

Variabilidad temporal de la producción de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en regiones áridas

Temporal variability of production of buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.) pastures in arid lands

Christian Silva-Bejarano, Pedro P. Garcillán*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, CP. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

* Autor de correspondencia: ppgarcillan@cibnor.mx

Artículo científico recibido: 27 de agosto de 2015, **aceptado:** 17 de noviembre de 2015

RESUMEN. El establecimiento de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) es una respuesta a la escasa disponibilidad de forraje en las regiones áridas. Estas regiones se caracterizan por la baja productividad y alta variabilidad temporal, factor que no suele incluirse en las estimaciones productivas de las praderas. El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto de la variación interanual de la precipitación y el efecto de la edad de establecimiento de la pradera, en un modelo de estimación productiva. Se eligieron 12 praderas establecidas en los 1970s en la Región del Cabo, Baja California Sur, con precipitación promedio anual entre 100 y 450 mm. El modelo de estimación se basó en la relación producción - precipitación anual. La variación interanual de la precipitación se obtuvo de registros históricos de la estación meteorológica más próxima a cada pradera, el efecto del tiempo de establecimiento se incluyó con base en la relación edad - productividad. Los resultados muestran que el efecto de la incorporación de la variabilidad temporal incrementa el valor de precipitación umbral necesario para tener producción positiva, disminuye de forma significativa la producción promedio estimada por pradera y aumenta la variabilidad geográfica de la misma.

Palabras clave: Baja California, declive productivo, desmontes, ganadería, precipitación variable

ABSTRACT. The establishment of buffelgrass pastures (*Cenchrus ciliaris* L.) has been considered a solution to the scarce availability of forage in arid lands. However, these regions are not only characterized by low productivity but also by its high temporal variability. That factor is not usually included in the estimation of pasture production. The objective of this study was to analyze the effect of including two sources of temporal variability (interannual variability of precipitation and effect of pasture age) in a model for estimating pasture productivity. Twelve pastures established during the 1970s in the Cape Region of Baja California Sur and distributed along an annual precipitation range of 100-450 mm were selected. The estimation model is based on the production - annual precipitation relationship. Interannual variability of precipitation was incorporated using the historical records of the weather station closest to each pasture. The effect of the age of establishment was incorporated following the age - productivity relationship reported in the literature. The results show that the effect of adding temporal variability increases the required precipitation threshold to obtain positive value of productivity, reduces significantly the estimated mean production by pasture, and increases its geographic variability.

Key words: Baja California, livestock, pasture run-down, variable precipitation, tree clearing

INTRODUCCIÓN

La ganadería es actualmente el tipo de uso de suelo de mayor extensión en el mundo, ocupando aproximadamente un 26 % de la superficie terrestre

libre de hielo (Steinfeld et al. 2006). En las regiones áridas, debido a su escasa precipitación y a la incertidumbre espacio-temporal de la misma, la ganadería ha sido históricamente la principal opción de aprovechamiento antrópico de los recursos natu-

rales (Le Houérou 2006).

Alrededor del 40 % del territorio mexicano son regiones áridas o semiáridas, y más del 60 % del mismo está dedicado a la ganadería (SEMARNAT 2013). En los 1970s, el gobierno federal promovió un ambicioso plan de desmonte y establecimiento de praderas, debido a la escasez de forraje natural como la principal limitante de la producción ganadera (Brenner 2011). La estrategia se basó en la introducción de especies de pastos de mayor productividad, como el zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) (Moreno-Unda 2011).

La baja precipitación, es el principal factor limitante de la producción primaria de las regiones áridas, la cual tiene relación con la producción (Golodets et al. 2013). Como consecuencia de ello, la variabilidad interanual en la precipitación, está correlacionada con variabilidad interanual de la producción primaria (Hsu et al. 2012). Por tanto, la limitación productiva de estas regiones no sólo es consecuencia de la escasa precipitación, sino también del efecto de la variación interanual de la misma (Le Houérou et al. 1988, Swemmer et al. 2007).

Se ha observado que la productividad de las praderas establecidas en desmontes con el paso del tiempo se reduce, particularmente en regiones áridas (Radford et al. 2007). Esta disminución temporal determina la sostenibilidad de la producción, las causas de la disminución productiva son complejas, pero se han relacionado con el declive productivo intrínseco de la reducción progresiva de los nutrientes disponibles en el suelo, especialmente el nitrógeno (Dalal et al. 2013, Morales-Romero et al. 2015) y el fósforo (Morales-Romero et al. 2015), y por la degradación productiva debido al manejo, especialmente por sobre-pastoreo (Búrquez y Martínez-Yrizar 2006). La disminución de cobertura vegetal reduce la materia orgánica del suelo, lo que a su vez limita la retención y disponibilidad de los nutrientes y aumenta el riesgo de erosión, especialmente en suelos pobres en materia orgánica como los de zonas áridas (Loveland y Webb 2003).

Las estimaciones de la productividad de praderas de zacate buffel se basa con frecuencia en la relación de la precipitación - producción en condi-

ciones experimentales durante breves periodos de tiempo, normalmente no más de dos años (Martin-R. et al. 1995, Velásquez-Valle et al. 2014). Estos experimentos generan una relación producción - precipitación que no incluye la variación de la relación causada por la variabilidad interanual de la precipitación o por el potencial decrecimiento productivo, debido al paso del tiempo. En ambientes áridos, que poseen elevada variabilidad interanual de precipitación, el uso de esta relación promedio como referencia para inferir la producción potencial del establecimiento de una pradera de zacate buffel podría resultar en una sobre-estimación. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto que tiene la inclusión de la variación interanual de la precipitación y el declive productivo con la edad de establecimiento sobre la estimación de la productividad potencial de las praderas de zacate buffel en ambientes áridos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El área de estudio se localiza en el extremo meridional del estado de Baja California Sur, México (Figura 1), en la transición entre la vegetación desértica y la árida subtropical (González-Abraham et al. 2010). La precipitación promedio anual varía entre 100 y 450 mm, con variación interanual en ciclos de 5.9 a 7.4 años (Díaz et al. 2001). A pesar de que Baja California Sur no se encontraba entre los 13 estados elegidos para implementar el PRONADE (Moreno-Unda 2011), se desmontaron y establecieron alrededor de 17 000 ha de praderas de zacate buffel para uso ganadero extensivo (Guillén-Trujillo et al. 2007, SEMARNAT 2011). Para luego establecer alrededor de 5 000 ha de praderas (Fundación Produce Baja California Sur 2011).

Con base en cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI (series I, II y III) y por confirmación mediante visitas en campo en el 2012, se seleccionaron 12 praderas de entre 20 y 35 años de edad, con extensión superior a 100 ha distribuidas en un gradiente de 100 a 450 mm de precipitación (Tabla 1). Para cada una de las praderas

Tabla 1. Características generales de las 12 praderas de zacate buffel estudiadas en la Región del Cabo, Baja California Sur, y la precipitación promedio anual y de verano de las estaciones meteorológicas próximas a las mismas.

Id	Pradera	Coordenadas (°)	Area (ha)	Edad (años)	P. anual (mm)	P. verano (mm)	Plantas-m ⁻²
1	Bonfil	24.166, -110.559	1 024	36-37	146	117	0.17
2	R. Agraria	24.028, -110.808	103	25	107	65	5.36
3	T. Santos	23.490, -110.171	845	36-37	175	119	1.17
4	Pescadero	23.403, -110.124	916	36-37	165	119	0.28
5	S. Martín	23.345, -109.778	700	36-37	465	413	0.22
6	S. Dionisio	23.517, -109.766	682	23-32	317	267	1.12
7	Cuevas	23.525, -109.660	503	36-37	273	221	0.26
8	S. Simón	23.635, -110.111	145	19-24	467	378	2.68
9	S. Antonio	23.847, -110.002	1 423	19-32	444	396	0.54
10	El Rosario	23.741, -110.125	416	>38	394	348	1.67
11	S. Pedro	23.924, -110.337	597	27-32	317	268	0.82
12	El Carrizal	23.774, -110.323	1 648	36-37	225	188	0.69

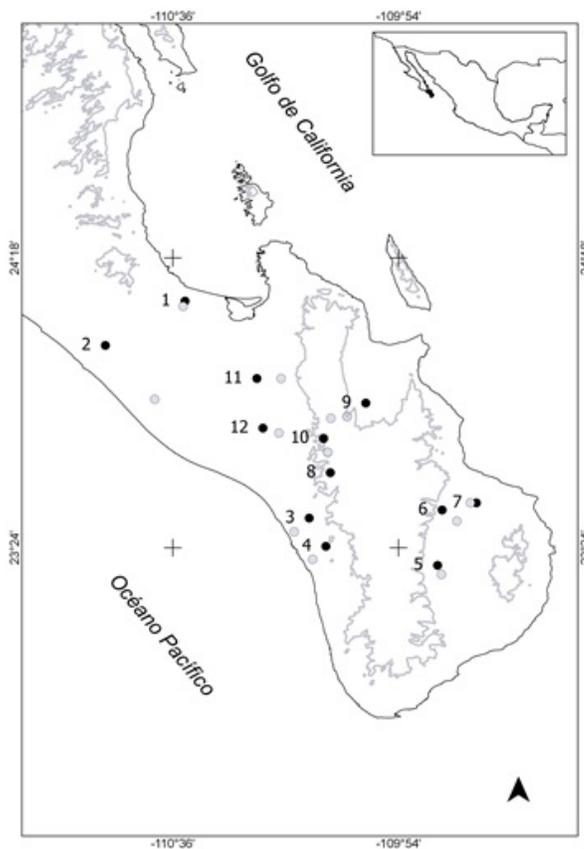


Figura 1. Localización geográfica de las 12 praderas de zacate buffel estudiados (círculos negros) y de las estaciones meteorológicas (círculos grises). La curva de nivel corresponde a los 600 m de altitud.

se eligió la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) más cercana que contase con al menos con 20 años de registros.

Modelo de estimación productiva

Se analizó el efecto de incorporar la variación interanual de la precipitación y el tiempo desde el establecimiento de la pradera sobre la estimación de la productividad, por medio de tres modelos en los que se incorporaron de forma escalonada los factores de: (1) precipitación anual constante, (2) variabilidad interanual de la precipitación, y (3) efecto del tiempo desde el establecimiento.

Modelo 1: No variación, precipitación anual constante. En este modelo la biomasa producida es función de la precipitación promedio del sitio. La única variación productiva es entre sitios, y esta causada por la heterogeneidad geográfica de la precipitación. En ambientes áridos, donde el agua es el principal factor limitante de la producción, se acepta la relación lineal entre la biomasa anual producida (B_1) y la precipitación anual (P) (Hsu et al. 2012), donde a es la intersección de la línea con el eje de ordenadas y b la pendiente de la relación entre ambas variables, con el modelo: $B_1 = a + b \cdot P$.

En el presente estudio se utilizó la relación entre producción anual de zacate buffel y precipitación obtenida por Martin-R et al. (1995), con valores de $B_1 = -1\ 527.9 + 19.8 \cdot P_v$, donde B_1 indica la biomasa anual producida en kg ha^{-1} y P_v la precipitación promedio de verano en mm. Considerando como verano aquellos meses en los que el zacate buffel puede tener crecimiento activo, con la temperatura mínima mensual promedio superior a $15\ ^\circ\text{C}$ (Cox et al. 1988). Para luego calcular la precipitación promedio de verano (P_v) y la producción promedio (B_1). Cuando la producción promedio estimada de una pradera fue inferior a cero, la pradera se consideró inviable y se le adjudicó una producción de cero.

Modelo 2: Variación interanual de la precipitación. La biomasa producida está relacionada no sólo con el promedio de la precipitación, sino también con la frecuencia de la misma (Le

Houérou et al. 1988, Guevara et al. 1996). La posibilidad de incorporar la variabilidad interanual de la precipitación se realiza con la estimación de la productividad anual promedio mediante un umbral de precipitación confiable (P_c), con modelo: $B_2 = a + b \cdot P_c$.

Para la cual se utiliza una frecuencia umbral de 80 % (Le Houérou et al. 1988), es decir, que en cuatro de cinco años la precipitación será igual o superior a un determinado valor, que corresponde al percentil 20, denominado precipitación confiable. El índice de confiabilidad es el cociente entre la precipitación confiable y la precipitación promedio (Guevara et al. 1996), por lo que varía con el gradiente de precipitación. Se utilizaron registros históricos de las estaciones correspondientes para calcular la precipitación de verano confiable al 80 % ($P_{cv_{0.8}}$) de cada pradera y estimar su producción anual promedio confiable (B_2).

Modelo 3: Variación interanual de la precipitación y efecto de la edad de las praderas. Se ha observado de forma recurrente la disminución productiva de praderas de zacate buffel al incrementarse el tiempo de establecimiento de la misma (Radford et al. 2007). Por lo que la producción esperada en el año t desde el establecimiento de la pradera es: $B_3(t) = B_2 - D(t)$ donde B_2 corresponde a la biomasa promedio estimada según el modelo dos, y $D(t)$ representa la función que expresa la disminución productiva en función de la edad de la pradera (t). La pradera deja de ser viable productivamente cuando la reducción productiva por el paso del tiempo ($D(t)$) sea igual a la capacidad productiva potencial (B_2). Por lo que se espera que la función $D(t)$ varíe entre sitios de acuerdo a las condiciones ambientales y el manejo productivo de cada pradera. Sin embargo, dado el carácter exploratorio del presente estudio se consideró de manera conservadora que $D(t)$ tuviera el mismo valor para todas las praderas y fuera igual a $\ln(t)$ (Radford et al. 2007). Por lo que se estimó la producción promedio de cada pradera con base en la ecuación del modelo para dos edades de establecimiento: (a) 10 años, y (b) la edad mínima estimada de cada pradera.

Para caracterizar la condición productiva ac-

tual de las praderas, se estimó su densidad mediante el establecimiento en cada una de las 12 praderas seleccionados dos parcelas de 200×500 m, en las que se seleccionaron cinco puntos al azar. En cada punto se dispuso un transecto de 50×2 m con orientación aleatoria, y se establecieron 6 cuadros de 2×1 m a intervalos de 10 m en el interior del transecto. En total se muestrearon 12 praderas, por medio de 120 transectos y 720 cuadros. En cada cuadro se registró el número de individuos (macollos) de zacate y se estimó la densidad promedio de cada pradera.

RESULTADOS

Efecto de la variación interanual de la precipitación en la estimación productiva

La extensión de las 12 praderas estudiadas varió entre 103 ha y 1 648 ha, con altitud entre 55 m y 470 m (Tabla 1). Las estaciones meteorológicas seleccionadas se encuentran a menos de 10 km de las praderas, excepto en el sitio 12 que está a 24 km (Figura 1). La precipitación anual promedio varió entre 107 y 465 mm, con cinco estaciones por debajo de 250 mm anuales. El número de meses de crecimiento activo potencial entre las distintas praderas fue de 3 a 8 meses, y la precipitación promedio de verano observada en los 12 sitios varió entre 65 y 413 mm (Tabla 1). La variación interanual de la precipitación de verano a nivel de sitio fue elevada con CV entre 58 y 241 %. La precipitación de verano confiable ($P_{cv0.8}$) entre los sitios varió entre 8 y 276 mm y el índice de confiabilidad se redujo al disminuir la precipitación promedio de verano (Figura 2).

El escenario de productividad estimada cambió al incorporar la variabilidad interanual de la precipitación en el modelo (Figura 3). En el modelo uno la precipitación de verano que marca el umbral de viabilidad productiva es de 77 mm, tuvo una pradera no viable y producción promedio de las once praderas restantes de 790 a 6 653 kg ha⁻¹. La inclusión de la variabilidad interanual de la precipitación de verano en el modelo 2 incrementó el umbral de viabilidad productiva a 171 mm, ya que

la regresión lineal de la producción respecto a la precipitación promedio de verano fue $B_2 = -2663 + 15.57 \cdot P_v$. En este modelo las praderas inviables fueron cinco y la producción de las siete praderas restantes fue de 712 a 3 946 kg ha⁻¹. La producción estimada a nivel de pradera en el modelo 2 fue en promedio un 65 % menor de la obtenida con el modelo 1.

Efecto de la edad de establecimiento en la estimación productiva

La condición productiva observada fue muy precaria. La densidad observada en 11 de las 12 praderas varió entre 0.17 y 2.7 individuos m⁻², presentando una productividad de 5.38 individuos m⁻² la pradera restante. El modelo 3 tiene el mismo número de praderas productivas que el modelo 2, y la viabilidad temporal de estas praderas varió entre 2 y 40 años. Con base en las fechas estimadas de establecimiento solo dos praderas siguen siendo viables. La producción promedio a 10 años de su establecimiento varió entre 73 y 2 435 kg ha⁻¹, y se observó una reducción promedio a nivel de pradera respecto al modelo 2 del 63 %. Si se considera el tiempo desde su establecimiento hasta la actualidad, la producción promedio anual entre las praderas varía entre 19 y 1 236 kg ha⁻¹, y la reducción promedio por pradera alcanza el 82 %.

DISCUSIÓN

La región de estudio presenta los atributos característicos de las regiones áridas con bajo promedio anual de precipitación y elevada variación espacial y temporal. Si consideramos que la precipitación de verano es la funcionalmente importante para el zacate buffel, la variación espacial y temporal de la misma aumenta más. La producción anual promedio observada como función de la precipitación de verano promedio (modelo 1) es moderada y presenta una elevada heterogeneidad entre las praderas viables, de 790 a 6 653 kg ha⁻¹; con CV₁ de 69 %. Los resultados muestran que la inclusión de la variabilidad interanual de la precipitación en el modelo 2 tiene tres

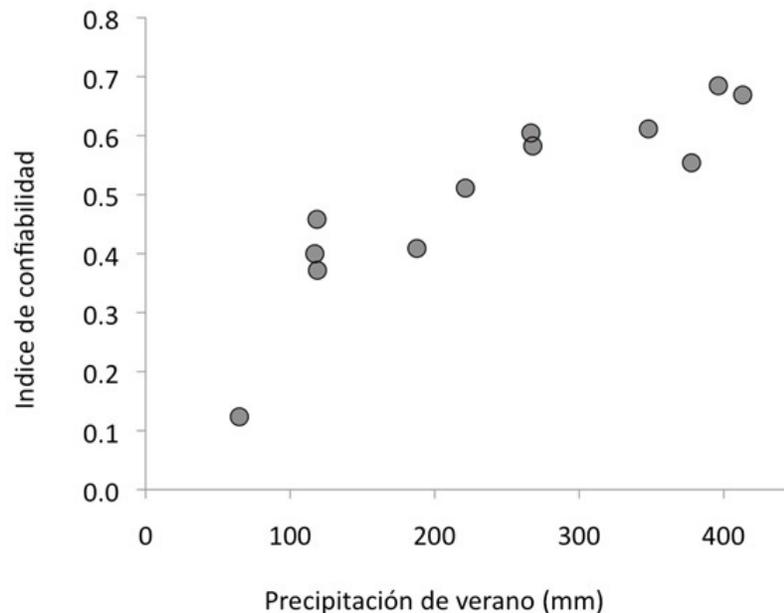


Figura 2. Relación entre la precipitación promedio de verano de las 12 praderas de zacate buffel estudiadas y su variabilidad interanual expresada en el índice de confiabilidad (cociente entre la precipitación de verano confiable al 80 % y la precipitación de verano promedio).

consecuencias generales sobre la productividad estimada. En primer lugar, aumenta el valor umbral de la precipitación de verano necesaria para obtener productividad viable, que pasa de 77 a 171 mm en la región de estudio. Esto implicaría una reducción a nivel regional del área con suficiente precipitación para garantizar la viabilidad productiva. En segundo lugar, se reduce el valor estimado de la producción anual promedio de cada pradera y, finalmente, aumenta la variabilidad geográfica de la producción estimada. El incremento de la heterogeneidad geográfica de la precipitación al incorporar la variabilidad temporal de la misma en el modelo 2 incrementa del 51 al 68 %, mientras que en la heterogeneidad geográfica de la producción pasa del 69 al 108 %. Este traslado amplificado de la variabilidad de la precipitación en ambientes áridos hacia la variabilidad espacial y/o temporal de la producción de forraje coincide con lo reportado por Lauenroth y Sala (1992) quienes encontraron que el coeficiente de variación temporal de la producción de forraje en una pradera natural del norte de Colorado fue mayor que la variación de la

precipitación asociada. Le Houérou *et al.* (1988) reportan variabilidad de la producción entre 20 y 50 % superior a la variabilidad en la precipitación en las áreas de pastoreo del Mediterráneo árido.

La estimación productiva del modelo 2 incluye el efecto de la variabilidad productiva debido a la variación interanual de la precipitación. Sin embargo, hay que considerar que la estimación de este modelo se refiere a la producción promedio para un periodo determinado, en el que hay años con valores de producción por arriba y por debajo del promedio. Ante este reto de variabilidad productiva de las regiones áridas se ha sugerido como respuesta incorporar a la estrategia de manejo del ganado la movilidad, la carga de pastoreo variable y el manejo adaptativo (Vetter 2005, Pinedo *et al.* 2013). Entre las respuestas que se han venido estableciendo ante los periodos de sequía, habría que revisar el efecto a largo plazo del suplemento alimenticio de animales en pastoreo libre, ya que implica mantener la presión sobre la pradera deteriorada por la sequía (Von Wehrden *et al.* 2012). Cuanto más se deteriore un lugar, más le costará recobrar su producción cuando

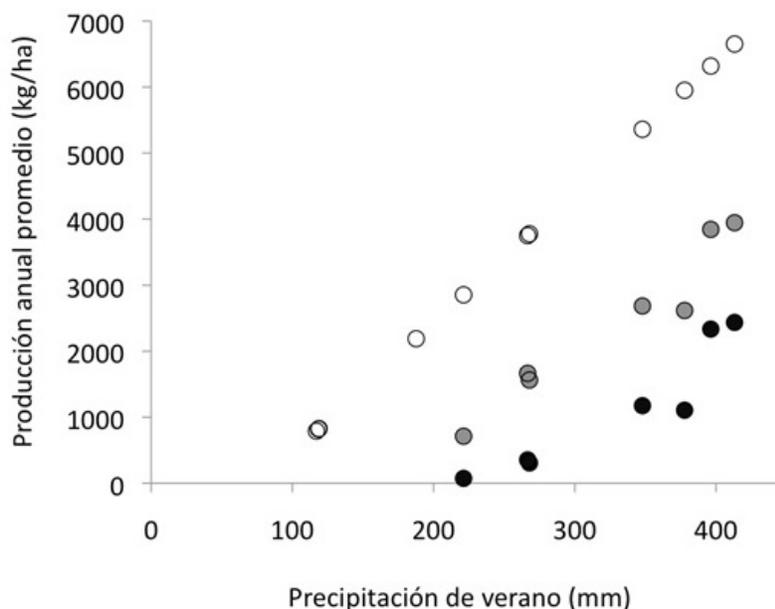


Figura 3. Producción de las praderas de zacate buffel estimada por los tres modelos en relación a la precipitación promedio de verano. Los modelos se diferencian en el grado de variabilidad temporal que incorpora en sus variables. Círculos blancos: modelo 1, no considera variación temporal, productividad es función de la precipitación promedio de verano; círculos grises: modelo 2, considera variación interanual de la precipitación (precipitación de verano confiable al 80 %); y círculos negros: modelo 3, igual al modelo 2 más la variación productiva por la edad de establecimiento.

vuelva a existir precipitación suficiente, pues el deterioro incrementa los riesgos de erosión (Búrquez y Martínez-Yrizar 2006) y reduce la eficiencia en el uso de la precipitación por parte del pasto (Blanco *et al.* 2005). Por ejemplo, Pinedo *et al.* (2013) estimaron que después de un año de intensa sequía, como el 2011 en Chihuahua, el sobre-pastoreo acentuó el efecto de la misma y los pastizales naturales requerirán de 4 a 6 años para recuperar su productividad normal. Por otro lado, los bajos valores de densidad observados sugieren que el segundo factor de variación temporal productiva considerado en el análisis, el tiempo de establecimiento de las praderas, ha tenido un efecto significativo en la capacidad productiva de las mismas. Mientras que Guillén-Trujillo *et al.* (2007) encontraron baja densidad en cinco praderas que en el presente estudio mostraron valores incluso inferiores de densidad. Sin embargo, las diferencias se pueden deber al efecto de los diferentes muestreos en ambos estudios.

Este declive productivo se ha observado frecuentemente en praderas establecidas después del desmonte y se ha explicado en parte como resultado de la disminución progresiva del N disponible en el suelo después del desmonte (Dalal *et al.* 2013, Morales-Romero *et al.* 2015, Celaya-Michel *et al.* 2015). Algunos autores sugieren que el declive productivo es la tendencia esperada hacia un nuevo estado de equilibrio en la dinámica de nutrientes de la pradera tras el desmonte de vegetación leñosa, y los altos valores productivos en los primeros años estarían relacionados con el incremento temporal en la disponibilidad de nitrógeno (Dubeux *et al.* 2007, Radford *et al.* 2007). También se ha señalado que una alta intensidad de pastoreo combinado con ausencia de fertilización externa puede producir una extracción de nutrientes del sistema, especialmente de nitrógeno, a través de la biomasa animal (Haynes y Williams 1993). El sobre-pastoreo puede producir también reducción de la cobertura vegetal que al

disminuir la tasa de infiltración provoca un aumento del riesgo de pérdida de suelo, y por tanto de nutrientes, por erosión (Loveland y Webb 2003). La siembra de leguminosas que fijan N₂ se ha propuesto como una opción para paliar este declive productivo asociado a la disminución de N disponible (Dalal et al. 2013), idealmente debe combinarse el manejo de la densidad de animales en el tiempo con el objeto de regular la extracción de nitrógeno del sistema (Silcock y Johnston 1993).

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren reducción en la estimación de la producción promedio proyectada en praderas de zacate buffel, si se incluyen los factores de variabilidad temporal respecto al valor obtenido

solo como función del promedio de la precipitación. La producción a futuro de las praderas de zacate buffel, actuales o por establecerse en las regiones áridas, debería considerarse con base no sólo en el valor promedio de la precipitación, sino también en la variabilidad interanual de la precipitación y el efecto de la edad de establecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Charlotte González-Abraham por los comentarios a una primera versión del manuscrito. Los comentarios y sugerencias de dos revisores anónimos significaron una mejora determinante del presente trabajo. Este estudio fue realizado con el apoyo del proyecto SEP-CONACYT CB-2007-80431-R.

LITERATURA CITADA

- Blanco LJ, Ferrando CA, Oriente EL, Biurrún FN, Berone G, Recalde D, et al (2005) Relación entre la producción forrajera y las precipitaciones en comunidades vegetales autóctonas de Los Llanos de La Rioja. *Revista Argentina de Producción Animal* 25: 200-201.
- Brenner JC (2011) Pasture conversion, private ranchers, and the invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) in Mexico's Sonoran Desert. *Annals of the Association of American Geographers* 101: 84-106.
- Búrquez A, Martínez-Yrizar, A (2006) Conservación, transformación del paisaje y biodiversidad en el noroeste de México. En: Toledo VM, Oyama K, Castillo A (eds.) Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México: perspectivas desde la investigación científica. UNAM / Siglo XXI Editores, México DF. pp: 85-110.
- Celaya-Michel H, García-Oliva F, Rodríguez JC, Castellanos-Villegas AE (2015) Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum filiare* (L.) Link). *Terra Latinoamericana* 33: 79-93.
- Cox JR, Martín-R MH, Ibarra-F FA, Fourie JH, Retoman NFG, Wilcox DG (1988) The influence of climate and soils on the distribution of four African Grasses. *Journal of Range Management* 41: 127-139.
- Dalal R, Thornton C, Cowie B (2013) Turnover of organic carbon and nitrogen in soil assessed from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ changes under pasture and cropping practices and estimates of greenhouse gas emissions. *Science of the Total Environment* 465: 26-35.
- Díaz SC, Touchan R, Swetnam TW (2001) A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Climatology* 21: 1007-1019.
- Dubeux JCB, Sollenberger LE, Mathews BW, Scholberg JM, Santos HQ (2007) Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Science* 47: 915-928.
- Fundación Produce Baja California Sur (2011) Agenda de innovación tecnológica para el Estado de Baja California Sur. http://www.cofupro.org.mx/cofupro/agendas/agenda_bcs.pdf. Fecha de consulta 10

de septiembre 2015.

- Golodets C, Sternberg M, Kigel J, Boeken B, Henkin Z, Seligman NG *et al.* (2013) From desert to Mediterranean rangelands: will increasing drought and inter-annual rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity? *Climatic Change* 119: 785-798.
- Golodets C, Sternberg M, Kigel J, Boeken B, Henkin Z, Seligman NG *et al.* (2015) Climate change scenarios of herbaceous production along an aridity gradient: vulnerability increases with aridity. *Oecologia* 177: 971-979.
- González-Abraham CE, Garcillán PP, Ezcurra E, Grupo de Trabajo de Ecorregiones (2010) Ecorregiones de la Península de Baja California: Una Síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87: 69-82.
- Guevara JC, Estévez OR, Torres ER (1996) Utilization of the rain-use efficiency factor for determining potential cattle production in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments* 33: 347-353.
- Guillén-Trujillo A, Espinoza-Villavicencio JL, Palacios-Espinosa A, González-Murillo R, de Luna de la Peña R (2007) Praderas de zacate buffel [*Cenchrus ciliaris* (L.) link] en Baja California Sur, México. IV Simposio Internacional de Pastizales, San Luis Potosí, pp: 230-236.
- Haynes RJ, Williams PH (1993) Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49: 119-199.
- Hsu JS, Powell J, Adler PB (2012) Sensitivity of mean annual primary production to precipitation. *Global Change Biology* 18: 2246-2255.
- Lauenroth WK, Sala OE (1992) Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* 2: 397-403.
- Le Houérou HN, Bingham RL, Skerbek W (1988) Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of Arid Environments* 15: 1-18.
- Le Houérou HN (2006) Agroforestry and sylvopastoralism: The role of trees and shrubs (Trubs) in range rehabilitation and development. *Sécheresse* 17: 343-348.
- Loveland P, Webb J (2003) Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research* 70: 1-18.
- Martin-R MH, Cox JR, Ibarra-F F (1995) Climatic effects on buffelgrass productivity in the Sonoran Desert. *Journal of Range Management* 48: 60-63.
- Morales-Romero D, Campo J, Godínez-Alvárez H, Molina-Freaner F (2015) Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes from conversion of thornscrub to buffelgrass pasture in northwestern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199: 231-237.
- Moreno-Unda AA (2011) Environmental effects of the National Tree Clearing Program, Mexico, 1972-1982. PhD Dissertation, Cologne University of Applied Sciences, Cologne. 119p.
- Pinedo AC, Hernández QNS, Melgoza CA, Rentería VM, Vélez SVC, Morales NC *et al.* (2013) Diagnóstico actual y sustentabilidad de los pastizales del estado de Chihuahua ante el cambio climático. *Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16)*. Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México. 126p.
- Radford BJ, Thornton CM, Cowie BA, Stephens ML (2007) The Brigalow Catchment Study: III. Productivity changes on brigalow land cleared for long-term cropping and for grazing. *Australian Journal of Soil Research* 45: 512-523.

- SEMARNAT (2011) El Ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México D.F. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/02__compendios/ambiente_numero_2011.pdf. Fecha de consulta 15 julio de 2015.
- SEMARNAT (2013) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México DF. 361p. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf Fecha de consulta 20 de junio de 2015.
- Silcock RG, Jhonston PW (1993) Tropical pasture establishment. 9. Establishing new pastures in difficult tropical environments - do we expect too much? *Tropical Grasslands* 27: 349-358.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006) Livestock's long shadow - Environmental issues and options. FAO Agriculture Technical paper, Rome. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e.pdf>. Fecha de consulta 11 de junio de 2015.
- Swemmer AM, Knapp AK, Snyman HA (2007) Intra-seasonal precipitation patterns and above-ground productivity in three perennial grasslands. *Journal of Ecology* 95: 780-788.
- Velásquez-Valle MA, Muñoz-Villalobos JA, Macías-Rodríguez H, Esquivel-Arriaga G, Rivera-González M (2014) Producción de forraje de variedades de zacate buffel (*Pennisetum filiare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.) en la región árida del Estado de Durango, México. *Agrofaz* 14: 69-76.
- Vetter S (2005) Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *Journal of Arid Environments* 62: 321-341.
- Von Wehrden H, Hanspach J, Kaczensky P, Fischer J, Wesche K (2012) Global assessment of the non-equilibrium concept in rangelands. *Ecological Applications* 22: 393-399.