

EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN LEGUMINOSA-VEGETACIÓN NATIVA EN MEJORAMIENTOS DE CAMPO

Daniel Formoso*

INTRODUCCIÓN

El campo natural constituye el 71% del territorio nacional (MGAP, 2000) siendo la base alimentaria de las dos principales especies de herbívoros domésticos (ovinos y bovinos). Ambas especies comparten distintos sitios de pastoreo, modificando la estructura de la vegetación (Altesor *et al.*, 2005; Olmos *et al.*, 2005), según la densidad y relación utilizadas (Ayala y Bermúdez, 2005; Berretta, 2005.; Boggiano *et al.*, 2005; Formoso, 2005). Estas modificaciones estructurales se manifiestan a través de cambios florísticos con diferente grado de intensidad según el tipo de suelo (Formoso y Gaggero, 1990; Berretta *et al.*, 1990; Formoso y Colucci, 2003; Rodríguez *et al.*, 2003).

Los cambios florísticos pueden ocurrir en un sentido positivo con el aumento de especies consideradas como buenas forrajeras, o negativos por la colonización de especies indeseables calificadas como malezas (Booth *et al.*, 2003). Es necesario puntualizar que esta diferencia se establece desde el punto de vista del interventor del sistema.

El control de las malezas, sobre todo las consideradas de *campo sucio* (Rosengurtt, 1979) como cardilla (*Eryngium horridum* Malme) ha sido un tema de preocupación para técnicos y productores, destacándose los trabajos de Mas *et al.* (1991) y Ayala y Carámbula (1995). Estos experimentos están diseñados para evaluar el efecto de diferentes variables sobre la especie en cuestión, pero no para determinar las causas de las variaciones temporales del número o densidad de plantas en un determinado ambiente.

El objetivo del presente trabajo es presentar un análisis de la dinámica de las poblaciones de una leguminosa (*Lotus subbiflorus* cv El Rincón) y la vegetación nativa en un mejoramiento de campo, como aporte para el protocolo de futuros trabajos relacionados con el control de malezas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los relevamientos de la cantidad de biomasa disponible (kg/ha de materia seca) de *Lotus subbiflorus* cv El Rincón (LR) y vegetación nativa (VN) se realizaron en el Campo Experimental del Secretariado Uruguayo de la Lana (33°52' latitud sur, 55°34' longitud oeste) entre 1998 y 2006 sobre una siembra al voleo de la leguminosa efectuada en 1992 con 5 kg/ha de semilla y fertilizada todos los años con 20-30 unidades/ha de P_2O_5 . Las muestras fueron obtenidas anualmente durante el período invernal (julio/agosto) aplicando la técnica BOTANAL (Mannetje L. t y Haydock, 1963; Haydock y Shaw, 1975) que permite estimar la contribución en peso seco de distintos componentes a la biomasa total (Formoso, 2000). Con estos datos se elaboró una serie cronológica de nueve años. Se considera al período invernal como un estimador apropiado del comportamiento productivo de la asociación leguminosa-vegetación nativa. El manejo ganadero aplicado a esta asociación comprende una limpieza de verano para promover la germinación de LR en otoño, cierre hasta fines de invierno para acumular forraje y pastoreo con alta carga bovina en primavera. El ingreso de los ovinos se realiza de manera intermitente y estratégica.

Los cambios en la biomasa poblacional de LR y VN se analizaron con el programa PAS [*Single-species Time Series Análisis P1a*, (Berryman y Millstein, 1994)] que permite obtener información de la estructura de la serie, analizar y remover las tendencias, calcular las autocorrelaciones, las tasas de autocorrelaciones parciales y ajustar los valores a modelos logísticos (Berryman *et al.*, sin fecha) de la forma:

donde:

$$R = A - C \times N_{(t-d)}^Q + V(0,s)$$

R significa la tasa de incremento *per cápita* en un intervalo de tiempo $[(t-1) \text{ @ } t]$ de un organismo promedio de la población cuya dinámica puede ser representada de la siguiente manera: $N_{(t-1)} \longrightarrow R_t \longrightarrow N_t$ (Berryman, 2001) siendo N la cantidad o densidad de organismos. La importancia del cálculo de la función R por métodos estadísticos reside en la introducción de parámetros con significado biológico que permiten analizar la estructura de las poblaciones (Berryman y Turchin, 2001; Münster-Swendsen y Berryman, 2005).

t: tiempo (generalmente medido en años).

Los demás parámetros del modelo tienen el siguiente significado:

A: máxima tasa de incremento *per capita* cuando la población se encuentra a muy bajas densidades.

Q: coeficiente de curvatura de la función. Si $Q > 1$, la función R adquiere una forma convexa, mientras que si $Q < 1$, la función adquiere una forma cóncava.

C: coeficiente de competencia intraespecífica.

d: tiempo de retraso en el proceso de retroalimentación negativa. Si $d=1$, la población se encontraría regulada directamente por procesos denso dependientes. Si $d > 1$, implica que la denso dependencia se encuentra regulada por interacciones con otras poblaciones u otros procesos (suministro de nutrientes, interacciones predador/presa,

herbívoro/planta), obteniéndose una función R de la siguiente forma:

$$R = A - C_1 \times N(t - d_1) - C_2 \times N(t - d_2) + V(0,s)$$

$[(A/C)=K]$: denominado la capacidad de carga del sistema, o la cantidad total de recursos dentro del sistema dividido por los requerimientos mínimos de cada individuo que lo integran. La capacidad de carga puede ser modificada mediante el agregado de nutrientes, cambios en el espacio disponible para los individuos o reacomodo de otras poblaciones (Berryman, 2004).

$V(0,s)$: variable aleatoria con media cero y desviación estándar s. Esta variable corresponde a factores exógenos no involucrados en la retroalimentación denso dependiente.

R^2 : porcentaje de variación en el modelo explicado por los factores denso dependientes de retroalimentación negativa. A su vez, los factores denso independientes pueden estimarse mediante $(1 - R^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las series cronológicas LR y VN muestran dinámicas diferentes (Figura 1). LR presenta dos "picos" en el período 2000 y 2004, que coinciden con ausencia de precipitaciones durante las estaciones de verano y primavera-verano, respectivamente. Los valores de la serie VN tienen una relativa evolución ascendente en el tiempo, lo que supone una tendencia producida por factores exógenos que afectan la media poblacional.

Descriptores estadísticos poblacionales

Los descriptores estadísticos como el tiempo promedio de retorno (TPR) y la varianza (Berryman y Millstein, 1994) aportan información sobre el comportamiento poblacional (Lima *et al.*, 2006; Cuadro 1). En ambas series, las fluctuaciones de los valores entorno a la media son periódicas (varianza menor que la media), particularidad que corresponde a series estacionarias.

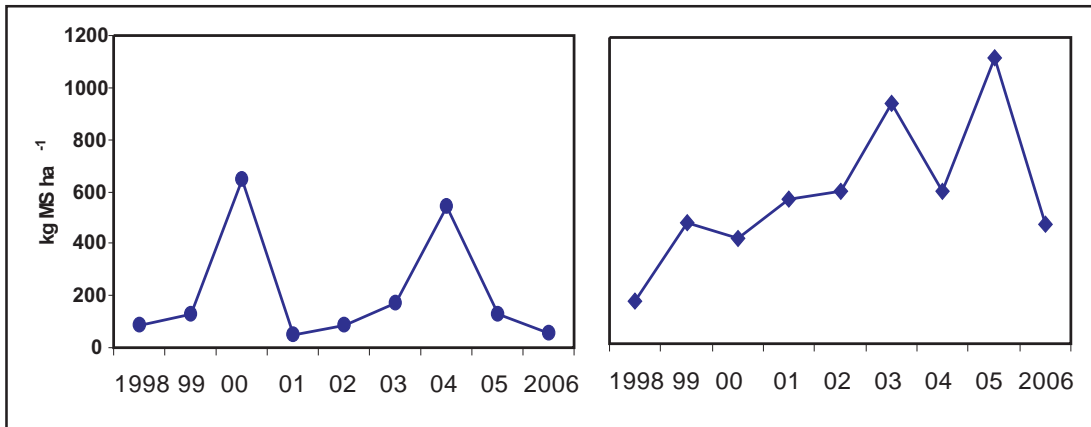


Figura 1. Disponibilidad invernal de los componentes LR (izquierda) y VN (derecha). Ambos componentes constituyen la disponibilidad total de la pastura (LR+VN) en el período de evaluación.

Cuadro 1. Media poblacional (kg/ha MS), tiempo promedio de retorno (TPR) y Varianza de la serie cronológica LR y VN.

Descriptor estadístico	Componentes de la pastura		
	LR	VN	VN*
MEDIA	210.111	593.000	563.798
TPR	1.1981	3.7897	0.86755
VARIANZA	0.4007	0.00048	0.86374
		R ² =0.389	R ² =0.000788

*: valores de la serie con eliminación de la tendencia.

En LR, el tiempo promedio de retorno (TPR>1) indica la influencia de factores que reaccionan con la densidad poblacional y afectan su reclutamiento, provocando cierto retraso en la tasa de cambio de la población. En VN, el coeficiente de determinación (R²) obtenido mediante la regresión lineal de los valores de la serie con el tiempo (t: 1...9) confirma la tendencia que afecta a la media poblacional.

Esta tendencia se elimina sumando el valor promedio de la serie (\bar{N}) la diferencia entre el valor original para el tiempo t (N_t) y el valor esperado estimado por la regresión de los valores de la serie con sus respectivos tiempos:

$$N'_t = N_t - (a + b \times t) + \bar{N}$$

De esta manera se estabilizan los valores entorno a la media poblacional, reduciéndose drásticamente el coeficiente de determinación.

Función de autocorrelación y tasa de la función de correlación parcial

La función de autocorrelación mide la correlación entre los valores de la serie distanciados un lapso (lag) de tiempo. En la serie LR, el número de lags entre "picos" indicaría un ciclo de oscilaciones de 3-4 períodos, mientras que para la serie VN, las oscilaciones se sitúan en 2 períodos. Estas diferencias reafirman el retraso en la respuesta a los factores que actúan sobre la dinámica de la población de LR, no siendo este el caso en VN (Figura 2).

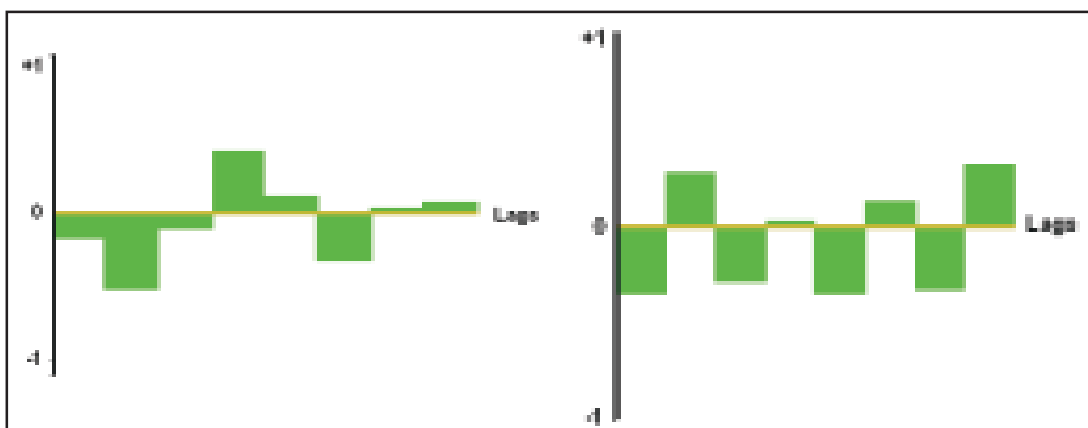


Figura 2. Autocorrelaciones de la serie cronológica LR (izquierda) y VN (derecha) luego de efectuar la remoción de la tendencia. Eje de las x: lags. Eje de las y: coeficientes de correlación [adaptado de la salida del programa PAS].

A su vez, la determinación del orden de las series se obtiene mediante el cálculo de la tasa del coeficiente de correlación parcial, sugerido por Berryman y Turchin, (2001) y calculado automáticamente por PAS (Figura 3).

En VN, la serie se presenta claramente como de primer orden al dominar un primer lag negativo. Esto indicaría que la población se encuentra estructurada por un proceso denso dependiente. En LR, la correlación de la densidad poblacional con el primer y segundo lag muestra el retraso menciona-

do en la acción del factor de retroalimentación negativa, por lo que la estructura poblacional incluiría procesos de retroalimentación de segundo orden.

Ajuste del modelo

Los parámetros de la función logística obtenidos con la rutina *P1a* del programa PAS, explicaron un 85.5% y 82.6% de las oscilaciones registradas en las series cronológicas de las poblaciones de LR y VN, respectivamente (Cuadro 2).

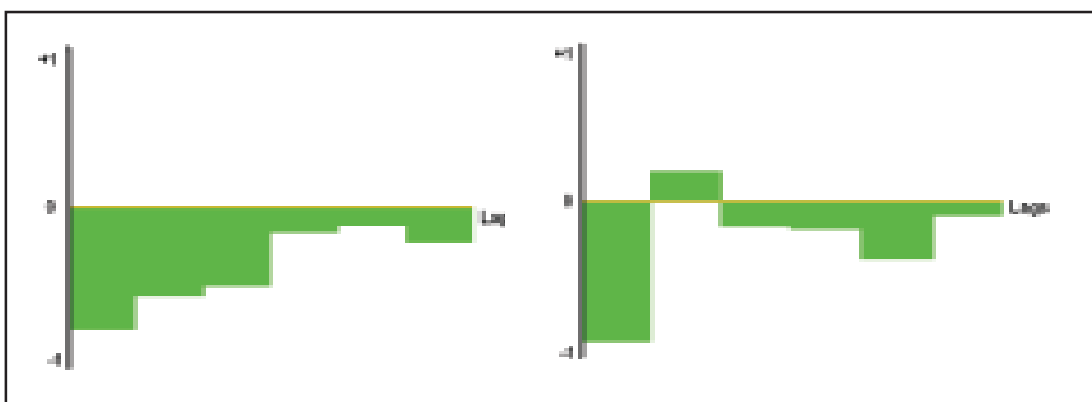


Figura 3. Tasa de la función de correlación parcial para las series cronológicas LR (izquierda) y VN (derecha). Eje de las x: lags. Eje de las y: coeficiente de correlación [adaptado de la salida del programa PAS].

Cuadro 2. Parámetros del modelo de primero (VN) y segundo (LR) orden.

Parámetros	Componentes de la pastura	
	LR	VN
A	2.104985	1.608436
C1	-0.006363	0.002759
C2	-0.002625	-
d	2	1
K	234.194	583.0408
R ²	0.855	0.826
s	0.72696	0.21202

A y K expresadas en kg/ha MS.

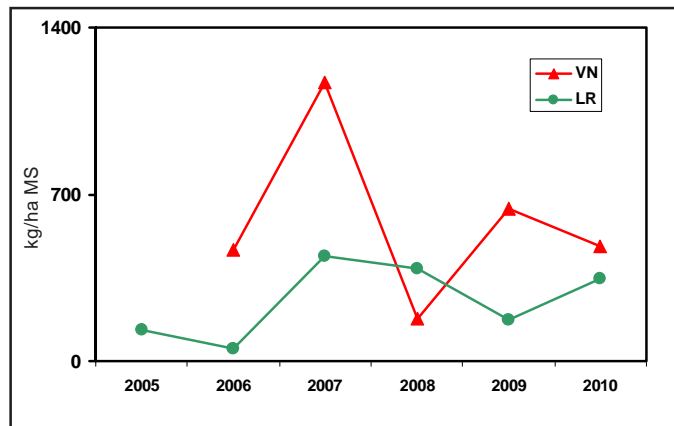
Los modelos permitieron proyectar la dinámica de ambas poblaciones hasta una fecha arbitraria, tomando como valores iniciales los datos de campo (Figura 4), esperándose un incremento de la biomasa disponible de VN y LR con el consiguiente descenso, relativamente más pronunciada en la primera al estar caracterizadas por un proceso denso dependiente.

Las series cronológicas o temporales tienen la particularidad de sus datos o sea, son muestras de tamaño unidad (kg, número, densidad) afectadas por diversas variables con distribución y características desconocidas, por lo que su análisis requiere una estadística apropiada. Por otra parte, la robustez de los modelos que se aplican al estudio de este tipo de información está en relación directa con la longitud de la serie

(p.Ej. >30 puntos). En el presente artículo, la cantidad de puntos sólo permite el uso de modelos simples, cuya utilidad es apropiada para tales circunstancias (Lima, 2001). A su vez, las poblaciones están caracterizadas por dinámicas de primer y segundo orden (Lima, 2001), algunas hasta de tercer orden, pero ninguna por un orden superior a tres, al menos en las estudiadas (Berryman, 2003). Por lo tanto, la discusión de los resultados debe realizarse teniendo en cuenta las consideraciones precedentes.

En la asociación analizada, LR germina y se desarrolla en un período donde el crecimiento de VN es mínimo (Formoso *et al.*, 2001). Esta situación favorecería a la leguminosa, cuya población estaría limitada únicamente por la competencia intraespecífica. Sin embargo, el retraso detectado en la es-

Figura 4. Proyección de los valores de las series según los modelos ajustados. Como valor inicial para VN, se utilizó el registro obtenido en 2006 (dinámica de primer orden), mientras que para LR los registros de 2005 y 2006 (dinámica de segundo orden).



estructura de la serie implicaría la incidencia de otro factor o población que está interactuando con LR. En un análisis preliminar, la densidad de VN y la tasa de cambio *per cápita* de LR ($r = -0.25$, $n=8$) para un mismo período se encuentran negativamente relacionadas. Sin embargo, al considerar arbitrariamente a VN como una población cuando en realidad es la suma de especies autótrofas exceptuando la leguminosa, impide un análisis específico de los diversos componentes y su relación con LR. Por consiguiente, se necesitaría plantear un modelo específico que contemple la interacción entre las poblaciones (Berryman, 2001).

Al ser LR una especie anual, el clima sería otro factor de importancia, sobre todo la cantidad y oportunidad de ocurrencia de precipitaciones. A título de ejemplo, los efectos del clima han sido claramente establecidos en el análisis de otro tipo de poblaciones (Uzal y Nores, 2004; Berryman y Lima, 2006). Por consiguiente, este factor debería incluirse en un análisis más pormenorizado de la asociación leguminosa-vegetación nativa.

La tendencia que afecta la media poblacional observada en VN sería la consecuencia del aporte en nutrientes de LR, principalmente nitrógeno. Si se acepta que VN está constituida por gramíneas principalmente, es razonable suponer un efecto positivo sobre el crecimiento de especies que haría variar su productividad o su equilibrio beneficiando a las de mejor capacidad para aprovechar el nutriente, generando diferentes procesos de competencia (Bullock, 1996).

CONCLUSIONES

1. El análisis de series cronológicas permite determinar los procesos que estructuran y afectan a la población a la cual pertenecen. En VN, la estructura de la población comprende un proceso de primer orden, mientras que en LR, la población se encuentra regulada por un proceso de segundo orden.
2. La identificación de estos procesos favorece la toma de decisiones, al actuar sobre los que realmente admiten intervención antrópica.
3. Las malezas también integran poblaciones y por ende son pasibles de estudios similares.
4. Sería conveniente reunir información seriada o iniciar experimentos donde se obtengan datos de las variaciones de esta categoría de especies y de su ambiente como un aporte más a la generación de propuestas de erradicación o control.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a W. Ayala, R. Bermúdez y D. Risso (INIA), así como a P. Boggiano y R. Zanoniani (FAGRO) por la lectura, comentarios y sugerencias realizados al presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTESOR, A.; PIÑEIRO, G.; LEZAMA, F.; RODRÍGUEZ, C.; LEONI, E.; BAEZA, S.; PARUELO, J.M.** 2005. El efecto del pastoreo sobre la estructura y el funcionamiento de las praderas naturales uruguayas: ¿qué sabemos y cómo podemos usar ese conocimiento para manejarlas mejor? Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. INIA, Serie Técnica 151:21-32.
- AYALA, W.; BERMÚDEZ, R.** 2005. Estrategias de Manejo en Campos Naturales sobre Suelos de Lomadas en la Región Este. Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. INIA, Serie Técnica 151.:41-50.
- AYALA, W.; CARÁMBULA, M.** 1995. Control de *Eryngium horridum* en una Pastura Natural. Actas del XII Congreso Latinoamericano de Malezas. ALAM.INIA. Montevideo. Uruguay: pp. 322-327.
- BERRETTA, E.J.** 2005. Producción y Manejo de la Defoliación en Campos Naturales de Basalto. INIA, Serie Técnica 151.:61-73.

- BERRETTA, E.J.; LEVRATTO, J.C.; SAMIT, W.S.; BEMHAJA, M.; PITTALUGA, O.; SILVA, J.A.; CLARIDGET, J.B.; GUERRA, J.C.** 1990. Efecto del Sistema de Pastoreo, relación Lanar/Vacuno y Carga Animal sobre la Producción y Utilización de Pasturas Naturales. I. Evolución de la Vegetación en Pastoreo Continuo y Rotativo a igual Dotación y Relación Lanar/Vacuno 2/1. In II Seminario Nacional de Campo Natural. Tacuarembó.(Ed. Hemisferio SUR.): pp. 291-298.
- BERRYMAN, A.** 2001. Functional Web Analysis: Detecting the Structure of Population Dynamics from Multi-species Time Series. *Basic and Applied Ecology* (2):311-321.
- BERRYMAN, A.** 2003. On principles, laws and theory in population ecology. *Oikos*. 103(3):695-701.
- BERRYMAN, A.** 2004. Limiting factors and Population Regulation. *Oikos* 105(3):667-670.
- BERRYMAN, A.; CHEN, X.J.F.** (sin fecha). Snake River Steelhead: A Fishery Threatened by Dinamic Instability?[en línea]: Analysis of Steelhead Trout ascending Snake River Dams. [Consulta: 14 de abril de 2007]. Disponible en <http://esa.palouse.net/Publications/Steelhead.htm>.
- BERRYMAN, A.; LIMA M.** 2006. Deciphering the Effects of Climate on Animal Populations: Diagnosis Analysis Provides New Interpretation of Soay Sheep Dynamics. *The American Naturalist*. 168.(8):784-795.
- BERRYMAN, A.; MILLSTEIN, J.J.** 1994. Population Analysis System. Version 4.0. Ecological System Analysis. Pullman. Washington.
- BERRYMAN, A.; TURCHIN, P.** 2001. Identifying the Density Dependent Structure Underlying Ecological Time Series. *Oikos*. 92(2):265-270.
- BOGGIANO, P.; ZANONIANI, R.; MILLOT, J.C.** 2005. Respuestas del Campo Natural a Manejos crecientes de Intervención. Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. INIA, Serie Técnica 151.:105-113.
- BOOTH, B.D.; MURPHY, S.D.; SWANTON, S.J.** 2003. Plant Invasions. *Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems*. CAB International:235-253.
- BULLOCK, J.M.** 1996. Plant Competition and Population Dynamics. In *The Ecology Management and Grazing Systems*. J.Hodgson and A.W.Illius (Eds.) CAB International.(l):69-100.
- FORMOSO, D.** 2000. La altura de la pastura como referencia para el manejo de mejoramientos de campo natural con *Lotus subbiflorus* (cv "El Rincón"). *Producción Ovina* 13:27-45.
- FORMOSO, D.** 2005. La Investigación en Utilización de Pasturas Naturales sobre Cristalino desarrollada por el Secretariado Uruguayo de la Lana. Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. INIA, Serie Técnica 151.:51-59.
- FORMOSO, D.; COLUCCI, P.E.** 2003. Vegetation Changes in Native Plant Communities in Basaltic Deep and Shallow Soils after 10 Years of Grazing Exclosure in Uruguay. In *International Rangelands Congress*. Durban. South Africa.
- FORMOSO, D.; GAGGERO, C.** 1990. Efecto del Sistema de Pastoreo y la relación Ovino/Vacuno sobre la Producción de Forraje y la Vegetación del Campo Nativo. In II Seminario Nacional de Campo Natural. Tacuarembó.(Ed. Hemisferio SUR.):pp. 299-310.
- FORMOSO, D.; OFICIALDEGUI, R.; NORBIS, H.** 2001. Producción y Valor Nutritivo del Campo Natural y Mejoramientos Extensivos. In Secretariado Uruguayo de la Lana (S.U.L.), editor. *Utilización y Manejo de Mejoramientos Extensivos con Ovinos*. pp. 7-24.
- HAYDOCK, K.P.; SHAW, H.H.** 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Husb.* 15:663-670.
- LIMA, M.** 2001. The Dynamics of Natural Populations: Feedback Structures in fluctuating Environments. *Revista Chilena de Historia Natural* 74(2).
- LIMA, M.; BERRYMAN, A.; STENSETH, N. Chr.** 2006. Feedback Structures of Northern Small Rodents Populations. *Oikos*. 111:555-564.
- MANNETJE, L. T.; HAYDOCK, K.P.** 1963. The dry weight rank method for the botanical analysis of pasture. *J.Br.Grassl.Soc.* 18:268-275.

- MAS, C.; BERMÚDEZ, R.; AYALA, W.** 1991. Efectos de los Distintos Momentos y Frecuencia de Corte en Control de Cardilla (*Eryngium horridum*) en Pastura y Producción Animal en Areas de Ganadería Extensiva. INIA, Serie Técnica N° 13:135-139.
- MGAP.** 2000. Censo General Agropecuario. *Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay:montevideo.mgap.gub.uy.*
- MÜNSTER-SWENDSEN, M.; BERRYMAN, A.** 2005. Detecting the Causes of Population Cycles by Analysis of R-funtions: the Spruce Needle-Miner, *Epinotia tedella*, and its Parasitoids in Danish Spruce Plantations. *Oikos*. 108(3):495-502.
- OLMOS, F.; FRANCO, J.; SOSA, M.** 2005. Impacto en las Prácticas de Manejo en la Productividad y Diversidad de Pasturas Naturales. Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. INIA, Serie Técnica 151.:93-104.
- RODRÍGUEZ, C.; LEONI, E.; LEZAMA, F.; ALTESOR, A.** 2003. Temporal Trends in Species Composition and Plant Traits in Natural Grasslands of Uruguay. *Journal of Vegetacion Science* 14:433-440.
- ROSENGURTT, B.** 1979. Tabla de Comportamiento de las Especies de Plantas de Campos Naturales del Uruguay. Montevideo. Universidad de la República. 86 p.
- UZAL, A., NORES, C.** 2004. Endogenous and Exogenous constraints in the Population Changes of Wild Boar (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758). *Galemys* 16 (n° especial). pp. 83-98.