

APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



Capítulo 12

Evaluación de la heterogeneidad estructural y funcional de los pastizales naturales para su manejo

José María Paruelo y Alice Altesor

1. Los pastizales naturales como base de la ganadería extensiva: desafíos desde la perspectiva agronómica, ambiental, social y económica

Los pastizales del Río de la Plata son una de las áreas más extensas de pastizales templados del planeta (Soriano *et al.*, 1992; Paruelo *et al.*, 2007; Oyarzabal *et al.*, 2019). Uruguay está totalmente incluido en este bioma y aproximadamente el 60% de su superficie está actualmente cubierto por pastizales (Baeza y Paruelo, 2020). El “campo natural”, como se lo nombra habitualmente, es la base de la ganadería y un activo ambiental clave para diferenciar la producción de carne uruguaya a partir de la preservación de la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos (SE). Si bien la historia y la cultura de la sociedad uruguaya tienen sus bases en el “campo natural”, su importancia es, paradójicamente, subvalorada y sus características son desconocidas para la mayor parte de la población, fundamentalmente la urbana. En forma tradicional, se han descrito las características de nuestra vegetación por la negativa: “el Uruguay es un país sin árboles” (invisibilizando, a su vez, el bosque nativo). La “civilización ganadera” es un aspecto identitario clave y la ganadería ha sido la actividad humana más duradera y de mayor extensión en el territorio de Uruguay (De Torres, 2015).

El área ocupada por pastizales naturales está dedicada en su totalidad a la producción ganadera extensiva. Este sistema productivo se basa,

fundamentalmente, en recursos forrajeros perennes y en el pastoreo mixto de ganado vacuno y ovino. En el sistema se reconoce la existencia de varios subsistemas, de acuerdo con la orientación productiva de cada predio (criadores, recriadores, ciclo incompleto, ciclo completo), y este se caracteriza por un uso mínimo de insumos (Modernel *et al.*, 2016). La mayoría de las explotaciones son sistemas pastoriles basados en campo natural, mejoramientos extensivos y pasturas mejoradas. El 80,6% del área explotada corresponde a pastizales naturales, seguido por 6,1% de praderas permanentes y 4,4% de intersembras sobre el tapiz natural (“mejoramientos”) (MGAP-DIEA, 2019). La producción ganadera da cuenta del 29% de las exportaciones de Uruguay (Uruguay XXI, 2021) e involucra aproximadamente 35.000 establecimientos, muchos de ellos familiares (Tommasino *et al.*, 2014). La productividad de esas explotaciones limita seriamente su sostenibilidad económica. Gutierrez *et al.* (2020) calcularon la productividad secundaria neta (PSN) de los herbívoros domésticos a partir de un exhaustivo estudio de los flujos de entradas (nacimiento, compras), salidas (ventas de animales y productos) y cambios en la existencia a partir de los datos de registro único de ganado en el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca adjudicado a una Razón Social que es tenedor de ganado, con o sin tenencia de la tierra (N° DICOSE). Todos los productos (carne, lana y leche) se expresaron en unidades comunes de energía ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Para las regiones de Uruguay en donde la mayoría de la producción ganadera se basa en pastizales naturales, la PSN fue de alrededor de $760 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, o, en equivalentes de carne, de $77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Esto se asocia a una eficiencia de conversión del pasto a carne del 1,17% (Gutierrez *et al.*, 2020). Un ejercicio prospectivo indica que la productividad de la carne puede aumentarse por lo menos en 25% en 15 años aplicando objetivos de producción alcanzables con las tecnologías ya existentes y validadas (Kanter *et al.*, 2016). De hecho, ese aumento representaría trabajar con los valores de eficiencia de conversión de forraje en carne en el decil superior de las secciones policiales de la región de Cuesta Basáltica y las Sierras del Este, según el estudio de Gutierrez *et al.* (2020).

Dada la resiliencia de los pastizales frente a fluctuaciones climáticas y a la baja disponibilidad de capital para su explotación, este recurso tiene un rol preponderante en los sistemas ganaderos familiares. Los pastizales naturales son un hábitat natural amenazado, tanto por la expansión de la agricultura y la forestación como por la degradación. En la parte meridional de América del Sur, la superficie de los cultivos de verano

(principalmente de soja) y de los “cultivos dobles” (trigo-soja dentro de la misma parcela) aumentó en 62% y 52%, respectivamente (Volante *et al.*, 2015). La mayoría de estos cambios se produjeron a expensas de los cultivos perennes (en especial, pasturas perennes) y de los hábitats naturales. En Uruguay, el cambio más frecuente en la cobertura fue el fenómeno de “agriculturización”, es decir, la sustitución de los pastizales por cultivos anuales. Esto incluye la expansión de las tierras de cultivo en los pastizales nativos, o el aumento de la fase de cultivo anual de las rotaciones de cultivos y pastos. Esta transformación se produjo en el 14,2% de los pastizales del Río de la Plata (Baeza y Paruelo, 2020). En Uruguay, específicamente, la superficie ocupada por pastizales nativos y pasturas perennes disminuyó del 84% al 66% entre 2000 y 2012 (Baeza *et al.*, 2014). Debido a la expansión de la agricultura y la forestación, la ganadería en el Uruguay experimentó un incremento de la densidad de ganado vacuno y ovino por unidad de área de pastizales (2,65% para el período 1990-2000) (Paruelo *et al.*, 2006).

Los pastizales naturales juegan un papel central en la preservación de la oferta de servicios ecosistémicos (Sala y Paruelo, 1997), incluyendo la conservación de la biodiversidad, el secuestro de C y la regulación hídrica, entre otros. La preservación de la oferta de SE reviste importancia *per se* dada su conexión con el bienestar humano (Paruelo y Lateral, 2019). El registro de la oferta de SE y de su cambio frente a distintas estrategias de manejo es clave para evaluar la dimensión ambiental de estrategias de intensificación (Paruelo y Sierra, 2022). La preservación de los hábitats naturales, ya sea en términos de superficie como de su grado de conservación, y de ciertos SE finales (reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, preservación de la biodiversidad, calidad del agua, etc.) ha sido asumida como compromiso político, o incluso de Estado. Más aún, se discute la posibilidad de diferenciar la carne y/o la lana uruguaya en el mercado interno y de exportación a partir de documentar el uso de hábitats naturales y/o el nivel de preservación de SE en los predios en donde se produjo.

2. La situación actual

La producción ganadera uruguaya tiene un gran potencial de avanzar hacia una transición agroecológica. De hecho, la naturaleza extensiva de bajo nivel de insumos de la ganadería determina que la caracterización de “agroecológica” esté asociada a documentar el proceso de producción

y sus consecuencias sobre la oferta de SE y a preservar y/o restaurar los hábitats naturales que constituyen la base forrajera. Para avanzar en esta dirección aparece como necesario, ante todo, caracterizar y mapear las áreas ocupadas por pastizales naturales. Estas áreas representan el hábitat con el menor nivel de intervención antrópica. En tal sentido, se debe contar con una descripción documentada de los distintos tipos de pastizales, basada en sus atributos intrínsecos y no en *proxies* como el tipo de suelos o su material geológico original. Estas aproximaciones representan un recurso válido en ausencia de verdaderas descripciones, pero su confiabilidad es limitada. De hecho, mapear pastizales naturales a partir de los suelos no permite discriminar áreas que fueron transformadas a agricultura o en donde el tapiz vegetal resultó alterado. Como en toda descripción científica, los atributos que definen una clase deben ser registrables y debe documentarse la capacidad de discriminar, es decir, indicar con qué nivel de confianza el registro de una dada característica permite identificar una clase.

Más allá de la importancia de mejorar el conocimiento del principal ecosistema de Uruguay, la descripción de las comunidades de pastizal tiene aplicaciones prácticas muy relevantes. Por un lado, permite extrapolar los resultados de la experiencia de manejo o de experimentos. Describir la comunidad en donde se probaron, por ejemplo, técnicas de suplementación de vacunos elimina una fuente de variabilidad en la generalización de los resultados. Estos no serán los mismos en pastizales ralos que en pastizales densos, o en poteros con distinta proporción de estas comunidades. La respuesta de las comunidades a distintas alternativas de manejo del pastizal (carga ganadera, relación lanar-vacuno, frecuencia de pastoreo y descansos) diferirá entre ellas. Diferenciar las comunidades brinda nuevos criterios para la realización de subdivisiones y, como consecuencia, para realizar manejos más precisos, donde situaciones diversas sean manejadas en forma distinta y de acuerdo con su potencial. Por otro lado, algunas comunidades podrán ser usadas mejor que otras de manera diferida en el invierno o en condiciones de déficit hídrico. La respuesta a sistemas de pastoreo también podrá diferir entre comunidades. La reacción a fenómenos adversos también puede ser variada. En el caso de sequías, existe claramente un gradiente en el impacto y en la recuperación entre comunidades. Por lo tanto, conocer la distribución de las comunidades vegetales en un predio permite prospectar la respuesta específica a manejos que combinen, por ejemplo, suplementación, tipo de pastoreo y manejo de adversidades climáticas. Los procesos

de deterioro asociados a un tipo particular de perturbación (por ejemplo, una combinación de altas cargas ganaderas y sequía) no ocurrirán de igual manera en las distintas comunidades. Los cambios vinculados al deterioro del pastizal y a la proporción del área en estado de mayor degradación son distintos para cada tipo de pastizal.

La descripción y la cartografía de las comunidades de pastizal tienen una importancia potencial en la diferenciación de la producción ganadera y, por lo tanto, en su resultado económico. La combinación de los sistemas de trazabilidad del ganado con la cartografía de las comunidades favorecería el desarrollo de sistemas de tipificación de la carne en cuanto a la preservación de hábitats naturales, servicios ecosistémicos y biodiversidad. Cada animal faenado puede vincularse a uno o más padrones, lo cual posibilita saber si esa carne se produjo sobre campo natural y en cuál de las comunidades. La caracterización de las comunidades abre la oportunidad de ofrecer un producto diferente, tanto en cuanto a cualidades nutraceuticas como a su huella ambiental.

3. Conocimiento y herramientas generados

El trabajo de investigadores de la UDELAR (Facultad de Ciencias y de Agronomía), del Instituto del Plan Agropecuario y del INIA, financiado mediante proyectos del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) (Altesor *et al.*, 2010, 2019b), permitió avanzar en una caracterización de los pastizales naturales que incluyó:

- La descripción de las comunidades y subcomunidades de los pastizales de Uruguay (Lezama *et al.*, 2019).
- La generación de protocolos de evaluación a campo del estado de cada comunidad (Altesor *et al.*, 2019b).
- La definición de estados y fases para cada comunidad (Altesor *et al.*, 2019).
- La generación de hipótesis de las transiciones mediante procesos de coinnovación (Altesor *et al.*, 2019b).

3.1. Descripción de las comunidades y subcomunidades de los pastizales naturales de Uruguay

Un nivel de heterogeneidad particularmente importante para la toma de decisiones en sistemas ganaderos es el de la comunidad vegetal (Véase

Caja 1 en Anexo). La comunidad se manifiesta, en general, a una escala similar a la cual se toman decisiones por parte de los productores: el potrero. Si bien la escala puede ser similar, un *stand* de una comunidad dada puede abarcar más de un potrero y/o un potrero incluir *stands* de varias comunidades.

Las especies presentes en un parche, o *stand* de campo natural, no ocurren al azar. Como señalábamos antes, una serie de factores asociados a la disponibilidad de recursos, las perturbaciones e interacciones entre especies vegetales determinan que algunas plantas coocuran con mayor frecuencia. En última instancia, se conforman “sociedades” de especies. La fitosociología estudia y provee los métodos para describir estas sociedades, o comunidades vegetales.

Este método parte de la realización de censos de vegetación en *stands* seleccionados de manera de cubrir la mayor parte de la variación fisionómica de los pastizales. El censo consiste en registrar, de manera exhaustiva, todas las especies presentes en el área de muestreo, un área de 25 a 100 m² ubicada en la parte central de un *stand* homogéneo. Adicionalmente, para cada una de las especies se define un valor de abundancia-cobertura. Muchas veces, a la información florística se le agrega información adicional como la macro y microtopografía, la fisonomía (estratificación y altura) y su georreferenciación. A través de este procedimiento se realizaron, en el marco de proyectos financiados por el MGAP y el FPTA, un total de 308 censos distribuidos en las zonas en donde dominan los pastizales naturales (Lezama *et al.*, 2019).

Con toda esta información se construyeron matrices en donde las filas corresponden a los censos individuales y las columnas, a las especies registradas. Cada celda de la matriz incluyó los valores de cobertura. La matriz se analiza mediante técnicas de análisis multivariados de clasificación y ordenación. Esto permite, por un lado, agrupar los censos con base en el parecido en cuanto a especies presentes (“sociedades de especies”) y, por otro, identificar las especies indicadoras de cada “sociedad”. Estas especies indicadoras son aquellas que con muy alta frecuencia forman parte de la “sociedad”, no necesariamente son las más comunes ni las más abundantes.

Los análisis de los censos permitieron identificar cinco comunidades principales de pastizal en Uruguay. Dos de las comunidades están restringidas a la Cuesta Basáltica, presentando una de ellas una fisonomía de pastizal ralo (comunidad I) y la otra, de pastizal denso (comunidad III). Las restantes tres comunidades se distribuyen entre las regiones de Sierras del Este, Cuenca Sedimentaria del Noreste y Centro Sur, presen-

tando cada una una fisonomía distintiva: pastizal ralo (comunidad II), denso (comunidad IV) y denso alto (comunidad V) (Figura 1). La proporción relativa de tipos funcionales de plantas varía entre las comunidades. Cada una de esas comunidades se caracteriza a partir de un conjunto de especies indicadoras (Tabla 1). Estas especies pueden ser muy poco abundantes y, en ocasiones, difíciles de encontrar en el campo. Sin embargo, son muy “fieles” a la “sociedad” de plantas que constituye cada una de esas cinco comunidades. Reconocer las especies indicadoras permite identificar la comunidad a la cual pertenece un *stand* dado de campo natural. Las cinco comunidades descritas en muchos casos describen una heterogeneidad obvia: por ejemplo, la asociada a suelos superficiales y profundos en la región de la Cuesta Basáltica. Es por ello por lo que algunas de esas comunidades han sido divididas en subcomunidades. En total se identificaron 14 subcomunidades. En algunos casos, justamente en áreas de pastizales densos en la región Basáltica, la diferenciación de subcomunidades puede ser crítica en términos del manejo ganadero (Véase Caja 2 en Anexo).

FIGURA 1. PERFILES FISONÓMICOS DE LAS 5 COMUNIDADES DEFINIDAS POR LEZAMA ET AL. 2019

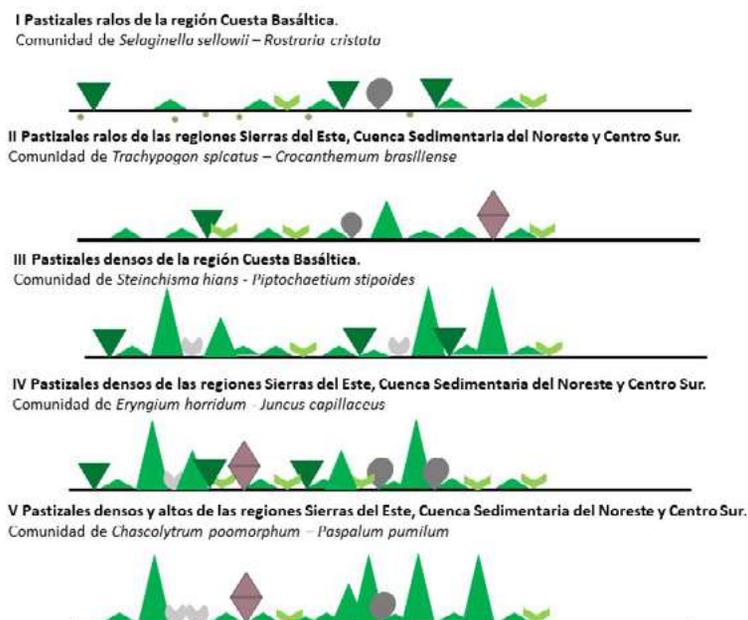


TABLA 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES PRINCIPALES A PARTIR DE LOS VALORES INDICADORES DE CONJUNTOS DE ESPECIES

COMUNIDAD	I	II	III	IV	V
# Censos	24	76	53	139	16
<i>Selaginella sellowii</i>	87				
<i>Rostraria cristata</i>	83		1		
<i>Chloris grandiflora</i>	79				
<i>Paronychia brasiliana</i>	66				
<i>Eragrostis Lugens</i>	65	1	14	1	
<i>Microchloa indica</i>	65	1			
<i>Tripogon spicatus</i>	58				
<i>Perezia multiflora</i>	55				
<i>Euphorbia serpens</i>	52		1		
<i>Wahlenbergia linarioides</i>	51	5	1	2	
<i>Trachypogon montufarii</i>		69			
<i>Crocantemum brasiliense</i>	3	56			
<i>Galactia marginalis</i>	1	51	3	6	
<i>Aira elegantissima</i>		50		1	
<i>Piptochaetium montevidense</i>	10	46	15	17	1
<i>Richardia humistrat</i>	1	46		15	21
<i>Danthonia cirrata</i>	2	46	1	2	
<i>Facelis retusa</i>	1	43		3	
<i>Axonopus argentinus</i>		35		6	2
<i>Eragrostis neesii</i>	29	31		8	
<i>Steinchisma hians</i>			82	1	7
<i>Piptochaetium stipoides</i>	5		75	8	
<i>Mnesithea selloana</i>		1	63	11	18
<i>Nassella neesiana</i>	5		57	9	
<i>Ruellia morongii</i>			55		
<i>Phalaris platensis</i>			52		
<i>Mecardonia procumbens</i>			50		
<i>Sporobolus indicus</i>			49	8	1
<i>Chascolytrum subaristatum</i>	24	1	47	4	
<i>Eryngium horridum</i>	5	8	1	44	1
<i>Juncus capillaceus</i>	1	8	3	38	5

(Continúa en página siguiente)

<i>Bothriochloa laguroides</i>	7	6	20	37	5
<i>Nassella charruana</i>			17	37	
<i>Gaudinia fragilis</i>		4		35	1
<i>Paspalum dilatatum</i>			30	32	18
<i>Baccharis trimera</i>		10	2	30	25
<i>Lolium multiflorum</i>			9	30	
<i>Chevreulia sarmentosa</i>	23	9	8	29	5
<i>Cynodon dactylon</i>		4		29	8
<i>Chascolytrum poomorphum</i>				1	77
<i>Paspalum pumilum</i>					76
<i>Dichantherium sabulorum</i>		1		13	64
<i>Axonopus affinis</i>		2	17	16	56
<i>Glandularia selloi</i>				14	48
<i>Gratiola peruviana</i>			2	2	47
<i>Eragrostis bahiensis</i>					47
<i>Chascolytrum lamarckianum</i>		2		6	44
<i>Centella asiática</i>					43

Nota: Se presentan solo las taxas con valores significativos ($p < 0.05$). En la fila superior de la tabla se indica el número de censos contenidos en cada comunidad.

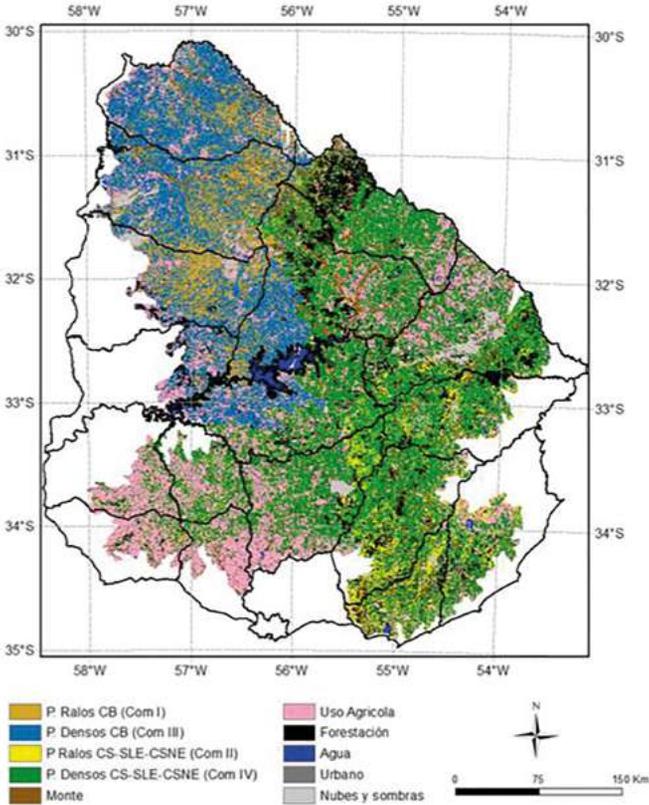
Fuente: Elaboración propia.

Las comunidades identificadas no solo difieren en su estructura, es decir en la proporción de tipos funcionales de plantas o en la composición florística, sino también en la productividad primaria neta anual, o sea, la cantidad total de materia seca (MS) producida en un año (kg MS/ha año). Mediante el uso de técnicas de teledetección es posible estimar esa productividad (Altesor *et al.*, 2019b). La estimación de la productividad primaria neta aérea, basada en sensores remotos, es la base de los sistemas de seguimiento forrajero actualmente operativos en la Cooperativa Nacional de Productores de Leche (CONAPROLE) y el Instituto del Plan Agropecuario. Mediante estas técnicas es posible describir tanto los valores medios de productividad de cada comunidad como su variación entre potreros, a lo largo del año entre estaciones, o entre años (véase ejemplos en Altesor *et al.*, 2019b).

Usando técnicas de clasificación de datos satelitales, Baeza y colaboradores (citados en Altesor *et al.*, 2019b) cartografiaron la distribución en el espacio de las comunidades de pastizales naturales y otros usos/

coberturas de las áreas ganaderas de Uruguay (Figura 2). El área total cartografiada cubre aproximadamente 13,3 millones de hectáreas, algo más del 75% del territorio nacional (MGAP, 2020).

FIGURA 2. MAPA DE TIPOS DE COBERTURA DEL SUELO Y COMUNIDADES VEGETALES DE PASTIZAL NATURAL DE LAS PRINCIPALES ÁREAS GANADERAS DE URUGUAY



Fuente: Altesor et al. (2019b).

En resumen, este trabajo generó dos herramientas clave a la hora de reconocer y manejar los distintos tipos de pastizales naturales del Uruguay: la tabla de especies indicadoras de las distintas comunidades y subcomunidades, y el mapa de distribución de esas comunidades.

3.2. Protocolos de evaluación a campo del estado de cada comunidad

La evaluación del grado de degradación, entendido como la diferencia entre un estado dado respecto de una situación definida como de referencia), es un paso crucial en la definición del manejo de un área de pastizal natural. Según el diagnóstico y los objetivos perseguidos, las acciones de manejo pueden ser muy distintas en cuanto a carga ganadera, método de pastoreo, momento de ocupación, necesidad de clausurar, acciones de restauración, etcétera.

El abandono del paradigma del equilibrio (Dyksterhuis, 1949) y la incorporación de las perturbaciones y de los eventos estocásticos como determinantes de la dinámica de la vegetación se materializaron, a finales de la década de 1980, en modelos conceptuales aplicables al manejo de los pastizales (Westoby *et al.*, 1989). Estos modelos incorporaron la idea de que las comunidades vegetales de una región pueden alcanzar múltiples equilibrios estables y plantearon los modelos de estados y transiciones (MET). Los MET representan la dinámica de la vegetación como un conjunto de “estados” discretos que ocurren en determinada porción del territorio y las “transiciones” entre dichos estados.

La construcción de los MET involucra la identificación y caracterización de estos diferentes “estados”, o “fases”, de la vegetación. Las “variables de estado” corresponden a los atributos de la vegetación utilizados para definir los “estados” (Westoby *et al.*, 1989; Knapp *et al.*, 2011). Los atributos de la vegetación pueden ser estructurales (por ejemplo, riqueza de especies, cobertura total y, por tipos funcionales de plantas, altura de la vegetación, composición florística, entre otros), o funcionales (productividad primaria neta aérea, evapotranspiración, etc.). En la literatura se han reportado distintas aproximaciones para la construcción de estos modelos, siendo el “método deductivo” el más frecuente. Según este, los estados se definen a partir de la experiencia y del conocimiento de expertos (Bestelmeyer *et al.*, 2003; Briske *et al.*, 2003). De manera alternativa, los estados pueden definirse a través de un proceso inductivo. En este caso, se parte de relevamientos a campo de un elevado número de situaciones y de su posterior análisis para definir agrupamientos de sitios sobre la base de su similitud. Estos agrupamientos representarán los “estados”, o las “fases”, dentro de un estado. Altesor *et al.* (2019a y 2019b) siguieron esta aproximación inductiva.

La selección de los atributos estructurales de la vegetación se apoyó en una serie de criterios que incluyeron la sencillez, la correlación con

cambios en la estructura y los procesos ecosistémicos promovidos por el pastoreo, la sensibilidad al cambio y la capacidad y el tiempo de respuesta, así como una baja relación costo-efectividad. La lista de indicadores se presenta en la Tabla 2. Las especies dominantes del estrato basal y de los estratos superiores de la vegetación fueron agrupadas en 14 tipos funcionales de plantas: gramíneas estivales erectas, gramíneas estivales postradas, gramíneas estivales formadoras de maciegas, gramíneas invernales, gramíneas invernales formadoras de maciegas, graminoides, hierbas perennes en roseta, otros (algas y musgos), leguminosas, arbustos, subarbustos, hierbas perennes erectas, hierbas anuales y *Selaginella sellowii*. La planilla presentada en la Tabla 2 constituye una herramienta clave para sistematizar la caracterización del estado de conservación de los hábitats naturales. Este protocolo permite, a partir del registro de varias parcelas dentro de un potrero, la caracterización rápida, objetiva y repetible del estado del pastizal.

TABLA 2. INDICADORES ESTRUCTURALES DE LA VEGETACIÓN UTILIZADOS EN EL RELEVAMIENTO A CAMPO

Nº	Indicador estructural	Abreviatura
1	Número de estratos de la vegetación	Nº estr
2	Altura del estrato 1, o basal	Alt E1
3	Altura del estrato 2	Alt E2
4	Altura del estrato 3	Alt E3
5	Cobertura del estrato basal (%)	Cob E1
6	Cobertura del estrato 2 (%)	Cob E2
7	Cobertura del estrato 3 (%)	Cob E3
8	Suelo desnudo	% SD
9	Cobertura de gramíneas en el estrato basal	% G
10	Cobertura de especies anuales	% An
11	Cobertura de especies invasoras (<i>Lolium multiflorum</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Eragrostis plana</i> , <i>Senecio madagascariensis</i> , <i>Ulex europaeus</i>)	% Inv
12	Número e identidad de las especies dominantes del estrato basal (especies cuyas coberturas sumadas superan el 50% de la cobertura total)	Nº dom1
13	Número e identidad de las especies dominantes del estrato 2	Nº dom2
14	Número e identidad de las especies decrecientes frente al pastoreo (especies de plantas de pastizal cuya frecuencia disminuye de manera significativa en régimen de pastoreo por ganado doméstico) <i>Bromus auleticus</i> , <i>Deyeuxia viridiflavescens</i> , <i>Paspalum plicatulum</i> , <i>Mnesithea selleana</i> , <i>Melica brasiliana</i> , <i>Poa lanigera</i> , <i>Nassella neesiana</i> (Cayssials, 2010)	Nº dec

3.3. Definición de estados y fases para cada comunidad

Un muestreo cuidadosamente planificado permitió caracterizar el estado de conservación de los pastizales de todo el Uruguay (Altesor *et al.*, 2019a y 2019b). A la cartografía de comunidades (Figura 2) se le superpuso una grilla de 10 x 10 km (cuadros) y se sortearon 20 cuadros en cada región. Dentro de cada uno de los cuadros se sortearon 5 celdas de 1 x 1 km. Dentro de cada una de las celdas fueron sorteadas dos áreas coincidentes con píxeles MODIS (*moderate resolution imaging spectroradiometer*, espectrorradiómetro de imágenes de media resolución) (250 x 250 m) que incluyeran al menos 90% de una misma comunidad de pastizal (píxeles “puros”). En tres áreas de 25 m² se relevaron una serie de indicadores (véase Tabla 2). A través de análisis multivariados se caracterizaron agrupaciones de parcelas, de acuerdo con su semejanza en términos estructurales, lo cual permitió identificar distintos “estados” y “fases” de la vegetación. La distinción entre fases y estados se realizó a partir de evaluar la magnitud de los cambios ocurridos en los indicadores estructurales. Las fases dentro de un estado estable presentan diferencias moderadas en los indicadores. Todas las comunidades de pastizal del territorio uruguayo presentaron una heterogeneidad interna asociada a los indicadores considerados. Se destacan los pastizales de la Cuesta Basáltica como los más conservados, de acuerdo con los valores de estos atributos.

La Tabla 3 muestra los valores promedio y la dispersión para los indicadores seleccionados para esta región geomorfológica. En Altesor *et al.* (2019a) se presenta el detalle para el resto del país. La aproximación inductiva minimizó los sesgos asociados a la experiencia personal y a las diferencias derivadas de protocolos de observación diversos al registrar los mismos atributos en sitios seleccionados aleatoriamente. La figura 3 muestra la proporción de las distintas fases y/o estados para las diferentes comunidades de pastizales del Uruguay. Esta figura ofrece un estado de situación del grado de conservación del principal hábitat natural del país. El uso de un protocolo común de observación permite la repetibilidad del análisis en el espacio y el tiempo.

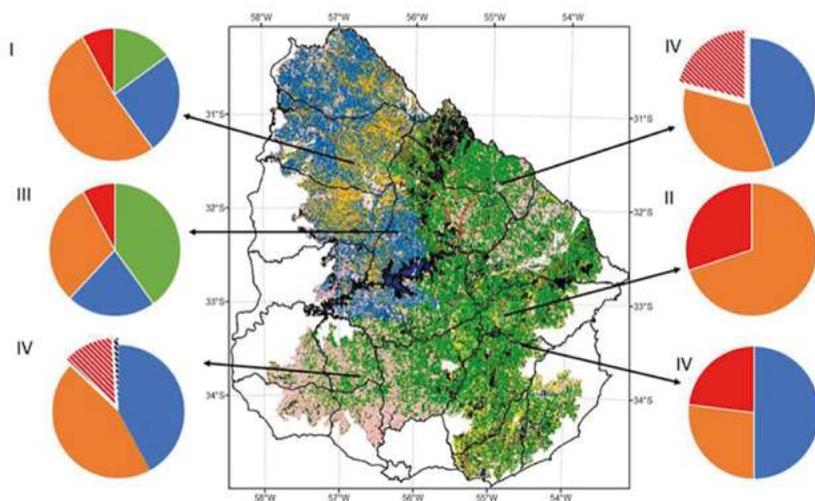
TABLA 3. VALORES PROMEDIO Y DESVÍO ESTÁNDAR (DE) DE LOS INDICADORES ESTRUCTURALES DE LA VEGETACIÓN CORRESPONDIENTE A LAS CUATRO FASES (A, B, C Y D) DE UN SOLO ESTADO EN LOS PASTIZALES DENSOS DE LA CUESTA BASÁLTICA

	FASE A		FASE B		FASE C		FASE D	
	Media/Moda	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Nº Estr	2,00		1,00		2,00		1,00	
Alt E1 (cm)	9,71	4,41	10,75	5,51	5,43	2,16	4,75	0,97
Alt E2 (cm)	38,75	19,76			33,00	27,15		
Cob E1	72,88	18,87	98,61	1,87	89,24	7,60	83,75	10,31
% SD	1,28	0,89	1,18	1,06	3,80	3,44	10,29	6,43
% G	90,60	6,94	95,91	4,11	76,11	8,25	66,67	14,14
% An	0,53	1,00	0,35	0,42	0,81	0,97	0,63	0,95
Nº dom1	3,90	0,92	3,64	1,22	5,49	1,16	4,25	1,00
Nº dom2	2,45	0,99	0,30	0,41	2,04	0,63	0,42	0,32
Nº dec	2,45	1,47	1,45	1,22	1,22	1,05	0,17	0,19

Nota: En la primera columna los indicadores son: Número de estratos de la vegetación (Nº Estr), Altura del estrato basal (Alt E1), Altura del estrato 2 (Alt E2), Cobertura del estrato basal (Cob E1), Porcentaje de suelo desnudo (% SD), Porcentaje de cobertura de gramíneas (% G), Porcentaje de cobertura de especies anuales (% An), Número de especies dominantes del estrato basal (Nº dom1), Número de especies dominantes del segundo estrato (Nº dom2) y Número de especies decrecientes frente al pastoreo (Nº dec).

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 3. MAPA DE LAS CUATRO COMUNIDADES DE PASTIZAL MÁS REPRESENTADAS EN URUGUAY: I PASTIZALES RALOS DE LA CUESTA BASÁLTICA; III PASTIZALES DENSOS DE LA CUESTA BASÁLTICA; II PASTIZALES RALOS DE SIERRAS DEL ESTE, CUENCA SEDIMENTARIA DEL NORESTE Y REGIÓN CENTRO-SUR; IV PASTIZALES DENSOS DE SIERRAS DEL ESTE, CUENCA SEDIMENTARIA DEL NORESTE Y REGIÓN CENTRO-SUR



Nota: Los diagramas circulares representan las proporciones de las fases y los estados presentes en cada comunidad. Los colores indican una valoración de la condición de la vegetación descrita en el texto: Fase A (verde), Fase B (azul), Fase C (naranja), Fase D (rojo), en rayado se presentan fases correspondientes a otros estados. Los colores representan un gradiente desde pastizales conservados a pastizales degradados.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Generación de hipótesis de las transiciones mediante procesos de coinnovación

Los modelos de estados y transiciones (MET) permiten organizar e interpretar la heterogeneidad derivada del manejo ganadero en los pastizales (Westoby *et al.*, 1989). También promueven la incorporación de una visión dinámica mediante el análisis de las respuestas del sistema y la mo-

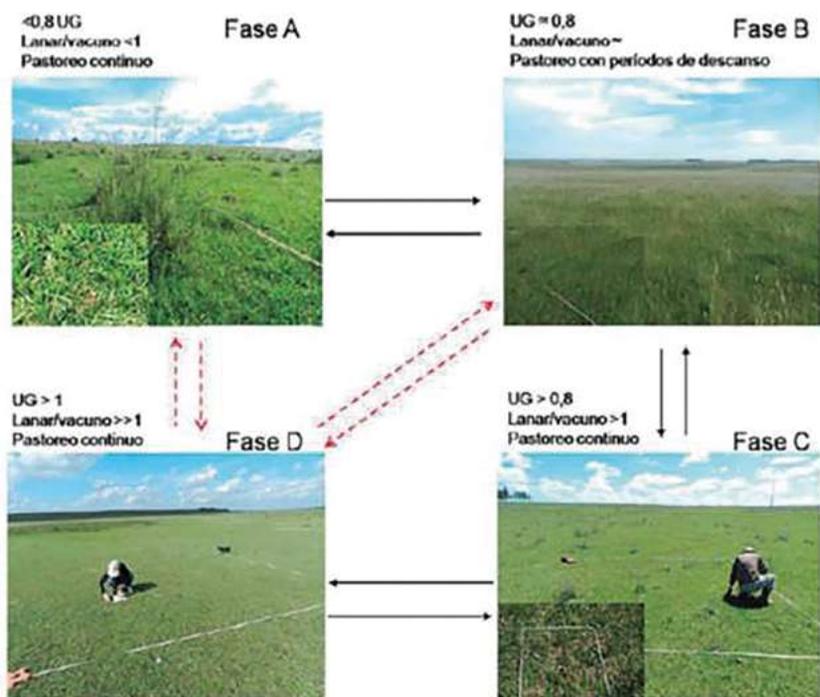
dificación de las acciones de manejo, en un proceso interactivo e iterativo a partir del cual se obtendrá mayor conocimiento acerca del comportamiento del sistema (“comprendo mientras hago”). Como se mostraba en el apartado anterior, la heterogeneidad de la vegetación derivada del manejo ganadero puede ser organizada e interpretada en términos de estados o de fases dentro de un mismo estado, que representan distintas etapas de la dinámica de una comunidad. Las transiciones entre dichas etapas pueden ser continuas y reversibles, manteniendo al sistema dentro del mismo dominio de atracción; en este caso, se reconocen distintas fases dentro de un mismo estado (Stringham *et al.*, 2003). Cuando un estado estable es reemplazado por otro, se traspasa un umbral y la transición puede ser discontinua y, eventualmente, no reversible. El potencial para la reversibilidad a través de un umbral depende de la extensión y de la duración de la modificación del ecosistema (Briske *et al.*, 2005).

Existen distintas aproximaciones metodológicas para caracterizar las transiciones. Una alternativa es el análisis prospectivo, o manejo adaptativo (Berkes *et al.*, 2000; Rumpff *et al.*, 2011; Knapp *et al.*, 2011), que radica en el análisis de las respuestas del sistema al manejo y la modificación de las acciones en un proceso iterativo a partir del cual se obtendrá mayor conocimiento acerca del comportamiento del sistema (Knapp *et al.*, 2011). El sistema de manejo se constituye así en un experimento, en el cual se evalúan las predicciones de las hipótesis acerca de los factores que determinan las transiciones. Para establecer las transiciones entre fases/estados, en el caso de los pastizales uruguayos, se partió de la caracterización de la heterogeneidad de la vegetación derivada del manejo ganadero presentada en el apartado anterior. Se realizaron talleres con los actores involucrados, productores ganaderos y técnicos, en los cuales se valoraron en forma participativa las fases/los estados descriptos y se generaron hipótesis acerca de las medidas de manejo que podrían promover las transiciones entre ellos (Altesor *et al.*, 2019a).

A cada grupo se le proporcionó un protocolo con preguntas guía (véase Caja 3 en Anexo) y fotos representativas de las fases/los estados de cada comunidad. Finalmente, se realizó una puesta en común en sesión plenaria durante la cual cada grupo expuso y fundamentó las hipótesis acerca de las medidas de manejo ganadero para promover las transiciones entre fases/estados. En los talleres, los productores y técnicos reconocieron las fases identificadas a partir del relevamiento a campo. En el caso de los pastizales densos de la Cuesta Basáltica, coincidieron en proponer la fase B como la más deseada. En cuanto a las hipótesis acerca de las medidas de manejo ganadero que conducirían a cada una de

las fases, se propuso que los factores responsables de las transiciones se asociarían, fundamentalmente con la dotación ganadera, la relación lanar/vacuno y el manejo de los descansos. En la Figura 4 se muestra el modelo de estados y transiciones (MET) de la comunidad de pastizales densos de la Cuesta Basáltica, con fotos representativas de las cuatro fases descritas. Las flechas negras indican las transiciones más sencillas a partir de cambios en medidas de manejo ganadero. Esquemas similares se desarrollaron para el resto de las comunidades (Altesor *et al.*, 2019a).

FIGURA 4. MODELO DE ESTADOS Y TRANSICIONES (MET) DE LA COMUNIDAD DE PASTIZALES DENSOS DE LA CUESTA BASÁLTICA CON FOTOS REPRESENTATIVAS DE CUATRO FASES



Nota: Las flechas negras indican las transiciones más sencillas a partir de cambios en manejo ganadero. Con línea punteada se indican transiciones con mayor nivel de incertidumbre. Se indica además la dotación en unidades ganaderas (UG), la relación lanar/vacuno (L/V) y el método de pastoreo (continuo o con descansos). Las transiciones y medidas de manejo constituyen hipótesis surgidas en talleres con productores y técnicos.
Fuente: Elaboración propia.

Disponer de una descripción objetiva de la heterogeneidad de los pastizales (por un lado, las comunidades fitosociológicas y, por otro, los estados y fases asociados al uso) permitió consensuar con los actores una valoración de dichos estados. Esta valoración, subjetiva como todas ellas, pudo ser justificada sobre la base de una cantidad de atributos explícitos. La preferencia expresada por los productores y técnicos por las fases A y B de los modelos para la Cuesta Basáltica tuvo como argumento central el nivel de oferta de servicios ecosistémicos de provisión. Ellos valoran fundamentalmente la cantidad y la calidad en la producción de forraje, la baja demanda de insumos y la estabilidad frente a eventos climáticos extremos y contingencias del manejo.

Estas instancias participativas no solo permiten avanzar hacia un modelo dinámico que se constituya en un instrumento para el manejo adaptativo en los pastizales, sino que también contribuyen a identificar los estados o fases que los distintos actores perciben como aquellos a promover y alertar frente a situaciones de degradación del pastizal. Esta experiencia de trabajo participativo demostró la utilidad de los modelos de estados y transiciones como una herramienta para la toma de decisiones por parte de productores y de técnicos, y también para mejorar la comunicación y contribuir a desarrollar la percepción de quienes manejan los pastizales acerca de la heterogeneidad de la vegetación.

4. Impacto sobre transiciones agroecológicas

Los conocimientos, las herramientas diseñadas pueden contribuir, en caso de usarse efectivamente, a una transición ecológica de los sistemas ganaderos extensivos. Cada uno de los productos generados impactará de manera diferencial en los distintos aspectos que definen una transición ecológica (véase la Introducción). Conocer la heterogeneidad de los recursos forrajeros nativos es un prerrequisito para su manejo y, por lo tanto, para *mantener o restaurar áreas naturales o seminaturales*, para *proteger y usar eficientemente los recursos naturales* y para *promover la diversidad de hábitats*. La posibilidad de *integrar prácticas a nivel del paisaje* requiere de una caracterización de las unidades que conforman ese paisaje y en particular de su distribución espacial. La cartografía de las comunidades es, en tal sentido, un aspecto básico para operar a nivel de paisaje. Disponer de una descripción documentada de las comunidades de pastizal que permita su identificación a campo a partir de especies indicadoras facilita *la participación y el entrenamiento de los*

productores en cuanto a la caracterización de los hábitats naturales y su potencial de uso. El reconocimiento de comunidades y subcomunidades juega un papel central a la hora de extrapolar experiencia e intervenciones y *potencia el intercambio de saberes*.

Referencias

Altesor, A., Ayala, W. y Paruelo, J. M.

(2010), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*, Serie FPTA 26, INIA, Montevideo, pp. 55-68.

Altesor, A., Gallego, F., Ferrón, M., Pezzani, F., López-Mársico, L., Lezama, F., Baeza, S., Pereira, M., Costa, B. y Paruelo, J. M.

(2019a), "An inductive approach to build State-and-Transition Models for Uruguayan grasslands", en *Rangeland Ecology and Management*, 72, pp. 1005-1016. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.06.004>>.

Altesor, A., López Másico, L. y Paruelo, J. M.

(2019b), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II*, Serie FPTA 69, INIA, Montevideo, pp. 27-50.

Baeza, S., Baldassini, P., Bagnato, C., Pinto, P. y Paruelo, J. M.

(2014), "Caracterización del uso/cobertura del suelo en Uruguay a partir de series temporales de imágenes MODIS", en *Agrociencia*, 18, pp. 95-105.

Baeza, S. y Paruelo, J. M.

(2020), "Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series", en *Remote Sens.*, 12, p. 381. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/rs12030381>>.

Berkes, F., Colding, J. y Folke, C.

(2000), "Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management", en *Ecol. Appl.*, 10, pp. 1251-1262.

Bestelmeyer, B. T., Brown, J. R., Havstad, K. M., Alexander, R., Chávez, G. y Herrick, J. E.

(2003), "Development and use of state-and-transition models for rangelands", en *J. Range Manage.*, 56, pp. 114-126.

Briske, D. D., Fuhlendorf, S. D. y Smeins, F. E.

(2003), "Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms", en *J. Appl. Ecol.*, 40, pp. 601-614.

Briske, D. D., Fuhlendorf, S. D. y Smeins, F. E.

(2005), "State-and-Transition Models, Thresholds, and Rangeland Health: A Synthesis of Ecological Concepts and Perspectives", en *Rangeland Ecol. Manage.*, 58, pp. 1-10.

De Torres, M. F.

(2015), *Campos. Breve historia de una discusión tecnológica*, Ediciones Trilce, Montevideo, 114 pp.

Dyksterhuis, E. J.

(1949), "Condition and management of rangeland based on quantitative ecology", en *J. Range Manage.*, 2, pp. 104-115.

Gutiérrez, F., Gallego, F., Paruelo, J.M. y Rodríguez, C.

(2020), "Buffer and lag effects of precipitation variability across trophic levels in Uruguayan rangelands", en *Agricultural Systems*, 185, pp. 102956

Kanter, D. R., Schwoob, M. H., Baethgen, W. E., Bervejillo, J. E., Carriquiry, M., Dobermann, A., Ferraro, B., Lanfranco, B., Mondelli, M., Penengo, C., Saldias, R., Silva, M. E. y Soares de Lima, J. M.

(2016), "Translating the sustainable development goals into action: a participatory backcasting approach for developing national agricultural transformation pathways", en *Glob. Food Secur.*, 10, pp. 71-79. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.08.002>>.

Knapp, C. N., Fernández-Gimenez, M., Kachergis, E. y Rudeen, A.

(2011), "Using participatory workshops to integrate State-and-Transition Models created with local knowledge and ecological data", en *Rangeland Ecol. Manage.*, 64, pp. 158-170.

Lezama, F., Altesor, A., Pereira, M. y Paruelo, J. M.

(2019), "Grasslands of Uruguay: classification based on vegetation plots", en *Phytocoenology*. DOI: 10.1127/phyto/2019/0215.

MGAP

(2020), "Nueva cartografía de pastizales del Uruguay". Disponible en: <<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/nueva-cartografia-pastizales-del-uruguay>>

MGAP/DIEA

(2019), *Anuario Estadístico Agropecuario*. Disponible en: <<https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2019/Anuario2019.pdf>>.

Modernel, P., Rossing, W. A., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V. y Tiftonell, P.

(2016), "Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America", en *Environ. Res. Lett.*, 11, 113002 (*online*).

Oyarzabal, M., Andrade, B., Pillar, V. D. y Paruelo, J. M.

(2019), "Temperate Subhumid Grasslands of Southern South America", en Goldstein, M. I. y Della Sala, D. A. (eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes*, Elsevier, Montevideo, v. 3, pp. 577-593. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12132-3>>.

Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Piñeiro, G., Jobbágy, E. G., Verón, S. R., Baldi, G. y Baeza, S.

(2006), "Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis", en *Agrociencias*, X, pp. 47-61.

Paruelo, J. M., Jobbágy, E. G., Oesterheld, M., Golluscio, R. A. y Aguiar, M. R.

(2007), "The grasslands and steppes of Patagonia and the Rio de la Plata

plains”, en Veblen, T., Young, K. y Orme, A. (eds.), *The Physical Geography of South America*, The Oxford Regional Environments Series, Oxford University Press, Oxford, cap. 14, pp. 232-248.

Paruelo, J. M. y Littera, P. (eds.)

(2019), *El lugar de la naturaleza en la toma de decisiones*, Ediciones CICCUS, Buenos Aires, p. 567.

Paruelo, J. M. y Sierra, M.

(2022), “Sustainable Intensification and Ecosystem Services: how to actually connect them in agricultural systems of southern South America”, en *Journal of Environmental Studies and Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s13412-022-00791-9>

Rumpff, L., Duncan, D. H., Vesik, P. A., Keith, D. A. y Wintle, B. A.

(2011), “State-and-transition modelling for Adaptive Management of native woodlands”, en *Biol. Conserv.*, 144, pp. 1244-1235.

Sala, O. E. y Paruelo, J. M.

(1997), “Ecosystem services in grasslands”, en Daily, G. (ed.), *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington, pp. 237-252.

Soriano, A., León, R. J. C., Sala, O. E., Lavado, R. S., Deregibus, V. A., Cauhépe, M. A., Scaglia, O. A., Velázquez, C. A y Lemcoff, J. H.

(1992), “Río de la Plata grasslands”, en Coupland, R. (ed), *Natural grasslands: introduction and western hemisphere*, Elsevier, Ámsterdam-Londres-Nueva York-Tokyo, pp. 367-407.

Stringham, T. K., Krueger, W. C. y Shaver, P. L.

(2003), “State-and-transition modeling: an ecological process approach”, en *J. Range Manage.*, 56, pp. 106-113.

Tommasino, H., Cortelezzi, A., Mondelli, M., Bervejillo, J. E. y Carrazzone, M. E.

(2014), “Tipología de productores agropecuarios: caracterización a partir del Censo Agropecuario 2011”, en *Anuario OPYPA 2014*, Montevideo, pp. 491-508.

Uruguay XXI

(2021), *Informe: Exportaciones incluyendo Zonas Francas*. Disponible en: <<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/exportaciones-incluyendo-zonas-francas/>> [Consulta: 1 de febrero de 2021].

Volante, J., Mosciaro, J., Morales Poclava, M., Vale, L., Castrillo, S., Sawchik, J., Tiscornia, G., Fuente, M., Maldonado, I., Vega, A., Trujillo, R., Cortéz, L. y Paruelo, J. M.

(2015), “Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación”, en *RIA. Rev. Inv. Agrop.*, 41, pp. 179-191.

Westoby, M., Walker, B. y Noy-Meir, I.

(1989), “Opportunistic management for rangelands not at equilibrium”, en *J. Range Manage.*, 42, pp. 266-274.

Anexo

Caja 1. Acerca del término “comunidad” y *stand*

El término comunidad, en ecología, se emplea usualmente en un sentido operativo para denominar un conjunto de plantas coexistentes en un área, pero también reciben el nombre de comunidad vegetal los tipos abstractos que resultan de la clasificación de la vegetación. Según esta acepción, utilizada especialmente en fitosociología, las comunidades son combinaciones de especies que coinciden en su ocurrencia en ambientes semejantes. Los *stands* son parches de vegetación tratados como unidades con fines descriptivos y que reúnen el requisito de homogeneidad estructural y ambiental.

Caja 2. Ejemplo de subcomunidades de la comunidad III de pastizales densos del Basalto

En la región de la Cuesta Basáltica es posible diferenciar dos subcomunidades dentro de los pastizales densos. Una de ellas (IIIa) tiene como especies indicadoras a *Mecardonia procumbens* y *Eleocharis dunensis*, dos especies con una amplia distribución en ambientes húmedos. En esta unidad, las gramíneas estivales, las invernales y las graminoides son co-dominantes y se observan dos estratos de pastos: uno de 5-10 cm y otro de 30 cm de alto, aproximadamente. Esta subcomunidad ocupa áreas planas, ligeramente cóncavas, ubicadas en interfluvios y valles. La cobertura total del suelo es alta. La subcomunidad IIIb, de *Ruellia morongii* y *Steinchisma hians*, es fisonómica similar a la otra subcomunidad, pero está dominada claramente por gramíneas estivales. Se la encuentra en planos interfluviales y pendientes suaves. En esta subcomunidad, algunos de los *stands* pueden presentar bajos porcentajes de pedregosidad.

Caja 3. Preguntas guía para la discusión en los equipos de trabajo

1. ¿Reconocen ustedes los estados/fases identificados para la comunidad de pastizales densos/ralos de las regiones Sierras del Este/Cuesta Basáltica?
2. ¿Conocen ustedes otros “estados/fases” de la comunidad que no hayan sido identificados en este estudio? ¿Cómo los describirían?
3. ¿Cuál de las fases/los estados identificados sería deseable promover?
4. ¿Qué dotación ganadera (alta o baja) y relación lanar/vacuno (alta ≥ 1 o baja < 1) creen ustedes que darían lugar a los distintos estados/fases?