; Bailey y Provenza, 2008). Gammon y Roberts (1978) y O'Reagain y Turner (1992) informaron que la defoliación no siempre se controla de manera más efectiva y que la calidad y cantidad del forraje no son constante y sustancialmente mayores en los potreros múltiples que en los sistemas de siembra continua. Sin embargo, según una investigación panorámica publicada (Coughenour,

1991; Stuth, 1991; Fuls, 1992; Kellner y Bosch, 1992; Illius y O'Connor, 1999; WallisDeVries et al., 1999; Teague et al., 2004), estas interpretaciones pueden haber sido diferentes si el tamaño de los pastos hubiera sido equivalente a los pastos de tamaño comercial en lugar de unas pocas hectáreas (Gammon y Roberts, 1978) o menos de una hectárea (O'Reagain y Turner, 1992). ). De manera similar, otros trabajos no informaron diferencias

en el rendimiento de los animales o la vegetación entre la siembra continua y un tratamiento que incluye el aplazamiento del pastoreo (Derner y Hart, 2007a,b; Hart et al., 1988). Es probable que sus potreros de pequeña escala pastoreados continuamente (24 ha) estuvieran defoliados de manera más uniforme que lo que hubiera sido el caso en los potreros comerciales. Una publicación posterior (Hart et al., 1993a,b) ilustró que si bien los impactos del pastoreo en los potreros de 24 ha continuamente repoblados no fueron diferentes de los potreros del mismo tamaño con pastoreo rotacional, produjeron impactos muy diferentes en comparación con los potreros continuamente repoblados de 207 ha. En particular, de las publicaciones sobre pastoreo rotacional versus continuo reportadas por Briske et al. (2008), sólo el 14% incorporó potreros abastecidos continuamente y de tamaño similar a los que se encuentran en los ranchos comerciales. Los demás tenían generalmente menos del 1-10% del tamaño de los ranchos comerciales (Tabla 1). Por lo tanto, es poco probable que reflejen con precisión el pastoreo selectivo por parches y áreas que causa el deterioro a largo plazo dentro de los grandes potreros característicos de la ganadería continua en los paisajes de ranchos comerciales. De hecho, en lugar de representar una repoblación continua a escala de rancho, los pequeños potreros experimentales representan con mayor precisión potreros individuales de sistemas de múltiples potreros logrados para reducir la heterogeneidad de las plantas y el pastoreo (aunque sin descanso del pastoreo).

Dos estudios en parcelas pequeñas sobre los efectos del pastoreo intensivo bajo pastoreo rotacional (Warren et al., 1986; Savadogo et al., 2007) ilustran cómo los estudios en parcelas pequeñas pueden producir resultados que, si se implementaran, conducirían a un rendimiento animal deficiente y daños considerables a la vegetación y el suelo en un rancho (Teague et al., 2010a,b). En el estudio de Warren et al. (1986), el ganado ni siquiera pastaba sino que era conducido en altas densidades en un corral pequeño y árido para supuestamente simular el impacto de una alta densidad de ganado. Pero esto se hizo de una manera que se asemeja mucho al confinamiento nocturno de animales, como el confinamiento nocturno para proteger al ganado de los depredadores o para facilitar el descornado y la castración.

Dichos estudios no impactan la tierra como lo hace el ganado cuando lo manejan ganaderos orientados a la conservación y, por lo tanto, tienen poca relevancia para los ganaderos que logran mantener la viabilidad económica y de los recursos. Como alternativa a los enfoques anteriores, los investigadores pueden medir el impacto de la ganadería continua y de potreros múltiples en ranchos comerciales donde los pastizales se han manejado con una estrategia consistente durante muchos años. En los estudios de Teague et al. (2011) en praderas de pastos altos relativamente méxicos, se aplicó pastoreo en múltiples potreros durante al menos 9 años defoliando moderadamente durante períodos cortos durante la temporada de crecimiento, dejando una biomasa relativamente alta de residuos cuando el ganado salía de los potreros, y ajustando el tiempo de recuperación post-pastoreo para las variaciones en las condiciones de crecimiento a fin de permitir un rebrote suficiente de las plantas antes de que se reanudara el pastoreo. Bajo este manejo, los animales se movían de manera controlada entre los potreros, pastaban sólo durante unos días y las plantas pastoreadas se recuperaban rápidamente y proporcionaban una cobertura protectora del suelo en todo momento. Esto permitió que los pastos de racimos de alto número de serales, más productivos, maximizaran la captura de energía solar y dominaran la vegetación mientras se mantenía una alta tasa de ciclo de nutrientes. Esta estrategia de pastoreo adaptativo también produjo un mejor desempeño del suelo, la vegetación y el ganado que el manejo continuo ligero o pesado de la ganadería. En esta investigación, el pastoreo en múltiples potreros se manejó de manera adaptativa de acuerdo con las condiciones predominantes para lograr las mejores respuestas de la vegetación y los animales por parte de los administradores con el objetivo de conservar los recursos. Este también fue el caso del manejo adaptativo de múltiples potreros a escala de ranchos en otros ecosistemas, incluido el árido Nama Karroo de Sudáfrica (Beukes y Cowling (2003), la pradera semiárida de pastos medios de Texas (Teague et al., 2004, 2010a,b), pastizales semiáridos en Australia (Earl y Jones, 1996; Sanjari et al., 2008) y pastizales de pampa relativamente méxicos en Argentina (Jacobó et al., 2006). Los estudios experimentales a escala evaluados por Briske et al. (2008) (Tabla 1) guardan poca semejanza con los resultados del manejo a escala de rancho reportados anteriormente. La mayoría de las pruebas de pastoreo no han representado las interacciones suelo-planta-animal a escala operativa y los efectos resultantes de. Además, el manejo de los estudios de pastoreo inflexible en parcelas pequeñas se ha desviado significativamente de cómo los ganaderos orientados a la conservación manejan el pastoreo en múltiples potreros. Es poco probable que los experimentos de pastoreo a pequeña escala sean relevantes para los ganaderos que intentan mantener la sostenibilidad económica y de los recursos, a menos que se consideren como parte del estudio y la interpretación de los resultados escalas temporales y espaciales relevantes de heterogeneidad, así como la capacidad de responder adaptativamente a cambios esporádicos del suelo y de la comunidad vegetal impulsados por eventos.

**Table 1**

Experiments cited by Briske et al. (2008) to illustrate the extent that the methods used in each experiment limit their relevance to management at commercial ranch scale in each ecosystem.

Study	Location	Ecosystem	Grazing system	Study length (yrs)	# of paddocks	Size of paddocks RG (CG) (ha)	CG paddock size as % of commercial CG paddocks	Recovery period (days)	Graze period (days)	Adaptive or fixed management <sup>a</sup>
<b>(A) Stocking rate equal for rotational and continuous stocking</b>										
McCullum et al., 1999	Oklahoma	Tallgrass prairie	SDG	5	8	1.8–3.3 (26)	<10	32–38	3–6	F
Gillen et al., 1998	Oklahoma	Tallgrass prairie	SDG	5	8	1.8–3.3 (26)	<10	30–35	2–5	F
Cassels et al., 1995	Oklahoma	Tallgrass prairie	SDG	5	8	1.8–3.3 (26)	<10	21–49	3–7	F
Owensby et al., 1973	Kansas	Tallgrass prairie	Def-Rot	17	26	24 (24)	<10	60	300	F
Wood and Blackburn 1984		S. mixed prairie	HILF + Def-Rot	5	4	120 (240)	100	119	17	F
Kothmann et al., 1971	Texas	S. mixed prairie	Merrill	8	4	33 (240)	100	120	365	F
Merrill 1954	Texas	S. mixed prairie	Merrill	4	4	24 (24)	<10	120	365	F
Fisher and Marion 1951	Texas	S. mixed prairie	Rotation	8	5	4 (4)	<2	60	30	F
McIlvain and Savage 1951	Oklahoma	S. mixed prairie	Rotation	9	3	6.7–10 (20)	<5	60	30	F
Derner and Hart 2007a	Wyoming	N. mixed prairie	SDG	25	8	1–2 (81)	<15	16–49	2–7	F
Manley et al., 1997	Wyoming	N. mixed prairie	SDG+(Def-rot)	13	4–8	1–3 (81)	<15	21–49 (120) <sup>b</sup>	3–7 (365) <sup>b</sup>	F
Biondini and Manske 1996	N. Dakota	N. mixed prairie	SDG	6	6	32 (32)	<10	45	15–30	F
Hart et al., 1993a	Wyoming	N. mixed prairie	SDG	5	8	24 (207)	<30	21–49	3–7	F
Hepworth et al., 1991	Wyoming	N. mixed prairie	SDG + Def-rot	4	4–8	1–3 (24)	<1	21–49	3–7	F
Hart et al., 1988	Wyoming	N. mixed prairie	SDG + Def-rot	6	4–8	1–3 (81)	<15	21–49	3–7	F
Rogler 1951	N. Dakota	N. mixed prairie	Def-rot	25	3	9.4 (28)	<5	120	365	F
Derner and Hart 2007b	Colorado	Shortgrass prairie	SDG	9	7	65	–	–	–	F
Smoliak 1960	Alberta	Shortgrass prairie	Def-rot	9	2	61 (120)	<20	n	n	F
Hubbard 1951	Alberta	Shortgrass prairie	Def-rot	6	3	27–40	<10	n	n	F
Laycock and Conrad 1981	Utah	Sage grassland	Rest-Rotation	7	3	447–777	50–100	365	45	F
Hyder and Sawyer 1951	Oregon	Sage grassland	Rotation	11	3	850	100	n	n	F
Holechek et al., 1987	Oregon	Mountain range	Rest-rot + Def-rot	5	2	57–67	<10	n	90–365	F
Martin and Severson 1988	Idaho	Grass-shrub range	1 herd-3 pasture	13	3	308–1979	50–100	120–365	n	A
Martin and Ward 1976	Arizona	Desert grassland	Alt. year rest	7	24	0.004	<<1	120–240	n	F
Ratliff 1986	California	Annual grassland	Rotation	8	3	30 (91)	<25	n	n	F
Heady 1961	California	Annual grassland	Def-rot	5	3	5.4	<1	n	n	F
Barnes and Denny 1991	Zimbabwe	Midgrass veld	SDG	6	4–8	<4	<1	30 (35)	10 (5)	F
Fourie and Engels 1986	South Africa	Shortgrass veld	SDG	4	6	30 (60)	<20	35	7	F
Fourie and Engels 1985	South Africa	Shortgrass veld	SDG	4	6	30 (60)	<20	35	7	F
Kreuter et al., 1984	South Africa	Tallgrass veld	SDG	8	6	0.6–1.2 (2.6–7.7)	<5	35	7	F
<b>(B) Higher stocking rate for rotational grazing</b>										
Jacobo et al., 2000	Argentina	Mesic C <sub>3</sub> grassland	SDG	3	10–12	45	50–100	25–90	3–15	A
Heitschmidt et al., 1987a,b	Texas	S. mixed prairie	SDG	4	16	33 (240)	100	30–65	2–4	A
Heitschmidt et al., 1982a	Texas	S. mixed prairie	SDG	2	10	4 (240)	100	35–42	3–7	F
Heitschmidt et al., 1982b	Texas	S. mixed prairie	Merrill	4	16	120 (240)	100	120	365	F
Reardon and Merrill 1976	Texas	S. mixed prairie	Def-rot	20	4	24 (32)	<20	120	365	F
Pitts and Bryant 1987	Texas	Shortgrass prairie	SDG	4	16	3 (32)	<10	30–60	2–7	F
Hirschfeld et al., 1996	N. Dakota	N. mixed prairie	SDG	2	8	16.25 (65)	<10	21–49	3–7	F
Kirby et al., 1986	N. Dakota	N. mixed prairie	SDG	2	8	16(130)	<5	35	5	F
Volesky et al., 1990	S. Dakota	N. mixed prairie	SDG	2	16	2.2	<1	15–45	1–3	F
White et al., 1991	New Mexico	Blue grama	SDG	6	9	45–210 (567)	100	n	n	F
Anderson 1988	New Mexico	Tobosa grassland	SDG	2	10	3.5 (33)	<5	19–40	1–9	F

HILF = High intensity, low frequency grazing; Merrill = Merrill 4-pasture, 3 herd grazing; SDG = Short duration grazing; Def-rot = Deferred rotation grazing; n = not available.

<sup>a</sup> Adaptive management = adjusting stock numbers or recovery periods according to prevailing weather conditions to achieve sustainable use of resources.

<sup>b</sup> Parentheses refer to the treatment in parentheses (column 4).

### 5.3. Retrasos de tratamiento y mediciones de parámetros.

Los resultados de la mayoría de las acciones de gestión empresarial se retrasan en el tiempo y varían según el paisaje (Senge, 1994), y ese es ciertamente el caso de la gestión del pastoreo en los pastizales. Al cambiar de una carga ganadera continua con tasas de carga bajas a un pastoreo en múltiples potreros con tasas de carga iguales o más altas, muchas variables del ecosistema se ven afectadas simultáneamente, incluidos los suelos, la vegetación y los herbívoros. Estos efectos ocurren en diferentes escalas temporales y espaciales y generalmente toma de 2 a 3 años después de cambios consistentes y sustanciales de manejo para que el sistema se adapte a las nuevas condiciones (Provenza, 2003a, 2008; Pinchak et al., 2010), y décadas para los cambios sean mensurables a nivel del paisaje (Burke et al., 1998). Por tanto, es alarmante examinar el número de estudios de pastoreo citados por Briske et al. (2008) que ni siquiera se han realizado desde hace 4 años (Tabla 1). Los pastizales son inherentemente variables climática y espacialmente, por lo que realizar experimentos de manejo de pastoreo durante menos de 5 años en pastizales húmedos o 10 años en pastizales más secos ignora cómo funcionan los ecosistemas y responden al clima y otras perturbaciones, como lo discuten Burke et al. (1998). En esencia, los sistemas responden continuamente al cambio, pero esos cambios son discontinuos. Esto está bien ilustrado por un experimento de carga animal de relativamente largo plazo entre vacas y crías en pastizales llevado a cabo en praderas de pastos mixtos del norte de Texas durante 20 años bajo carga continua. Los tratamientos fuertemente sembrados produjeron más producto vendible por hectárea, pero tuvieron mayores fluctuaciones anuales de producción que los tratamientos moderadamente sembrados (Kothmann et al., 1971; Knight et al., 1990). Durante los primeros 10 años del estudio, la carga pesada produjo mayores ingresos netos por hectárea que la carga moderada, pero en los últimos 5 años del estudio, la estabilidad de los ingresos fue mayor y los insumos de alimento suplementario fueron menores en el tratamiento con carga moderada (Whitson et al., mil novecientos ochenta y dos). La menor estabilidad de los ingresos se debió principalmente a una disminución progresiva en las condiciones de los pastizales con una densidad de población abundante, lo que dio lugar a cambios en la dominación de especies de pastos medios a pastos cortos menos productivos (Heitschmidt et al., 1982b). Los animales acostumbrados a una siembra continua de baja densidad pueden ser entrenados para aumentar la velocidad y la eficiencia de la cosecha, pero esto lleva de 2 a 3 años y algunos individuos nunca se adaptan (Provenza, 2003a, 2008).

Cuando se gestionan bien, los programas de pastoreo en múltiples potreros mejoran después de la fase de adaptación del ganado (Reardon y Merrill, 1976; Taylor et al., 1980, 1993; Provenza, 2003a; Pinchak et al., 2010). Las pruebas de pastoreo que se realizan por períodos cortos, o con nuevos animales cada año, probablemente capturan únicamente el período de adaptación del sistema y subestiman los beneficios potenciales a largo plazo del pastoreo en múltiples potreros. Por ejemplo, League et al. (2004), trabajando en praderas mixtas del sur del norte de Texas durante un período de 5 años, registraron mejoras en el área basal, la cobertura de hojarasca y la cantidad de suelo desnudo con un manejo de pastoreo en múltiples potreros en comparación con la siembra continua durante los años húmedos. En los años secos, las mejoras en estos parámetros disminuyeron pero a un ritmo más rápido con una siembra continua. Estos impactos se agravan con el tiempo, de modo que en otro estudio de más de 10 años, el pastoreo en múltiples potreros resultó en menos suelo desnudo, mejor composición de especies, mayor productividad primaria, mayor capacidad de retención de carbono y agua en el suelo en relación con la siembra continua (Teague et al., 2011).). A menos que se aborden esos retrasos, los resultados de la investigación sobre pastoreo conducen a conclusiones espurias que tienen poca relevancia para el manejo de ranchos comerciales a largo plazo.

Además de los retrasos en el tratamiento, es difícil determinar las diferencias de tratamiento en los ecosistemas de pastizales debido a los tiempos de respuesta lentos y erráticos desencadenados por reacciones a eventos estocásticos como el tiempo a corto plazo y las fluctuaciones climáticas a largo plazo que interactúan con las acciones de gestión ( Walker, 1988; Danckwerts et al., 1993; Watson et al., 1996; Teague et al., 2004, 2010a).

No obstante, estos efectos son fundamentales para identificar estrategias de pastoreo que sean sostenibles (adaptables) y aquellas que no lo sean (inflexibles). La adaptación a los efectos relacionados con el clima en los pastizales será cada vez más importante frente a los cambios climáticos proyectados. Sin embargo, Walker (1988) y Watson et al. (1996) enfatizaron que, si bien el clima es el factor más importante en los ecosistemas de pastizales, la gestión adaptativa es fundamental para lograr un uso sostenible. Poner demasiado énfasis en los factores climáticos u otros factores episódicos puede restar importancia erróneamente a la gestión, que puede aprovechar tales eventos dentro de una comunidad vegetal relativamente estable. Finalmente, los parámetros

clave deben medirse de manera que sea más probable que detecten diferencias si ocurrir. Bajo condiciones de siembra continua, las parcelas herbáceas fuertemente pastoreadas se ven afectadas negativamente en comparación con las parcelas subutilizadas (Bakker et al., 1983; Fuls, 1992; Kellner y Bosch, 1992). Por lo tanto, al evaluar los cambios en el manejo del pastoreo, el muestreo a través del continuo de parches sobreutilizados y subutilizados podría enmascarar diferencias reales. En consecuencia, en un estudio de pastoreo a escala de paisaje realizado por Teague et al. (2004), el muestreo se estratificó en parches herbáceos adyacentes sobreutilizados y subutilizados por separado en lugar de medir a lo largo del continuo, como es la costumbre habitual, para registrar los cambios en el patrón y la escala que se suponía que ocurrirían. Si el muestreo se hubiera realizado a través de diferentes parches y se hubiera calculado un valor medio para toda el área considerada, no habrían encontrado diferencias donde existían (un error de tipo 2). Estas consideraciones no se han incluido en otros estudios sobre distribución del pastoreo.

#### 5.4. Teniendo en cuenta las diferencias de suelo

Casi sin excepción, las diferencias en el suelo entre los tratamientos con pastoreo continuo y con pastoreo en potreros múltiples no se han informado ni tenido en cuenta adecuadamente. Sin embargo, la baja productividad de los pastizales significa que las áreas de manejo son grandes y, en consecuencia, la variabilidad edáfica y topográfica también es alta. En diferentes suelos se producen productividades primarias y secundarias sustancialmente diferentes, por lo que es necesario tener en cuenta las diferencias en los suelos al seleccionar los sitios para los experimentos y al analizar e informar los resultados de cualquier experimento (ver también Van der Ploeg et al., 2006). Un ejemplo de ello es el experimento que examina la productividad y los impactos de tres tratamientos de manejo del pastoreo informado por Heitschmidt et al. (1985, 1990). Encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de pastoreo, pero no se tuvieron en cuenta las diferencias en los suelos entre los tratamientos. En un análisis adicional de este experimento utilizando el modelo de simulación de pastizales SPUR, Teague y Foy (2004) encontraron que el modelo predijo que las diferencias en la productividad primaria y secundaria debido a la composición del suelo y la pendiente en cada área de tratamiento eran similares a las diferencias medidas en el campo, pero atribuido a los efectos del tratamiento de pastoreo. Por lo tanto, el modelo simuló parámetros clave lo suficientemente bien como para proporcionar evidencia creíble de que las diferencias previamente atribuidas al tratamiento de pastoreo probablemente se debían a diferencias en los suelos y pendientes más que a los tratamientos de pastoreo. Al no tener en cuenta las diferencias del suelo, es probable que este experimento haya sacado conclusiones incorrectas de este experimento de campo, como también lo discuten van der Ploeg et al. (2006) para un experimento en pastizales. Diferentes suelos también producen plantas con tipos y concentraciones sustancialmente diferentes de compuestos primarios y secundarios (Bryant et al., 1983). Desde el punto de vista científico o de gestión, la forma en que se subdividen los pastos es fundamental para maximizar las oportunidades para que los animales mezclen sus dietas de manera que mejoren la nutrición y la producción. Si una persona busca uniformidad y solo mueve animales ocasionalmente, eso puede disminuir la ingesta de nutrientes y el rendimiento animal. Por otro lado, el cercado para lograr uniformidad, en combinación con los movimientos diarios cada vez más comunes en la actualidad, puede permitir a los animales satisfacer sus necesidades nutricionales. En Namibia, Botswana y Sudáfrica, muchos pastores están cercando para favorecer la heterogeneidad, en lugar de la homogeneidad, debido al pobre desempeño del pastoreo de ganado en estos últimos en comparación con los primeros (Riaan Dames, comunicación personal).

#### 5.5. Tiempo de recuperación inadecuado en experimentos.

El tiempo que las plantas necesitan para recuperarse después de la defoliación está fuertemente relacionado con la intensidad de la defoliación durante el período de pastoreo (Trica et al., 1977; Mencke y Trica, 1981, 1983), la historia previa de la defoliación (Taylor et al., 1993), la etapa de crecimiento de la planta (Mullahey et al., 1990, 1991; Cullan et al., 1999) y las condiciones de crecimiento posteriores a la defoliación (Thurrow et al., 1988). Los períodos de recuperación más largos que permiten a las plantas restablecer un complemento completo de hojas

tienden a aumentar la proporción de pastos más altos y de mayor producción (Trica et al., 1977; Briske, 1991; Teague et al., 2011), y Sanjari et al. . (2008) encontraron que los tamaños de potreros más pequeños junto con períodos de recuperación más largos después del pastoreo contribuyeron de manera importante a la recuperación física y química del suelo en potreros múltiples controlados en el tiempo en comparación con el pastoreo continuo.

En estos estudios, los períodos óptimos de recuperación post-pastoreo oscilaron entre 84 y 126 días en áreas con una precipitación media anual de alrededor de 600 mm y más de dos años después de una fuerte defoliación en áreas con condiciones más xéricas como el oeste de Colorado. En estudios realizados en Sonora, Texas, con una precipitación media anual de 570 mm, los tratamientos de pastoreo con períodos de recuperación más largos dieron como resultado respuestas positivas en la abundancia y productividad del pasto medio, a pesar de que las cargas ganaderas aplicadas durante el período de pastoreo y la utilización de forraje resultante fueron mucho más altas que las de los tratamientos de pastoreo con períodos de recuperación más largos. en los tratamientos alternativos (Thurow et al., 1988; Taylor et al., 1980, 1993). Por el contrario, en climas más húmedos y tropicales, la rápida maduración y lignificación de los forrajes durante períodos prolongados de crecimiento pueden requerir períodos de recuperación mucho más cortos, tal vez tan solo 30 días, para una recuperación suficiente del material vegetal comestible (Tainton et al., 1999). En entornos más áridos, como Nuevo México, la humedad del suelo superior al 30% a 100-300 mm de profundidad necesaria para un crecimiento rápido se experimentó en sólo 28 días no continuos en una temporada de crecimiento de 214 días (Torell et al., 2008 ). En tales casos, puede ser necesaria la mayor parte de una o más temporadas de crecimiento para lograr una recuperación suficiente entre defoliaciones para sostener el recurso. Cook y Stoddart (1963) encontraron que en los desiertos del norte de Utah, las plantas de pastoreo no eran sostenibles con ninguna defoliación en la temporada de crecimiento, independientemente de la intensidad, y que sólo la defoliación moderada en la temporada de latencia era sostenible. Howell (2008) describe cómo la gestión ha adaptado con éxito tales requisitos cerca de Van Horn, Texas (precipitación media anual de 300 mm) mediante la repoblación en la temporada de no crecimiento sólo de acuerdo con el forraje disponible al final de la corta temporada de crecimiento y la distribución de la presión del pastoreo. en todo el rancho utilizando muchas subdivisiones de potreros más pequeñas estratégicamente ubicadas.

Los defensores del pastoreo en múltiples potreros han sostenido durante mucho tiempo que el momento del pastoreo y los períodos de recuperación basados en las tasas de crecimiento de las plantas son de importancia central para su éxito (Booyesen, 1969; Booyesen y Tainton, 1978; Venter y Drewes, 1969; Savory, 1983; McCosker , 1994; Norton, 1998, 2003; Gerrish, 2004; Howell, 2008).

Es posible que los beneficios de los tratamientos de pastoreo en múltiples potreros en pruebas de campo no se hayan manifestado debido a una recuperación insuficiente durante los períodos de crecimiento lento o nulo de las plantas (Savory y Butterfield, 1999), o debido a rotaciones de ciclos múltiples basadas en calendarios con períodos de recuperación insuficientes (p. ej., Kirby et al., 1986; Gillen et al., 1998; Burboa-Cabrera et al., 2003; Derner y Hart, 2007a, b; Hart et al., 1988) incluso cuando la rotación era flexible (p. ej., Bryant et al., 1989; Walker et al., 1989). Por lo tanto, las recomendaciones basadas en la afirmación de que no hubo beneficios de la recuperación periódica en tales ensayos también deben cuestionarse porque los beneficios ocurren sólo cuando las condiciones ambientales son adecuadas para el nuevo crecimiento de las plantas (por ejemplo, Mullahey et al., 1990, 1991; Reece et al. ., 1996; Cullan et al., 1999).

La duración de los períodos de recuperación utilizados en experimentos en múltiples potreros citados por Briske et al. (2008) son generalmente más breves de lo deseable (Tabla 1). En praderas más místicas de pastos altos, se informan períodos de recuperación de 30 a 49 días, pero se han logrado resultados deseables en períodos más largos de 45 a 90 días (Teague et al., 2011). De manera similar, en praderas mixtas, los períodos de recuperación han sido de 16 a 49 días con experimentos de pastoreo de corta duración (Tabla 1), mientras que normalmente se requerirían de 50 a 120 días (Thurow et al., 1988; Mullahey et al., 1990, 1991). ; Cullan et al., 1999), e incluso más tiempo si la defoliación hubiera sido intensa o la vegetación estuviera en malas condiciones. Los experimentos que involucran rotaciones diferidas o de descanso con 2 a 5 potreros generalmente tienen períodos de pastoreo de 30 a 365 días (Tabla 1), por lo que períodos de recuperación de menos de 100 días difícilmente pueden considerarse adecuados considerando el tiempo que las plantas y áreas preferidas tienen. estado expuesto al pastoreo en praderas mixtas. En los pastizales más secos, como se señaló anteriormente, el pastoreo moderado o ligero debe ir seguido de una recuperación completa de la temporada de crecimiento.

Aunque Briske et al. (2008) no discutieron las diferencias en la composición de especies, encontraron que solo 1 de 26 estudios informaron que la siembra continua produjo una composición de especies y una productividad superiores en relación con el pastoreo rotacional. Esto es notable porque en 8 de los estudios, las cargas ganaderas en los tratamientos de pastoreo rotativo fueron más altas que en el tratamiento de pastoreo continuo, y muchos estudios no proporcionaron períodos de recuperación adecuados después del pastoreo. Incluso en los muchos estudios que no proporcionaron una recuperación adecuada, la tasa de degradación de la comunidad vegetal se ralentizó mediante el manejo del pastoreo rotacional. Por ejemplo, en la investigación realizada por Thurow et al. (1988) en Sonora, Texas (precipitación media anual de 570 mm), los campamentos con múltiples potreros redujeron la tasa de degradación de los pastizales en comparación con potreros con poblaciones similares y pastoreo continuo, incluso con períodos subóptimos de recuperación de la temporada de crecimiento de tan solo 50 días. En resumen, contrariamente a la conclusión de Briske et al. (2008), la evidencia que proporcionamos anteriormente indica que la mayoría de los tratamientos o "sistemas" de pastoreo rotacional diseñados e implementados por investigadores difieren poco de la siembra continua, y por lo tanto no son mejores, para mejorar la diversidad, estabilidad y productividad de la comunidad vegetal. Sin embargo, cuando se aumentó el intervalo entre defoliaciones mediante pastoreo rotacional, se observaron efectos beneficiosos en las respuestas de la comunidad vegetal.

## 5.6. El papel de los enfoques reduccionista y sistémico

Mediante la aplicación de una metodología científica rigurosa y enfoques de investigación reduccionistas, se ha adquirido mucho conocimiento sobre los suelos, el agua, las plantas y los herbívoros y la interacción de estos en los procesos biofísicos que influyen en la salud y la resiliencia de los ecosistemas de pastizales. Sin embargo, el estudio eficaz del manejo del pastoreo a escala de todo el rancho o paisaje requiere no sólo la comparación de acciones de manejo alternativas sino también la evaluación de las formas en que estas acciones y procesos biofísicos interactúan y evolucionan con el tiempo. La variación temporal y espacial inherente a los procesos biofísicos y su interacción con las decisiones de manejo impide comparaciones directas de "sistemas" de pastoreo en experimentos de pastoreo clásicos y replicados, como lo señalaron van der Ploeg et al. (2006), Briske et al. (2008) y Teague et al. (2011). Todas las variables biofísicas en los diversos procesos se encuentran en un estado de flujo constante que está influenciado por la historia, las condiciones prevalecientes y el azar y, por lo tanto, sus manifestaciones son únicas en el tiempo y el espacio al ser modificadas por contextos y condiciones en constante cambio (Provenza, 2000). Los agricultores y ganaderos líderes logran resultados superiores por la forma en que asignan recursos, utilizan diferentes técnicas, aplican conceptos novedosos y cambian adaptativamente estos elementos para lograr resultados que exceden la suma de las partes involucradas. Este es el "arte de la agricultura", reconocido desde hace mucho tiempo como el que produce resultados superiores. La ciencia reduccionista es totalmente inadecuada para mejorar la comprensión de la gestión, ya que simplifica y aísla los insumos y tratamientos para impedir el descubrimiento de propiedades emergentes que son el logro característico de los principales gestores, como lo analizan en detalle los científicos holandeses van der Ploeg et al. (2006).

Para ser administradores eficaces, los ganaderos deben trabajar dentro de las limitaciones dinámicas de los procesos biofísicos que afectan sus paisajes. De manera óptima, esto combina el conocimiento de los procesos con la flexibilidad para responder a condiciones ambientales en constante cambio. Por lo tanto, los estudios "imparciales" sobre el manejo del pastoreo representan respuestas únicas en el espacio y el tiempo de procesos más generales relacionados con los comportamientos interactivos y adaptativos del agua, el suelo, las plantas, los herbívoros y las personas dentro de contextos ecológicos, económicos y sociales particulares. La ciencia puede iluminar principios y procesos fundamentales, pero sus manifestaciones representan estudios de casos únicos. Debido a la necesidad de replicar tratamientos con atributos mensurables comparables en la metodología científica convencional, es inútil intentar comparar varios "sistemas" de pastoreo utilizando dicha metodología (Van der Ploeg et al., 2006). De hecho, los científicos no son observadores imparciales. Más bien, al interactuar con un sistema de manejo del pastoreo, los científicos se convierten en administradores a través de la forma en que diseñan e implementan sus estudios. En ese sentido, cada estudio, replicado o no, es simplemente un estudio de caso. Mientras que la investigación en parcelas pequeñas puede ser útil para parametrizar factores

que ocurren en ventas pequeñas, como las relaciones competitivas entre plantas o el tiempo que las plantas necesitan para recuperarse de la defoliación en diferentes circunstancias (por ejemplo, Mullahey et al., 1990, 1991; Reece y otros, 1996; Cullan et al., 1999), los resultados de dicha investigación deben ubicarse en contextos temporales y espaciales apropiados para los administradores de paisajes y sus implicaciones no deben extenderse demasiado.

Burke et al. (1998) sostienen que no es razonable esperar resultados significativos de investigaciones realizadas durante períodos inferiores a 10 años, ya que los cambios se producen con relativa lentitud en los ecosistemas de pastizales más áridos. Además, dada la dinámica de los paisajes, es razonable preguntarse si los suelos, las plantas y los herbívoros alguna vez alcanzan algún tipo de equilibrio (Pielou, 1991; Provenza, 2003b, 2008). De lo contrario, la adaptación continua a entornos en constante cambio es la única opción para "paisajes sostenibles". La mejor manera de abordar estos desafíos y oportunidades es monitorear los procesos biológicos relacionados con los suelos, las plantas, los herbívoros y las personas en ranchos manejados exitosamente durante muchos años. Trabajar con estos ganaderos y utilizar modelos de simulación a nivel de sistemas tiene mucho potencial para avanzar en nuestra comprensión de qué gestión se requiere para lograr los objetivos deseados. Este enfoque dual puede evaluar simultáneamente las respuestas ecológicas y de gestión a las condiciones cambiantes. También permite a los investigadores evaluar empresas ganaderas enteras en diferentes ecosistemas de pastizales dentro de las limitaciones de los respectivos regímenes de pastoreo, incluida la capacidad de los ganaderos para gestionar de forma adaptativa los mejores resultados posibles (Briske et al., 2011; Teague et al., 2011). Numerosos ganaderos en todo el mundo han gestionado exitosamente sus tierras durante años, y algunos han operado exitosamente durante más de tres décadas, utilizando diversos niveles de sofisticación (Earl y Jones, 1996; Jacobo et al., 2006; Teague et al., 2011).

Los datos recopilados de ranchos con diferentes historias de manejo de pastoreo durante períodos decenales proporcionan un complemento esencial a un enfoque de modelado de sistemas para evaluaciones de sistemas de pastoreo. Esto permite un examen más detallado de una gama más amplia de hipótesis para comprender mejor las consecuencias de adoptar estrategias y prácticas de gestión alternativas.

El modelado de simulación es una herramienta infrutilizada. Desarrollar una mejor comprensión de los sistemas complejos requiere teoría, y la teoría a menudo requiere modelos para probar la comprensión (Starfield y Bleloch, 1985; Woodward, 2005). El modelado de simulación a nivel de sistemas puede complementar la investigación de campo tanto en parcelas pequeñas como en ranchos, ya que los tratamientos pueden explorarse sin las limitaciones de variabilidad, espacio, tiempo y costos de la investigación sobre pastoreo tradicional. Por lo tanto, un enfoque de modelado de simulación de sistemas podría facilitar el desarrollo de una base teórica sólida para comprender los procesos biofísicos y las hipótesis de gestión a escala del paisaje y probarlos con los resultados observados, elementos esenciales que han faltado. Hasta ahora, los esfuerzos de modelación de sistemas de pastoreo han incluido intentos de comprender mejor los resultados de los experimentos de campo (Teague y Foy, 2004), la escala espacial (Witten et al., 2005), la relevancia de una recuperación adecuada en los pastizales (Hui y Chen, 2006; Müller et al., 2007), estrategias de gestión del número de poblaciones (Hahn et al., 1999; Cingolani et al., 2002; Diaz-Solis et al., 2003, 2009) y economía ecológica (Beukes et al., 2002; Teague et al., 2008, 2009b). El reciente desarrollo de una serie de herramientas informáticas proporciona otro medio para lograr análisis más completos de los impactos de diferentes manejos y facilitar la investigación a nivel de sistemas a la escala en que se manejan los ecosistemas de pastizales. Estas tecnologías incluyen sistemas de información geográfica, sensores remotos y receptores de sistemas de posicionamiento global para monitorear los movimientos del ganado. Estas tecnologías ayudarán a evaluar los impactos de diferentes estrategias de gestión a escala de paisaje y de cuencas hidrográficas durante largos períodos para desarrollar una mejor comprensión de los impactos. Un ejemplo es la capacidad de realizar análisis retrospectivos de paisajes de ranchos bajo diferentes manejos utilizando los datos del satélite Landsat recopilados durante 40 años (Wessels et al., 2007; Washington-Allen et al., 2010). Estas tecnologías proporcionan un medio para probar las hipótesis que describimos a continuación para explicar los diferentes resultados obtenidos por investigadores que trabajan a pequeña escala y ganaderos que trabajan a escala de paisaje.

## 6. Nuevas teorías e hipótesis comprobables.

Aunque muchas disciplinas han operado históricamente sobre los principios de un único paradigma principal, considerar y comparar más de un paradigma a menudo genera un conocimiento más completo del que es posible con solo uno (Burrell y Morgan, 1979; Frost, 1980;

Provenza, 2000). Los diferentes paradigmas se basan en supuestos fundamentalmente diferentes y producen formas marcadamente diferentes de abordar y construir una base teórica para cualquier disciplina (Gioia y Pitre, 1990). Además, según el principio de consiliencia, los métodos y supuestos de cualquier campo de estudio deben ser consistentes con los hechos conocidos y aceptados en otras disciplinas (Wilson, 1998; Gowdy y Carbonell, 1999). Tener en cuenta diferentes supuestos teóricos dentro de un enfoque sistémico más amplio de la investigación proporciona una comprensión más integral de las respuestas locales de los procesos biofísicos que afectan a los ecosistemas gestionados y sus manifestaciones en constante cambio (Van der Ploeg et al., 2006).

Hemos citado numerosos ejemplos de investigaciones junto con evidencia anecdótica sustancial de ganaderos de todo el mundo (Savory y Butterfield, 1999; Tainton et al., 1999; Howell,

2008) justifican la modificación y prueba adicional de la hipótesis expresada por Briske et al. (2008) que no hay pruebas convincentes que demuestren que el pastoreo rotativo mejore la producción vegetal y animal en comparación con la ganadería continua en los pastizales. Proponemos la siguiente hipótesis alternativa comprobable: a escala de manejo de ranchos, el pastoreo planificado en múltiples potreros, cuando se maneja para brindar el mejor desempeño de la vegetación y los animales, tiene el potencial de producir resultados superiores de conservación y restauración de los recursos de los pastizales, para proporcionar servicios ecosistémicos superiores para sociedad y producir una mayor rentabilidad de los ranchos y una mayor resiliencia socioecológica a largo plazo en comparación con la siembra continua durante toda la temporada.

Para evaluar esta hipótesis y las observaciones que hemos documentado, las siguientes hipótesis específicas deben probarse utilizando modelos de simulación espacialmente explícitos durante períodos decenales y, en la mayor medida posible, verificarse con investigaciones de campo utilizando comparaciones de estudios de caso a escala de paisaje (rancho). . Nos referimos específicamente a comparaciones entre el pastoreo continuo durante toda la temporada (CG) y el pastoreo en múltiples potreros (MPG) que se manejan de manera adaptativa para proporcionar la mejor vegetación herbácea y el mejor rendimiento animal:

1. Debido al uso selectivo de plantas y áreas, el pastoreo continuo del ganado durante décadas en un gran potrero de un solo rancho aumentará el suelo desnudo y las plantas desagradables. Esto ocurrirá en áreas preferidas con carga ganadera baja y se degradará más y se extenderá más a medida que aumente la carga ganadera. Los períodos de sequía provocarán que las plantas y los parches muy pastoreados tengan una alta mortalidad. El rendimiento del ganado será alto inicialmente, pero disminuirá a medida que aumente la cantidad de terreno desnudo y la proporción de plantas desagradables.

2. La composición de especies de plantas debido al pastoreo selectivo variará significativamente según el tamaño de los potreros pastoreados. En los potreros pequeños, el pastoreo será más uniforme, los efectos de la sequía

será menos grave y se reducirán las diferencias en la diversidad de especies entre CG y MPG.

3. El MPG que proporciona períodos cortos de defoliación por parte de los pastores seguidos de períodos adecuados de recuperación del pastoreo permitirá que las plantas fuertemente pastoreadas se recuperen y sobrevivan a las sequías. La producción de forraje y la condición de los cultivos y los animales en pie (amortiguadores de plantas y animales) serán mayores y la mortalidad de plantas y ganado relacionada con la sequía será menor que con el CG. El MPG gestionado de forma adaptativa distribuirá la presión del pastoreo en una porción más grande del rancho y proporcionará una mejor calidad de la dieta para el ganado, lo que aumentará la producción ganadera y la producción primaria.

4. En pastizales relativamente mésicos, el MPG beneficiará más a la vegetación con un uso moderado y largos períodos de recuperación de la temporada de crecimiento, mientras que el rendimiento animal se beneficiará más

con períodos más cortos de pastoreo moderado durante la temporada de crecimiento y manteniendo las plantas en estado vegetativo.

5. En pastizales más secos, los beneficios de períodos de pastoreo más cortos con MPG son relativamente pequeños en comparación con la ventaja de períodos de recuperación de la temporada de crecimiento más largos.

6. Las plantas que crecen en ecosistemas áridos pueden no requerir defoliación durante la temporada de crecimiento y una defoliación limitada durante la temporada de inactividad.

7. Durante los años de precipitaciones promedio o superiores al promedio, una temporada completa de crecimiento de recuperación post-pastoreo rotada anualmente a lo largo de los potreros en un área de manejo aumentará la proporción de especies forrajeras deseables en relación con las indeseables. Esto, a largo plazo, mantendrá o aumentará la producción primaria y secundaria, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Frank et al., 1998).

8. En las transiciones de CG con potreros grandes a MPG con potreros pequeños, la producción por cabeza y por hectárea aumentará con un mayor número de potreros porque la medida en que MPG puede mejorar los efectos de la carga animal sobre el rendimiento animal y la condición de la vegetación está positivamente relacionada con la número de potreros en el sistema de pastoreo (Norton, 1998).

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Los beneficios de un manejo eficaz del pastoreo en múltiples potreros, así como los resultados de un manejo deficiente del pastoreo, se han observado y reportado durante muchos años y en muchos países.

Irónicamente, a pesar del beneficio observado y reportado para la composición de especies y la cubierta vegetal con el pastoreo planificado y una recuperación adecuada, revisiones recientes de estudios de pastoreo en pastizales sugieren que el pastoreo en múltiples potreros no mejora ni la vegetación ni la producción animal en relación con la siembra continua (Briske et al.,

2008). Nuestro artículo desarrolló hipótesis para explicar por qué existen percepciones tan diferentes entre muchos investigadores y la experiencia de administradores de pastoreo en todo el mundo que han utilizado el pastoreo en múltiples potreros de forma adaptativa para lograr las metas deseadas de producción, conservación y finanzas y mejorar la resiliencia de los ecosistemas y la prestación de servicios ecosistémicos. Hemos presentado comparaciones detalladas de métodos de investigación y la experiencia práctica de practicantes exitosos del manejo del pastoreo en múltiples potreros para brindar tres razones generales para la existencia de percepciones tan diferentes. Para facilitar la prueba de la validez de nuestras observaciones, esbozamos hipótesis comprobables para explicar por qué muchas investigaciones recientes han llegado a conclusiones que difieren de las obtenidas por ganaderos que han utilizado el pastoreo en múltiples potreros para lograr objetivos económicos y de conservación.

Primero, postulamos que la aplicación de tratamientos experimentales en experimentos de pastoreo controlado, en general, no ha tenido en cuenta los principios comúnmente reconocidos para mantener la salud y el vigor de las plantas y la ingesta de nutrientes de los animales. Además, las limitaciones espaciales, la naturaleza de corto plazo y los tratamientos de pastoreo inflexibles impuestos en la mayoría de los experimentos han impedido que los investigadores tengan en cuenta adecuadamente la heterogeneidad espacial de la vegetación, los cambios temporales en el clima, la composición de las plantas, los retrasos en el aprendizaje necesario para que los animales realicen sus tareas. a su potencial con cambios en el manejo y ajustes de la carga ganadera que caracterizan a la mayoría de los sistemas de producción de pastizales. Tales limitaciones experimentales han conducido frecuentemente a resultados que implican que los tratamientos de pastoreo en múltiples potreros no son mejores o inferiores a los tratamientos de pastoreo continuo con densidad ligera o moderada, cuando en cada caso la reacción de los organismos de interés está a merced de estos factores sin la gestión para adaptarse a estos factores.

Por el contrario, muchos ganaderos han logrado una excelente producción animal y mejoras en el suelo y la vegetación utilizando el pastoreo en múltiples potreros y descubren que la flexibilidad y la puntualidad de la retroalimentación inherente al MPG facilitan una mejor gestión en comparación con el CG. Lo han hecho respondiendo proactivamente a las circunstancias ambientales cambiantes mediante el uso de prácticas de gestión adaptativa que incluyen el monitoreo regular de los recursos y ajustes oportunos en la ubicación y el número del ganado. En ecosistemas complejos y en constante evolución, los componentes emergen, cambian y luego desaparecen, y los administradores se enfrentan y luego capitalizan los cambios que ayudan a iniciar. Normalmente anhelamos una receta estándar que garantice el mantenimiento del status quo, a pesar de saber que estamos inundados de variabilidad en entornos sociales y biofísicos cuyos cambios están en gran medida fuera de nuestro control. En cambio, una buena gestión de sistemas complejos requiere flexibilidad y menos un intento de controlar que un intento de comprender y responder de manera adecuada y continua a los cambios a medida que surgen. En el contexto de los paisajes productivos, los éxitos deben juzgarse a nivel del sistema y en función de si puede apoyar a quienes dependen de él.

Una segunda razón relacionada, la mayoría de los ensayos de pastoreo no han corroborado experiencias exitosas de pastoreo en múltiples potreros a escala de rancho es que no han abordado adecuadamente las interacciones entre animales y plantas a escalas apropiadas. Sin intervención de manejo, el pastoreo selectivo de plantas y áreas aumenta a medida que aumenta el tamaño y el tiempo del potrero. En general, los ensayos de pastoreo a pequeña escala y a corto plazo no han tenido en cuenta la distribución desigual del ganado en grandes potreros en pastoreo continuo, lo que conduce a una degradación localizada de los pastos con el tiempo. Tampoco ha tenido en cuenta la distribución más equitativa del ganado en pequeños potreros de investigación en pastoreo continuo que conduce a una utilización más equitativa. En general, tampoco han manejado de manera adaptativa el tiempo de recuperación para proporcionar una recuperación fisiológica adecuada y consistente para las plantas defoliadas. De cualquier manera, las conclusiones se ven afectadas por el diseño y la implementación del estudio.

Asociado a este descuido ha estado la suposición de que la disponibilidad y utilización de forraje son espacialmente homogéneas, lo que ha sido ampliamente refutado por una gran cantidad de investigaciones publicadas.

Los herbívoros tienen impactos completamente diferentes en grandes paisajes durante largos períodos de tiempo cuando se los abastece continuamente de lo que implican los estudios a pequeña escala temporal y espacial revisados por Briske et al. (2008). Si bien las investigaciones publicadas pueden presentar con precisión los resultados de los experimentos, a menos que los resultados puedan aplicarse en la gestión de paisajes dentro de un marco de sistemas, probablemente serán irrelevantes y posiblemente engañosos para quienes gestionan operaciones comerciales con objetivos de conservación a largo plazo (Provenza, 1991). , 2003a). Este es particularmente el caso si se han llevado a cabo por períodos cortos, en áreas que son sustancialmente más pequeñas y más homogéneas que el tamaño de los potreros continuamente poblados en ranchos comerciales, y no se han manejado de manera adaptativa en respuesta a circunstancias cambiantes. Además, muchas revisiones de la literatura tienen un enfoque limitado y llegan a conclusiones categóricas sobre los efectos del tratamiento de pastoreo sin evaluar cuidadosamente la metodología y el contexto de cada prueba de pastoreo (p. ej., Holechek et al., 1999, 2000, 2003; Briske et al., 2008; ver también Van der Ploeg et al., 2006). Además, concentrarse únicamente en las diferencias de productividad sin tener en cuenta de manera significativa los impactos negativos sobre el medio ambiente puede dar lugar a extrapolaciones engañosas. Tales conclusiones tienden a nublar, en lugar de mejorar, el conocimiento sobre el manejo sostenible del pastoreo y no brindan orientación relevante para aplicaciones prácticas de manejo del pastoreo.

Una tercera razón para los resultados experimentales y operativos contradictorios es que la mayoría de los investigadores no han diseñado sus experimentos para responder preguntas prácticas fundamentalmente importantes como: 1) Qué tan buena es una opción de manejo dada desde el punto de vista ecológico, económico y social; 2) ¿En qué contexto es más probable que tenga éxito? y 3) ¿Cómo se pueden contextualizar los resultados para que funcionen lo mejor posible? Para que los resultados de la investigación sean relevantes, se debe examinar cada experimento para determinar cómo se realizó y si los objetivos permiten extrapolar los resultados a situaciones de rancho. Cuando los investigadores realizan pruebas de pastoreo, ellos también son "administradores" de un terreno y, al participar a través de las preguntas que formulan, las formas en que diseñan e implementan los experimentos y, en última instancia, interpretan los resultados, influyen en los

resultados de sus investigaciones. estudios. A menos que los tratamientos de pastoreo se apliquen de una manera que intente producir la mejor integración posible de los contextos y condiciones ecológicas, económicos y sociales, los investigadores no pueden determinar con precisión si el pastoreo en múltiples potreros puede producir mejores resultados en relación con los tratamientos de repoblación continua administrados para proporcionar los mejores resultados.

Los ganaderos exitosos modifican su gestión a medida que cambian las condiciones ecológicas, económicas y sociales para lograr los mejores resultados posibles en entornos biofísicos y económicos dinámicos. Para alcanzar el objetivo de sostenibilidad en los pastizales, pensar en términos de sistemas de pastoreo no es importante en comparación con comprender y aplicar principios de gestión que apoyen el funcionamiento adecuado de los procesos ecológicos, económicos y sociales. Para ello, los gerentes logran objetivos de gestión mediante la comprensión científica de los procesos combinada con la experiencia práctica local.

Para realizar investigaciones relevantes a escala operativa, los investigadores tienen mucho que aprender trabajando con administradores de ranchos exitosos orientados a la conservación, como se ilustra en las comparaciones del pastoreo continuo y en múltiples potreros en ranchos comerciales.

Utilizando este enfoque, se pueden evitar muchas de las limitaciones que han caracterizado las investigaciones anteriores sobre sistemas de pastoreo. Específicamente, monitorear los ranchos que han operado exitosamente un manejo de pastoreo en múltiples potreros, en algunos casos durante décadas, puede ser la mejor manera para que los científicos de los pastizales aprecien la dinámica actual a medida que los ecosistemas de pastizales responden a los cambios en el manejo del pastoreo. Además, combinar la investigación en ranchos con modelos de simulación puede proporcionar información relevante para los administradores. Las herramientas informáticas, como los sistemas de información geográfica, la teledetección y los receptores de sistemas de posicionamiento global, complementan y facilitan la investigación a escala del paisaje. Estos enfoques son muy adecuados para evaluar los componentes ecológicos y de gestión de los sistemas de pastoreo y pueden facilitar el desarrollo de una base teórica sólida para comprender la ecología y la gestión de los ecosistemas de pastoreo. La ciencia puede ayudarnos a comprender los procesos biológicos, incluidas las interrelaciones entre los procesos biofísicos que vinculan los suelos, las plantas, los herbívoros y las personas (Provenza, 2000). La ciencia puede ayudarnos a apreciar el funcionamiento de los procesos de la naturaleza, que permiten a las criaturas adaptarse, pero no existe una verdad absoluta en la ciencia. Todos los conceptos y teorías son limitados y aproximados. La ciencia es una búsqueda de comprensión, un intento de dar cuenta de los fenómenos observables. Además, la naturaleza no nos muestra ningún "bloque de construcción aislado", sino que aparece como una red de relaciones entre varias partes del todo y que siempre incluye al observador y participante humano. Si bien otras disciplinas han llegado a aceptar este fenómeno, nosotros todavía nos aferramos a la noción de que los científicos son observadores imparciales que no influyen en los resultados de sus experimentos.

Los estudios sobre pastoreo se han centrado menos en la característica más importante del sistema de gestión: el elemento humano. Comprender los procesos biofísicos tiene poco valor en ausencia de la flexibilidad necesaria para manipular esos procesos hacia los objetivos humanos deseados en entornos inciertos. Lo más importante para lograr resultados sostenibles en los pastizales es obtener retroalimentación continua mediante el monitoreo y el ajuste del número y los movimientos de los herbívoros para garantizar la salud de los herbívoros, las plantas, los suelos y, en última instancia, las personas. Lograr la sostenibilidad en los pastizales depende de que los animales se muevan con frecuencia a través del paisaje, ya sea impulsados por sus necesidades de nutrientes, depredadores, pastores, incendios o potreros cercados (Provenza, 2003a, 2003b). Se requiere una gestión inteligente y dirigida a objetivos para alcanzar objetivos sostenibles. Para entender cómo hacerlo, debemos comprender los procesos biofísicos y cómo los mejores administradores los manipulan y ajustan (Provenza, 2003a).

#### Expresiones de gratitud

Los autores agradecen la financiación proporcionada por Texas A&M AgriLife Research en el marco del proyecto H 8179. Algunas de las ideas presentadas en este manuscrito se publicaron anteriormente en: Benefits of Multi-Paddock Grazing Management on Rangelands: Limitations of Experimental Grazing Research and Knowledge

Gaps. En: Pastizales: ecología, gestión y restauración, Editor: Hans G. Schroder, págs. 41-80. Editores de Nova Science, Inc. ISBN 978-1-60692-023-7. Se incluyen con autorización de Nova Science Publishers, Inc.

## References

- Adler, P.B., Milchunas, D.G., Lauenroth, W.K., Sala, O.E., Burke, I.C., 2004. Functional traits of graminoids in semi-arid steppes: a test of grazing histories. *Journal of Applied Ecology* 41, 653-663.
- Adler, P.B., Milchunas, D.G., Sala, O.E., Burke, I.C., Lauenroth, W.K., 2005. Plant traits and ecosystem grazing effects: comparison of U.S. sagebrush steppe and Patagonian steppe. *Ecological Applications* 15, 774-792.
- Anderson, a 98 Seasonal stone an absen al ed under continuous and
- Archibald, S., Bond, W.), Stock, W.D., Fairbanks, D.H.K., 2005. Shaping the landscape, fire-grazer interactions in an African savanna. *Ecological Applications* 15, 96-109.
- Ash, A.J., Stafford-Smith, D.M., 1996. Evaluating stocking rate impacts in rangelands, animals don't practice what we preach. *Rangeland Journal* 18, 216-243.
- Bailey, D.W., Welling, G.R., 2007. Evaluation of low-moisture blocks and conventional dry mixes for supplementing minerals and modifying cattle grazing patterns. *Rangeland Ecology and Management* 60, 54-64.
- Bailey, D.W., Provenza, F.D., 2008. Mechanisms determining large-herbivore distribution. In: Prins, H.T.T., van Langevelde, F. (Eds.), *Resource Ecology, Spatial and Temporal Dynamics of Foraging*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 7-28.
- Bailey, D.W., VanWagoner, H.C., Weinmeister, R., Jensen, D., 2008. Evaluation of low-stress herding and supplement placement for managing cattle grazing in riparian and upland areas. *Rangeland Ecology and Management* 61, 26-37.
- Bakker, J.P., de Leeuw, J.F., Von Weiren, S.E., 1983. Micro-patterns in grassland vegetation created and sustained by sheep. *Vegetatio* 55, 153-161.
- Barnes, D.L., Denny, R.P., 1991. A comparison of continuous and rotational grazing on veld at two stocking rates. *Journal of the Grassland Society of South Africa* 8, 168-173.
- Barnes, M.K., Norton, B.E., Maeno, M., Malechek, J.C., 2008. Paddock size and stocking density affect spatial heterogeneity of grazing. *Rangeland Ecology and Management* 61, 380-388.
- Beukes, P.C., Cowling, R.M., Higgins, S.I., 2002. An ecological economic simulation model of a non-selective grazing system in the Nama Karoo, South Africa. *Ecological Economics* 42, 221-242.
- Beukes, P.C., Cowling, R.M., 2003. Non-selective grazing impacts on soil properties of the Nama Karoo. *Journal of Range Management* 56, 547-552.
- Biondini, M.E., Manske, L.L., 1996. Grazing frequency and ecosystem processes in a northern mixed prairie, USA. *Ecological Applications* 5, 239-256.
- Bissonette, J.A., 1997. Scale-sensitive ecological properties. In: Bissonette, J.A. (Ed.), *Wildlife and Landscape Ecology*. Springer, New York, pp. 3-31.
- Booyesen, P. deV., 1966. A physiological approach to research in pasture management. *Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa* 4, 77-96.
- Booyesen, P. deV., 1969. An evaluation of the fundamentals of grazing systems. *Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa* 4, 84-91.
- Booyesen, P. de V., Tainton, N.M., 1978. Grassland management, principles and practice in South Africa. In: *Proceedings 1st International Rangeland Congress, Denver Colorado*, pp. 551-554.
- Bradford, D., 1998. Holistic resource management in the West Elks - why it works. *Rangelands* 20, 6-9.
- Briske, D.D., 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. In: Heitschmidt, R.K., Stuth, J.W. (Eds.), *Grazing Management: an Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, Oregon, pp. 85-108.
- Briske, D., Derner, J., Brown, J., Fuhlendorf, S., Teague, R., Gillen, B., Ash, A., Havstad, K., Willms, W., 2008. Benefits of rotational grazing on rangelands: an evaluation of the experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management* 61, 3-17.
- Briske, D.D., Sayre, N.F., Huntsinger, L., Fernandez-Gimenez, M., Budd, B., Derner, J.D., 2011. Origin, persistence, and resolution of the rotational grazing debate: integrating human dimensions into rangeland research. *Rangeland Ecology and Management* 64, 325-334.
- Bryant, J.P., Chapin III, F.S., Kline, D.R., 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos* 40, 357-368.
- Bryant, F.C., Dahl, B.E., Pettit, R.D., Britton, C.M., 1989. Does short-duration grazing work in arid and semiarid regions? *Journal of Soil and Water Conservation* 44, 290-296.
- Bryant, J.P., Provenza, F.D., Pastor, J., Reichardt, P.B., Clausen, T.P., DuToit, J.T., 1991. Interactions between woody plants and browsing mammals mediated by secondary metabolites. *Annual Review of Ecological Systems* 22, 431-446.
- Butler, P.J., 2000. Cattle distribution under intensive herded management. *Rangelands* 22, 21-23.

Burboa-Cabrera, F.R., Schacht, W.H., Anderson, B.E., 2003. Utilization and grazing distribution of cattle at 4 stocking densities. *Journal of Range Management* 56, 328-333.

Burke, I.C., Lauenroth, W.K., Vinton, M.A., Hook, P.B., Kelly, R.H., Epstein, H.E., Aguiar, M.R., Robles, M.D., Aguilera, M.O., Murphy, K.L., Gill, R.A., 1998. Plant-soil interactions in temperate grasslands. *Biogeochemistry* 42, 121-143.

Burrell, G., Morgan, G., 1979. *Sociological Paradigms and Organizational Analysis*. Helnemann, London.

Caldwell, M.M., Richards, J.H., Johnson, D.A., Nowak, R.S., Dzurec, R.S., 1981. Coping with herbivory, photosynthetic capacity and resource allocation in two semi-arid *Agropyron* bunchgrasses. *Oecologia* 50, 14-24.

Caldwell, M.M., 1984. Plant requirements for prudent grazing. In: *Developing Strategies for Rangeland Management*. Westview, Boulder, pp. 117-152.

Cassels, D.M., Gillen, R.L., McCollum, F.T., Tate, K.W., Hodges, M.E., 1995. Effects of grazing management on standing crop dynamics in tallgrass prairie. *Journal of Range Management* 48, 81-84.

Cingolani, A.M., Anchorena, J., Stoffella, S.L., Collantes, M.B., 2002. A landscape-scale model for optimal management of sheep grazing in the Magellanic steppe. *Applied Vegetation Science* 5, 159-166.

Coley, C.T., 1985. Resource availability and plant anti-herbivory. *Science* 230, 895-898.

Coughenour, M.B., McNaughton, S.J., Wallace, L.L., 1985. Responses of an African graminoid (*Themeda triandra* Forsk.) to frequent defoliation, nitrogen and water: a limit of the adaptation to herbivory. *Oecologia* 68, 105-111.

Coughenour, M.B., 1991. Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *Journal of Range Management* 44, 530-542.

Cullan, A.P., Reece, P.E., Schacht, W.H., 1999. Early summer grazing effects on defoliation and tiller demography of prairie sandreed. *Journal of Range Management* 52, 447-453.

Daily, G.C., 1997. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. In: *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, pp. 1-10.

Danckwerts, J.E., 1984. *Towards Improving Livestock Production on Sweet Grass-veld*. PhD. thesis. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa.

Danckwerts, J.E., O'Regan, P.J., O'Connor, T.G., 1993. Range management in a changing environment, a southern African perspective. *Rangeland Journal* 15, 133-144.

De Bello, F., Leps, J., Sebastià, M.-T., 2005. Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean. *Journal of Applied Ecology* 42, 824-833.

Denny, R.P., Barnes, D.L., 1977. Trials of multi-paddock grazing systems on veld 3. A comparison of six grazing procedures at two stocking rates. *Rhodesian Journal of Agricultural Research* 15, 129-143.

Derner, J.D., Hart, R.H., 2007a. Grazing-induced modifications to peak standing crop in northern mixed grass prairie. *Rangeland Ecology and Management* 60, 270-276.

Derner, J.D., Hart, R.H., 2007b. Livestock and vegetation responses to rotational grazing in shortgrass steppe. *Western North American Naturalist* 67, 359-



