

PASTOREO ROTATIVO EN PRODUCCIONES BOVINAS EXTENSIVAS COMO HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN EL MONTE CENTRAL

Verónica Chillo¹ y Ricardo A. Ojeda²

¹ Universidad Nacional de Río Negro - Sede Andina. Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural, CONICET CCT Patagonia Norte. ~~Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD)~~

² Grupo de Investigaciones de la Biodiversidad, Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas (IADIZA) – CONICET CCT Mendoza.

E-mail: mchillo@unrn.edu.ar

Recibido: 24/05/19

Aceptado: 04/09/19

RESUMEN

En la región de Cuyo, la ganadería es la principal actividad productiva de secano y mostró un marcado aumento en los últimos 30 años. La pérdida de la biodiversidad asociada a la degradación por sobrepastoreo merece especial atención por sus consecuencias sobre el funcionamiento del ecosistema. En el desierto del monte central, el pastoreo continuo es la práctica dominante para la producción bovina extensiva. Como alternativa, en el campo experimental El Divisadero (Mendoza) se implementó una estrategia de pastoreo rotativo que implica acomodar los tiempos de descanso de los potreros en base a la disponibilidad de forraje en las pasturas. Se presenta una revisión donde sintetizamos e integramos resultados ya publicados que analizaron la respuesta de la biodiversidad y la dinámica del ecosistema a la intensidad de pastoreo (estimado como la distancia a la aguada) en condiciones de pastoreo rotativo y continuo en el desierto del monte central, y su interacción con factores ambientales, ~~evaluado en El Divisadero~~. Nuestra revisión permite concluir que: a) ~~en general~~, la diversidad de plantas, hormigas y pequeños mamíferos varía dentro de cada estrategia de manejo según la intensidad de pastoreo; y b) bajo pastoreo rotativo, los efectos negativos del aumento en la intensidad de pastoreo sobre la diversidad son menores que bajo pastoreo continuo. Lo mismo ocurre con la funcionalidad del ecosistema, con un menor impacto sobre la tasa de descomposición y menor ocurrencia de umbrales de degradación bajo pastoreo rotativo. Se propone que los tiempos de descanso, acoplados con períodos de mayor precipitación, pueden ser herramientas para el manejo sustentable y la restauración de este ecosistema.

Palabras clave: zonas áridas, ganadería, vegetación, hormigas, pequeños mamíferos.

ROTATIONAL MANAGEMENT IN EXTENSIVE BOVINE PRODUCTIONS AS A TOOL FOR BIODIVERSITY CONSERVATION IN THE CENTRAL MONTE DESERT

ABSTRACT

In Cuyo region, livestock production is the main rainfed activity, and it has experienced a marked increase in the last 30 years. The loss of biodiversity associated with degradation due to overgrazing deserves special attention because of its consequences on ecosystem functioning. Continuous grazing is the dominant strategy for extensive cattle production in the Monte Central region. As an alternative, rotational grazing implies managing the resting times of paddocks based on the availability of pastures. In this review, we synthesized and integrated the results of publications

that analyzed the effect of grazing intensity (estimated as the distance to the water) on biodiversity and ecosystem dynamics of the of the Monte desert (Mendoza, Argentina) under rotational and continuous grazing strategies, and its interaction with environmental conditions. Our review allows us to conclude that: a) in general, the diversity of plants, ants and small mammals vary according to grazing intensity at both grazing management strategies; and b) under rotational grazing, the negative effects of the increase in grazing intensity on diversity are lower compared to continuous grazing conditions. In the same vein, the functionality of the ecosystem was less affected at rotational grazing, as shown by the lower impact on the decomposition rates and less occurrence of degradation thresholds. It is proposed that resting times, coupled with periods of higher precipitation, can be tools for sustainable management and restoration of this ecosystem.

Key words: dry-lands, cattle raising, vegetation, ants, small mammals.

INTRODUCCIÓN

Las tierras áridas ocupan el 41% de la superficie mundial y albergan más de 2 mil millones de personas que dependen del uso directo de los recursos naturales. La ganadería es la principal actividad productiva de secoano y uno de los sub-sectores de la agricultura con mayor crecimiento en países en desarrollo (Reynolds *et al.* 2007). En la Argentina, entre el 2001 y el 2005, el avance de la frontera agropecuaria significó la reducción del 18,4% de la cobertura de bosque y del 6,4%

de la cobertura de pastizales naturales. Estos ambientes eran previamente utilizados para la cría de ganado bovino, actividad actualmente desplazada hacia zonas más marginales (Viglizzo y Jobaggy 2011), lo que determinó que las zonas áridas en general, y la región de Cuyo en particular, tuvieran un marcado aumento en su existencia ganadera en los últimos 30 años (datos del Censo Nacional Agropecuario 2013; Figura 1). En la provincia de Mendoza, este proceso puede haberse dado por un incremento tanto en la extensión de las

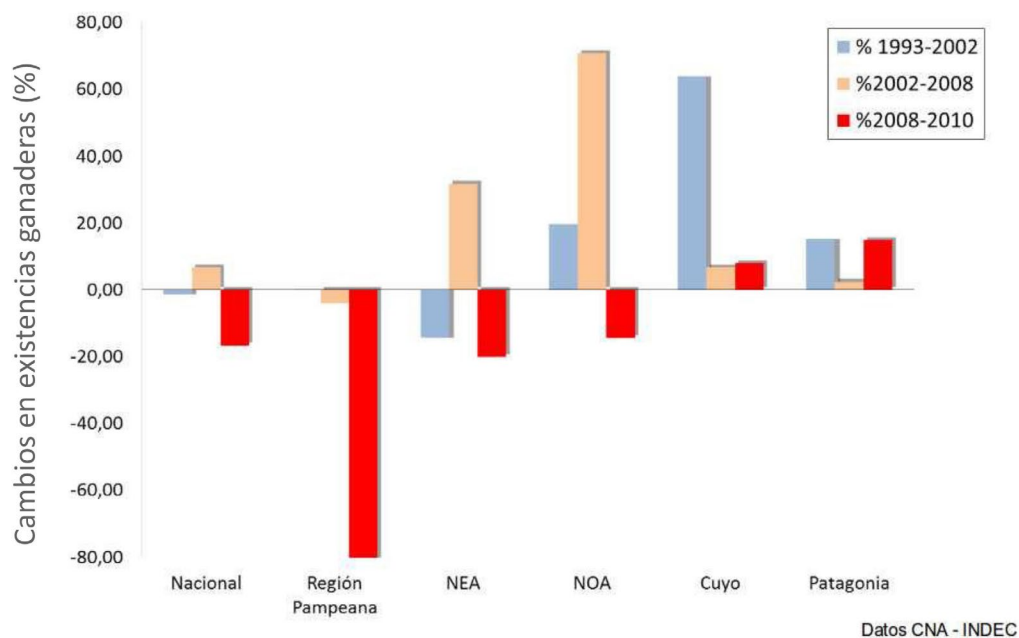


Figura 1. Porcentaje de cambio en las existencias ganaderas en diferentes períodos (1993-2002, 2002-2008 y 2008-2010) para las diferentes regiones de la Argentina. Datos extraídos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) del 2013.

tierras utilizadas para la cría, como en la carga ganadera, pero con el mismo uso extensivo, es decir sin incorporación tecnológica.

La ganadería sin un manejo adecuado es reconocida entre las principales causas de degradación en el Desierto del Monte (Villagra *et al.* 2009). La pérdida de biodiversidad asociada a esta degradación merece especial atención porque es mundialmente reconocido que la biodiversidad influye el funcionamiento del ecosistema y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos (Maestre *et al.* 2012). Por ejemplo, la presencia de plantas deciduas de crecimiento rápido y alto contenido de nitrógeno en las hojas se relaciona con tasas más altas de descomposición (Cornwell *et al.* 2008), proceso clave para evitar la desertificación. A su vez, la presencia de fauna con distintas dietas y modos de vida relacionados a la movilidad y el consumo de semillas es importante para la regeneración de la vegetación (García *et al.* 2012). Es por ello, que es necesario el desarrollo y la promoción de estrategias de manejo ganadero que permitan la conservación de la biodiversidad.

El problema se complejiza cuando sumamos disturbios climáticos recurrentes, aunque de frecuencia y magnitud impredecible, como las sequías. La limitante impuesta por la variabilidad (intra e inter-anual) en las precipitaciones determina la distribución de nutrientes, los períodos de crecimiento de la vegetación (Schwinning y Sala 2004), y los cambios en las abundancias de diferentes especies de la fauna nativa (Ojeda y Tabeni 2009). A su vez, el pastoreo en zonas áridas se caracteriza por ser heterogéneo espacialmente, concentrándose la carga ganadera cerca de los puntos de agua permanente. Debido a la mayor presión de pastoreo se acentúan los procesos de degradación en las zonas más cercanas a la aguada, alterando la estructura y el funcionamiento del ecosistema a través de cambios a lo largo de todo el gradiente. Este patrón ha sido reconocido en

otras regiones del país, como en la estepa patagónica (Golluscio y Mercau 1994) y en el chaco semi-árido (Macchi y Grau 2012). En particular, investigaciones realizadas en el desierto del monte central han mostrado la existencia de este patrón de degradación en la vegetación, en el que se observa un mayor porcentaje de suelo desnudo y especies poco palatables y resistentes al pisoteo, y disminución del área de pastos deseables para el ganado con la cercanía a la aguada (Gonnet *et al.* 2003; Guevara *et al.* 2006).

Distintas estrategias de producción ganadera pueden contribuir a disminuir el efecto negativo del pastoreo sobre la biodiversidad, aunque también presentan una controversia en cuanto a su eficiencia y sustentabilidad (Cingolani *et al.* 2008). En el desierto del monte central (Mendoza, Argentina), el tipo de manejo es considerado un factor determinante en la intensidad de pastoreo y sus efectos sobre la vegetación (Guevara *et al.* 2002, 2009). El pastoreo continuo es la estrategia dominante para la producción bovina extensiva, el que implica dejar el ganado pastoreando en un mismo potrero a lo largo del año y usar los corrales sólo para manejos específicos (ej. sanidad). Como alternativa, en el pastoreo rotativo se realiza una alternancia en el uso y descanso de los potreros, basada en la disponibilidad de pasturas, lo que resulta en una mayor eficiencia para la producción de terneros (Guevara *et al.* 2002). Sin embargo, luego de los tiempos de descanso existe un aumento instantáneo de la presión de pastoreo, ya que la carga ganadera equivalente para la superficie total del campo es concentrada en un sólo potrero mientras los otros potreros descansan. Esto puede aumentar el riesgo de desertificación si el sistema no logra tolerar el aumento instantáneo de presión de pastoreo, o si no logra recuperarse durante el período de descanso debido, por ejemplo, a una sequía prolongada.

Dada la complejidad de la dinámica de los ecosistemas áridos, es necesario evaluar la

respuesta de la biodiversidad al pastoreo considerando los factores principales de disturbio en conjunto y en el largo plazo, para así lograr una mejor aproximación al manejo sustentable de los recursos naturales. La Estación Experimental de Ganado y Pasturas Naturales El Divisadero (Dpto. Santa Rosa, Mendoza) fue instalada hace 40 años para evaluar el potencial productivo y la sustentabilidad de prácticas de manejo ganadero bovino alternativas al pastoreo continuo (Massota y Berra, 1993), y se presenta como la única experiencia del país de evaluación a largo plazo de prácticas de manejo bovino en zonas áridas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las ventajas o desventajas del pastoreo rotativo bovino, e indagar sobre su sustentabilidad ecológica en regiones áridas, y la interacción entre los efectos del tipo de manejo y los factores ambientales como la sequía y las lluvias. Para ello, se revisó e integró información publicada sobre los efectos de la intensidad del pastoreo (estimada en forma indirecta como la distancia a la aguada) sobre la diversidad específica y funcional de ciertos taxa (animal y vegetal), y sobre la dinámica y los procesos del ecosistema de desierto del monte central en condiciones de pastoreo rotativo y continuo. Se tomó como caso de estudio a la EE El Divisadero, con el fin de alcanzar una síntesis y ofrecer conclusiones que no son fácilmente extraíbles de los trabajos publicados de forma aislada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica de trabajos que evaluaran el efecto de la intensidad del pastoreo (estimada en forma indirecta como la distancia a la aguada) sobre la diversidad de la flora y la fauna, los procesos ecológicos y la dinámica del ecosistema en condiciones de pastoreo rotativo y continuo, tomando como caso de estudio la EE El Divisadero (Mendoza, Argentina). Dada la especificidad y el alcance local de la búsqueda, ésta se realizó en primera instancia mediante

entrevistas a los profesionales que trabajan en la EE El Divisadero, algunos de ellos desde sus inicios. En segunda instancia, se contactó a los autores señalados por los consultados en primera instancia y también se les consultó por otros trabajos realizados en la zona, ~~más allá de los propios~~. De los trabajos identificados, se seleccionaron los resultados específicos referidos al manejo (de rotación y su comparación con el manejo continuo) y al efecto de la intensidad del pastoreo. A modo de integración, los resultados principales se sintetizaron conceptualmente en forma de cuadro comparativo y en forma de esquema de tendencias.

Área de estudio

En el desierto del Monte Central, en el centro-oeste de la provincia de Mendoza, el clima es semiárido, con veranos cálidos y húmedos e inviernos fríos y secos (Abraham *et al.* 2009). La precipitación media anual presenta una gran variabilidad entre años, y en promedio ronda los 297 mm (Figura 2). Se caracteriza por una marcada heterogeneidad de ambientes que varían en dominancia a lo largo del paisaje. Los médanos, en particular, se caracterizan por la ocurrencia de arbustales abiertos de *Larrea divaricata*, *Ximenea americana*, *Fabiana pequi*, y *Lycium chilense*. Poseen un estrato inferior rico en plantas estacionales cuya cobertura puede variar de 30 a 90 % según la época del año (Sassi *et al.* 2009); mientras que el estrato arbóreo puede estar presente en ciertas zonas en la base de las dunas y está compuesto por *Prosopis flexuosa*, *Geoffrea decorticans* y *Bulnesia retama*. La historia de uso ganadero de la zona se remonta a los inicios del siglo XX, siendo intensamente pastoreada por ganado vacuno (11 ha/Unidad Ganadera)

La EE El Divisadero (33°39' S, 67°41' O), fundada en 1980, presenta suelos arenosos con formaciones de médanos medianos, dominado por gramíneas C₄ con una eficiencia en el uso de la lluvia de 2 kg/ha/año/mm.

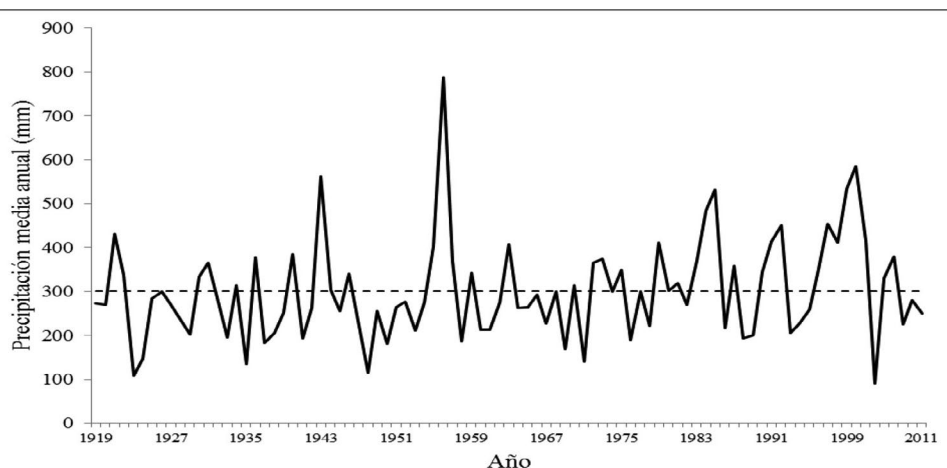


Figura 2. Precipitación media anual registrada durante el período 1919-2011 en la Estación Meteorológica de la Reserva de Ñacuñán (línea sólida). También se muestra la precipitación promedio del período (línea punteada).

Esta información permitió diseñar estrategias de ajuste de carga ganadera en función de la precipitación esperada (Guevara *et al.* 1996); sin embargo, la gran variabilidad interanual en las precipitaciones de la región (Figura 2) llevó a idear prácticas de manejo alternativas.

La EE El Divisadero mantiene desde sus inicios una carga ganadera vacuna moderada a conservadora (20 a 25 ha/UG aprox.). Consta de una superficie de aproximadamente 5.000 ha, la que fue dividida en cuatro potreros radiando desde una aguada central para la rotación de ganado (Guevara *et al.* 2002). La carga ganadera total que se consideraría para una superficie de 5.000 ha se concentra durante 4 meses en uno de los potreros ($\frac{1}{4}$ de la superficie del campo), y luego el ganado es rotado hacia otro potrero. De esta forma, cada potrero pasa por un período de pastoreo intensivo de 4 meses, y de descanso dado por la exclusión ganadera durante 12 meses. Así, aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes del campo pasan la estación húmeda sin pastoreo.

RESULTADOS

Como resultado de la búsqueda bibliográfica, se encontraron siete publicaciones que reportan el efecto de la intensidad del pasto-

reo sobre diferentes componentes de la biodiversidad evaluada en la EE El Divisadero. En algunos de esos trabajos, se comparó la diversidad de la vegetación, de los pequeños mamíferos y de las hormigas a lo largo de un gradiente de intensidad de pastoreo (estimado como la distancia desde la aguada o piósfera); mientras que en otras cuatro publicaciones se realizó además una comparación con campos aledaños bajo pastoreo bovino continuo.

Comparación del gradiente de intensidad de pastoreo entre manejos ganaderos

La abundancia de diversas especies de flora y fauna fue evaluada a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo bajo pastoreo continuo y bajo pastoreo rotativo (Guevara *et al.* 2002; Gonnet *et al.* 2003; Chillo *et al.* 2015). Al considerar los pastos perennes, Guevara *et al.* (2002) encontraron que la intensidad de pastoreo era determinante para el área basal y la abundancia, pero que la estrategia de manejo ganadero no influía sobre estas variables. Los autores proponen que las bajas cargas utilizadas y la sequía prolongada en el período de estudio serían las causas de la falta de respuesta al manejo encontrada.

Por su parte, al considerar a todas las especies vegetales, de hormigas y de pequeños mamíferos, Chillo *et al.* (2015), hallaron que la mayoría de las especies mostraron una tendencia decreciente (menor abundancia a mayor intensidad de pastoreo) bajo pastoreo continuo, en particular las gramíneas palatables y las especies animales asociadas a estructuras de vegetación cerrada o con buena cobertura como el ratón de campo (*Akodon molinae*) o la comadreja enana (*Thylamys pusilla*). Bajo pastoreo rotativo, por otra parte, una menor cantidad de especies presentó esta tendencia decreciente, y las especies con tendencias neutras (sin cambio en las abundancias a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo) y media (mayor abundancia a intensidades intermedias) fueron el resultado más común, probablemente debido a la presencia de especies no palatables y de animales generalistas de hábitat, como los roedores del género *Eligmodontia* sp. (Chillo *et al.* 2015). Por ejemplo, una mayor abundancia a distancias intermedias podría deberse tanto a un crecimiento compensatorio seguido después de un consumo intermedio de su biomasa, o a una disminución en la abundancia de

especies vecinas (ej. por ser palatables y/o decrecientes) (Gonnet *et al.* 2003).

A nivel comunitario, varios autores compararon el efecto de la intensidad de pastoreo sobre la diversidad de diferentes taxa entre estaciones del año y entre manejos (continuo vs. rotación). La Figura 3 muestra un esquema de las tendencias en la diversidad identificadas a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo bajo distintos manejos ganaderos. En general, la relación entre la intensidad de pastoreo y la diversidad estuvo afectada tanto por el clima como por el tipo de manejo. Por ejemplo, durante la estación húmeda no se detectó un efecto del gradiente de intensidad de pastoreo en la diversidad de la vegetación y de los pequeños mamíferos bajo pastoreo rotativo (Figura 3). Probablemente, tanto el aumento en la cobertura de plantas anuales (Sassi *et al.* 2009), como el incremento en el reclutamiento de pastos perennes (López *et al.* 2011) pueden contribuir a esta respuesta diferencial de la diversidad de la vegetación al pastoreo frente a cambios en las precipitaciones. Otros autores encontraron que la diversidad decae más rápidamente

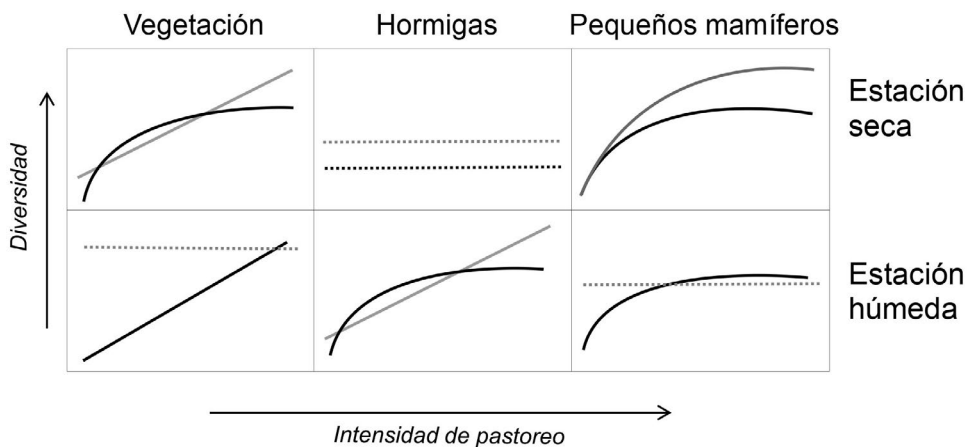


Figura 3. Esquema representativo de los cambios en la diversidad de especies para diferentes taxones (vegetación, hormigas y pequeños mamíferos) a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo, en dos estaciones del año. Las líneas negras representan el pastoreo continuo, las líneas grises representan al pastoreo rotativo, y las líneas punteadas representan relaciones dudosas (donde se espera que la distancia a la aguada no afecte a la diversidad). Esquematizado en base a Chillo y Ojeda (2014); y Chillo *et al.* (2015).

a mayor intensidad de pastoreo bajo manejo continuo en comparación con el de rotación (Chillo *et al.* 2015) (Figura 3).

La respuesta del ensamble de hormigas al gradiente de intensidad de pastoreo estuvo determinada principalmente por la estacionalidad en las precipitaciones y en menor medida por el manejo ganadero. Notablemente, durante la estación seca la diversidad de hormigas no fue afectada por la intensidad de pastoreo (Chillo *et al.* 2015) (Figura 3), probablemente porque las especies son más tolerantes al estrés que representa la falta de recursos, como ocurre con varias especies del género *Dorymyrmex* (Chillo y Ojeda 2015). Los pequeños mamíferos mostraron mayor variación en su riqueza y diversidad entre manejos ganaderos que entre estaciones del año (Figura 3).

Comparación de la dinámica y el funcionamiento del ecosistema entre manejos ganaderos

Una forma de evaluar cómo los cambios en la diversidad afectan a la dinámica del ecosistema es mediante el análisis de la ocurrencia de umbrales de degradación, los cuales se identifican por una respuesta no lineal o un cambio brusco en la relación (Bestelmeyer *et al.* 2013). Estos cambios bruscos o umbrales pueden verse cuando la relación de mejor ajuste entre el gradiente de intensidad de pastoreo y la diversidad no es lineal, de acuerdo con lo que se esquematiza en la Figura 3. En general, se encontró que el tipo de respuesta a la intensidad de pastoreo varía según el taxón y está afectada tanto por el tipo de manejo (continuo o rotativo), como por la disponibilidad de recursos dada por las lluvias. Por ejemplo, la diversidad de pequeños mamíferos mostró cambios abruptos a baja intensidad de pastoreo bajo pastoreo continuo aun durante la estación húmeda, cuando existe una mayor disponibilidad de recursos alimenticios y de hábitat (Chillo y Ojeda 2014) (Figura 3). Sin embargo, la respuesta de la

diversidad de la vegetación al gradiente de intensidad del disturbio bajo manejo continuo fue no lineal sólo durante la estación seca, mientras que mostró una respuesta gradual durante la estación húmeda (Figura 3).

Por otro lado, para entender el efecto del pastoreo sobre el funcionamiento del ecosistema es necesario considerar otros aspectos más allá de la diversidad de especies. La diversidad influye sobre el funcionamiento del ecosistema a través del tipo, el rango y la abundancia relativa de las características funcionales (es decir, atributos de las especies que determinan su efecto sobre los procesos ecosistémicos). Así, la consideración de las características funcionales vincula la pérdida de especies con los procesos ecológicos en los que intervienen, y en consecuencia con el funcionamiento del ecosistema (Cardinale *et al.* 2012).

El efecto negativo de la intensidad de pastoreo sobre la diversidad funcional de pequeños mamíferos y hormigas fue menor bajo pastoreo rotativo que bajo pastoreo continuo. De hecho, bajo rotación aparecen especies de gremios tróficos/estrategias de forrajeo que estaban ausentes en el pastoreo continuo o en cercanías a las aguadas, por ejemplo, las hormigas y los pequeños mamíferos granívoros o insectívoros (Chillo y Ojeda 2015). Esto puede deberse a que especies como el ratón de campo (*Akodon molinae*) y la comadreja enana (*Thylamys pallidior*) utilizan hábitats de mayor cobertura vegetal (Ojeda y Tabeni 2009), por lo que son más afectadas por el pastoreo. Ello también explicaría que durante la estación húmeda se detectó un aumento en la actividad y la riqueza de ciertas especies de hormigas, muchas de las cuales son especialistas de ambientes cerrados con abundante mantillo (Chillo *et al.* 2017).

Las características funcionales analizadas estuvieron relacionadas con la formación y retención de mantillo y el ciclado de nutrientes, dos procesos ecológicos fundamentales para evitar la pérdida de suelo fértil y la dis-

minución de productividad (primaria y secundaria). En trabajos previos, Chillo y Ojeda (2014) encontraron un efecto negativo del gradiente de degradación por pastoreo sobre la diversidad de dichas características funcionales. Esos autores, también encontraron que el proceso de descomposición (tasa de peso perdido por día de material estándar en diferentes micro-sitios) es afectado por el gradiente de intensidad de pastoreo, siendo mucho menor a mayor intensidad de pastoreo en ambos manejos.

DISCUSIÓN

La dinámica de los ecosistemas áridos está determinada por la discontinuidad en la disponibilidad de recursos, en la que el sistema atraviesa períodos de alta y baja disponibilidad. La lluvia dispara cambios a varias escalas, desde la liberación instantánea de nutrientes por la microflora y fauna edáfica hasta variaciones a lo largo de los años en las poblaciones de productores primarios y consumidores (Schwinning y Sala 2004). Es por ello, que en las zonas áridas se considera a la exclusión ganadera a largo plazo y a los eventos de abundantes precipitaciones como oportunidad para la recuperación de zonas degradadas (Holmgren y Scheffer 2001).

Diversidad y funcionalidad

Los trabajos evaluados mostraron que las limitaciones impuestas por la falta de precipitaciones interactuaron con el tipo de manejo, aumentando la degradación causada por el pastoreo sobre la vegetación (ej. mayor pérdida de diversidad y ocurrencia de umbrales de degradación durante la estación seca en el pastoreo continuo), y en menor medida sobre la fauna. Visto desde la perspectiva del manejo, esto implica también que los tiempos de descanso sumados a períodos de mayor disponibilidad de recursos (ej. mayores precipitaciones) podrían disminuir la pérdida de especies vegetales en las zonas de mayor intensidad de pastoreo (Chi-

llo y Ojeda 2015), como fue identificado en otras zonas áridas (Holmgren y Scheffer 2001; Mashiri et al. 2008; López et al. 2011). Con un patrón menos claro que el de la vegetación, los ensambles de la fauna tuvieron respuestas similares, en las que la exclusión ganadera de un año permitió la recuperación de la diversidad (Chillo et al. 2015) y de la funcionalidad (Chillo et al. 2017). Así, la estrategia de rotación diseñada en la estación del Divisadero podría ser una oportunidad para la conservación de la biodiversidad frente al escenario actual de extensificación ganadera hacia zonas marginales (Figura 1) (Viglizzo y Jobaggy 2011).

Dinámica del ecosistema

El hecho de que la relación entre la diversidad específica y la funcional frente a un aumento de la intensidad del disturbio sea débil para la vegetación (Chillo et al. 2017) es importante porque implica que existe una alta redundancia funcional (ej. especies cumpliendo roles ecológicos similares) (Díaz y Cabido 2001; Córdova-Tapia y Zambrano 2015). Esto podría estar dado por una mayor importancia de las limitantes ambientales en comparación a la presión de pastoreo en la estructuración de la comunidad. Por ejemplo, especies diferentes taxonómicamente presentan adaptaciones fisiológicas similares para sobrevivir a las condiciones ambientales extremas impuestas por el déficit hídrico (Quiroga et al. 2010).

En las zonas áridas, en general, se ha encontrado que la resiliencia de los procesos de ciclo de nutrientes y formación y retención del mantillo es baja frente a altas intensidades de pastoreo (Reynolds et al. 2007). Una baja resiliencia al pastoreo implica una incapacidad del ecosistema de absorber el disturbio y reorganizarse para mantener su estructura y funcionamiento (Briske et al. 2005), y podría ser una señal precursora de la ocurrencia de estados degradados (ej. pérdida de productividad y de diversidad) (Bestelmeyer et al. 2013). Este

cambio puede darse cuando el sistema excede un umbral (ej. respuesta no lineal al disturbio) y se alteran los mecanismos de retro-alimentación que mantenían la estructura y función previa al disturbio. En el monte central en particular, a pesar de la baja resiliencia frente a altas intensidades de pastoreo vacuno, no todos los ensamblajes presentaron un cambio brusco a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo (Chillo y Ojeda 2014). Así, se ve que la respuesta al disturbio es heterogénea, que no hay una relación lineal y directa entre estructura y función, y que otros factores pueden estar jugando un papel importante (ej. interacciones, movilidad y memoria ecológica).

Queda por evaluar si la ocurrencia de eventos mayores de precipitación ínter-anual (ej. El Niño-Oscilación del Sur) pueden generar una transición mayor hacia estados restaurados de la diversidad (Letnic y Dickman 2010). Esto en particular es un punto importante que debe ser profundizado, dada la gran variabilidad ínter-anual de las precipitaciones en el desierto del monte central (Figura 2). En este sentido, toman importancia los estudios a largo plazo con el fin de lograr analizar la variabilidad intrínseca del ecosistema. Este punto clave es un desafío para la toma de decisiones cotidianas y prediales sobre la carga ganadera, por lo que se sugiere que este tipo de sistemas sean manejados con una aproximación de manejo adaptativo (Allen y Gunderson 2011; Guevara *et al.* 2009), en contraposición a estrategias ganaderas más estrictas que pueden ser aplicadas sólo en sistemas más estables desde el punto de vista climático.

Un punto a favor del manejo adaptativo es que la vegetación no mostró una respuesta tan marcada como la fauna. Sólo se vieron cambios bruscos en algunos componentes estructurales de la vegetación durante la estación seca y bajo pastoreo continuo, pero que durante la estación húmeda esos mismos sitios mostraron un cambio gradual al gradiente de intensidad del disturbio (Chillo y Ojeda 2014). Estos patrones sugieren que el umbral de pérdida de diversidad que

se ve durante la estación seca es fácilmente reversible con el aporte de precipitaciones intrínseco del sistema. Esta rápida recuperación puede deberse a la historia de la interacción planta-herbívoro en el monte, donde la presencia de megaherbívoros durante el período Terciario puede haber modelado comunidades resistentes a este disturbio (Bucher 1987). A su vez, en otros desiertos del mundo se ha demostrado que la comunidad vegetal puede ser más resistente al disturbio por pastoreo que lo esperado, ya que recupera su composición florística luego de la exclusión de mediano plazo, incluso después de sufrir altas cargas ganaderas (Bes-telmeyer *et al.* 2013).

CONCLUSIONES

En síntesis, los resultados integrados de publicaciones que estudiaron los efectos del gradiente de intensidad de pastoreo sobre la biodiversidad y las funciones del ecosistema en condiciones de pastoreo continuo y de pastoreo rotativo tomando como caso de estudio la EE El Divisadero (Cuadro 1), dan robustez al pastoreo rotativo como estrategia de producción sustentable en el desierto del monte central. Si bien el efecto negativo del gradiente de intensidad de pastoreo está presente en ambos tipos de manejo, el impacto es siempre menor en rotación. Por ejemplo, hay variables que en interacción con la estación húmeda no se ven afectadas por la mayor presión de pastoreo (Cuadro 1). En este sentido, la exclusión ganadera de corto plazo asociada a una rápida respuesta del sistema a la estacionalidad climática puede constituir un manejo adecuado para la prevención de la desertificación y el mantenimiento de la biodiversidad en ambientes de médanos del desierto del monte central. Es fundamental desarrollar estrategias de manejo adaptativo que permitan aprovechar las estaciones húmedas para evitar la degradación que la intensificación en el pastoreo causa sobre el sistema durante la estación seca. A su vez, se pueden pensar estrategias que permitan trabajar en sinergia con la ocurrencia de años húmedos (Figura 2) para recuperar la capacidad de carga del sistema.

Cuadro 1. Resumen de la respuesta de las especies, las características funcionales, la tasa de descomposición y la dinámica del sistema bajo pastoreo al gradiente de intensidad de pastoreo desde la aguada (piósfera). En cada fila se resume la respuesta de los diferentes componentes al aumento en la intensidad de pastoreo. En las columnas se presenta la respuesta en forma comparativa entre manejo ganadero continuo y de rotación.

	Piósfera en pastoreo continuo	Piósfera en pastoreo rotativo
Estructura de las comunidades	disminución de riqueza de especies en todos los taxa	menor disminución de riqueza de especies de fauna sin cambios en riqueza de especies vegetales
	disminución de diversidad de especies en todos los taxa	menor disminución de diversidad de especies sin cambios en diversidad de especies vegetales en estación húmeda sin cambios en diversidad de pequeños mamíferos en estación húmeda
Funcionamiento del ecosistema	disminución de diversidad funcional ¹ en todos los taxa	menor disminución de diversidad funcional ¹ en todos los taxa
	disminución de la tasa de descomposición	menor disminución de la tasa de descomposición
Dinámica del ecosistema	menor resiliencia a mayor carga ganadera	menor resiliencia a mayor carga ganadera
	umbral de degradación estructural ² en pequeños mamíferos	sin respuesta umbral estructural ²
	umbral de degradación funcional ³	sin respuesta umbral en diversidad funcional de vegetación umbral de degradación funcional ³

¹ Las características funcionales (relacionadas con el ciclado de nutrientes y la tasa de descomposición) consideradas para cuantificar la diversidad funcional fueron, a) para vegetación: forma de vida, ciclo de vida, tamaño de la hoja, principal sistema radical, tipo de dispersión lateral, textura de la hoja, fijación de nitrógeno, órganos de almacenamiento; b) para hormigas: estrategia forrajera, tipo de hábitat, preferencia climática, tamaño corporal, actividad; c) para pequeños mamíferos: principal ítem alimenticio, estrategia de escape, torpor, semi-fosorialidad. El detalle de los valores de cada característica asignados a cada especie está disponible en Chillo y Ojeda (2014), Apéndice S3.

² Se refiere a cambios bruscos en la riqueza y diversidad de especies a lo largo del gradiente de intensidad de pastoreo

³ Se refiere a cambios bruscos en la tasa de descomposición.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Stasi, Juan Antúnez y Juan Carlos Guevara por su incentivo, discusión y permanente ayuda con la logística. Al Editor y a dos

revisoras/es anónimos por su trabajo para mejorar el manuscrito. Trabajo parcialmente financiado por proyectos CONICET-PIP5944 y AGENCIA-PICT25778, y becas CONICET.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E., del Valle, H.F., Roig, F., Torres, L., Ares, J.O., Coronato, F., y Godagnone, R. (2009). Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal of Arid Environments*, 73 (2), 144-153.
- Allen, C. y Gunderson, L. (2011). Pathology and failure in the design and implementation of adaptive management. *Journal of Environmental Management*, 92 (5), 1379-1384.
- Bestelmeyer, B.T., Duniway, M.C., James, D.K., Burkett, L.M. y Havstad, K.M. (2013). A test of critical thresholds and their indicators in a desertification-prone ecosystem: more resilience than we thought. *Ecology Letters*, 16 (3), 339-345.

- Bucher, E.H. (1987). Herbivory in arid and semi-arid regions of Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 60, 265-273.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., et al. (2012). Biodiversity loss and its impacts on humanity. *Nature*, 486 (7401), 59-67.
- Chillo, V. y Ojeda, R.A. (2014). Disentangling ecosystem responses to livestock grazing in drylands. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 197, 271-277.
- Chillo, V. y Ojeda, R.A. (2015). Interacción entre exclusión ganadera de corto plazo y estacionalidad climática como herramienta de recuperación de la fauna en ambientes pastoreados del Monte Central. En Martínez Carretero E. y Dalmasso A.D. Eds. *Rehabilitación y Restauración en la diagonal árida Argentina*. Mendoza, Argentina.
- Chillo, V., Ojeda, R.A., Anand, M. y Reynolds, J.F. (2015). A novel approach to assess livestock management effects on biodiversity of drylands. *Ecological Indicators*, 50, 69-78.
- Chillo, V., Ojeda, R.A., Capmourtenes, V. y Anand, M. (2017). Functional diversity loss with increasing livestock grazing intensity in drylands: the mechanisms and their consequences depend on the taxa. *Journal of Applied Ecology*, 54(3), 986-996.
- Cingolani, A.M., Noy-Meir, I., Renison, D.D. y Cabido, M. (2008). La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral*, 18 (3), 253-271.
- Córdova-Tapia, F., y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24 (3), 78-87.
- Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Amatangelo, K., Dorrepaal, E., Eviner, V.T., et al. (2008). Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*, 11(10), 1065-1071.
- García, D., Martínez, D., Herrera, J.M. y Morales, J.M. (2012). Functional heterogeneity in a plant – frugivore assemblage enhances seed dispersal resilience to habitat loss. *Ecography*, 35 (2), 1-12.
- Gonnet, J.M., Guevara, J.C. y Estévez, O.R. (2003). Perennial grass abundance along grazing gradients in Mendoza, Argentina. *Journal of Range Management*, 56 (4), 364-369.
- Golluscio, R. y Mercu, J. (1994). Cambios en la biodiversidad ante distintos grados de desertificación provocada por pastoreo. *Actas del Taller Internacional sobre Recursos Fitogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable*. Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.
- Guevara, J.C., Estevez, O.R., Stasi, C.R. y Gonnet, J.M. (2002). Perennial grass response to 10-year cattle grazing in the Mendoza plain, mid-west Argentina. *Journal of arid Environments*, 52 (3), 339-348
- Guevara, J.C., Estevez, O.R., Stasi, C.R. y Monge, A.S. (1996). Botanical composition of the seasonal diet of cattle in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 32 (4), 387-394
- Guevara, J.C., Estévez, O.R., y Stasi, C.R. (2006). Respuesta de la vegetación en un gradiente de intensidad de pastoreo en Mendoza, Argentina. *Mulitequina*, 15, 27-36.
- Guevara, J.C., Grünwaldt, E.G., Estévez, O.R., Bisigato, A.J., Blanco, L.J., et al. (2009). Range and livestock production in the Monte Desert, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 73 (2), 228-237.
- Holmgren M, Scheffer M. (2001). El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems*, 4(2), 151-159.
- Landsberg, J., James, C.D., Morton, S.R., Muller, W.J. y Stol, J. (2003). Abundance and composition of plant species along grazing gradients in Australian rangelands. *Journal of Applied Ecology*, 40 (6), 1008-1024.
- Letnic, M. y Dickman, C.R. (2010). Resource pulses and mammalian dynamics: conceptual models for hummock grasslands and other Australian desert habitats. *Biological Reviews*, 85 (3), 501-521.
- López, D.R., Cavallero, L., Brizuela, M.A. y Aguiar, M.R. (2011). Ecosystemic structural –functional approach of the state and transition model. *Applied Vegetation Science*, 14 (1), 6-16.
- Maestre, F.T., Quero, J.L., Gotelli, N.J., Escudero, A., Ochoa, V., et al. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335 (6065), 214-218.
- Mashiri, F.E., McClaran, M.P. y Fehmi, J.S. (2008). Short- and long-term vegetation change related to grazing systems, precipitation, and Mesquite cover. *Rangeland Ecology & Management*, 61 (4), 368-379.
- Masotta, H.T. y Berra, A.B. (1994). Relaciones suelo-paisaje en el campo Experimental El Divisadero, Santa Rosa. *Mulitequina*, 3, 89-97.

- Ojeda, R.A. and Tabeni, S. (2009). The mammals of the Monte Desert revisited. *Journal of Arid Environments*, 73 (2), 173-181.
- Quiroga, R.E., Golluscio, R.A., Blanco, L.J. y Fernández, R.J. (2010). Aridity and grazing as convergent selective forces: an experiment with an Arid Chaco bunchgrass. *Ecological Applications*, 20 (7), 1876-89.
- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner II, B.L., Mortimore, M., et al. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316 (5826), 847-851
- Sassi, P.L., Taraborelli, P.A., Borghi, C.E. y Ojeda, R.A. (2009). Cattle grazing effects on annual plants assemblages in the Central Monte Desert, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 73 (4-5), 537-541.
- Schwinning, S. y Sala, O.E. (2004). Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, 141, 211-220.
- Viglizzo, E.P y Jobaggy, E. (Eds) 2011. *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*- INTA, Argentina.
- Villagra, P.E., Defosse, G.E., del Valle, H.F., Tabeni, S., Rostagno, M., et al. (2009). Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert: Implications for their management. *Journal of Arid Environments*, 73 (2), 202-211.