

II.2. DIMENSIÓN AMBIENTAL

Ing. Agr. (PhD) Oscar Blumetto¹, Ing. Agr. Andrés Castagna¹,
Lic. (MSc) Guadalupe Tiscornia², Ing. Agr. Patricia Basile³,
Ing. Agr. Daniel Formoso⁴

INTRODUCCIÓN

El foco del trabajo fue a escala predial, lo que hace posible trabajar en algunos indicadores con más precisión que en otros. A su vez, la escala temporal de tres años hace difícil la observación de cambios en ciertas variables.

Un orden de componentes ambientales analizados son los de alcance regional (ecosistema y/o paisaje del que forma parte el predio). En esta escala podemos considerar temas como calidad de agua y biodiversidad (especies, comunidades y ecosistemas), en los cuales la actividad del predio puede generar efectos en predios vecinos y viceversa.

Por último, existen aquellos que son de efecto local (en el propio predio) como la formación y conservación del suelo y algunos componentes de la biodiversidad, como comunidades herbáceas o mesofauna del suelo.

Considerando los alcances prediales y regionales, se seleccionó un set de indicadores para evaluar la situación inicial y eventuales cambios producidos por el proyecto en los establecimientos participantes. La elección de los indicadores consideró la duración acotada del proyecto (tres años), la metodología de estudio de caso y las posibilidades técnicas dadas por las capacidades del equipo de investigadores involucrados y el equipamiento disponible.

II.2.1. Estrategia de monitoreo

El monitoreo ambiental, dentro del enfoque sistémico de análisis de este proyecto, pretende mantener una visión ecosistémica. Este enfoque contribuye a comprender los factores bióticos y abióticos como componentes interactuando en un solo sistema integrado y entender los procesos que suce-

den a distintas escalas (Ågren y Bosatta, 1998). Este camino promete generar aportes y toma especial importancia en un contexto de crisis por deterioro de los sistemas naturales y servicios ecosistémicos, incluyendo el cambio climático global (Bennett *et al.*, 2003).

La diversidad de organismos existentes y la complejidad de procesos presentes en el funcionamiento de los ecosistemas hace difícil relevarlos y monitorearlos exhaustivamente. Sin embargo, sigue siendo necesario generar bases de datos sistemáticas para entender su funcionamiento y manejarlos promoviendo su sustentabilidad. Una estrategia para salvar esta limitante es focalizar el monitoreo en variables indicadoras (Kremen, 1992). Estos indicadores deben cumplir una serie de criterios científicos y prácticos: deben ser sensibles a cambios, deben ser cuantitativos, representativos de la salud del ecosistema en general, estar vinculados a las causas o procesos detrás de las tendencias, ser medibles de forma eficiente y fácilmente entendibles (Gregory *et al.*, 2005; Niemeijer y de Groot, 2008).

Para poder cumplir con estos criterios, en este proyecto se planteó la construcción de varios índices compuestos, uno por componente del ambiente de los agroecosistemas prediales: agua, suelo y dentro de biodiversidad, aves, arañas y pasturas, y otro para reflejar en forma amplia la integridad ecosistémica del predio en cuanto a formaciones vegetales, uso del suelo y modificación de los sistemas naturales y servicios ecosistémicos.

La utilización de índices compuestos, que integran información sobre cambios en las especies (ej. cambios en la abundancia) y cambios en el ecosistema, son importan-

¹Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental.

²Unidad de Agroclima y Sistemas de Información.

³Pasante Programa Nacional de Pasturas y Forrajes.

⁴Asesor privado.

tes al comunicar información sobre las tendencias generales en un ecosistema. Estos índices compuestos deben mantener la suficiente simplicidad para que el significado de los cambios en el índice pueda ser entendido intuitivamente. Existen algunas propuestas de cómo construir estos índices. El "*Natural Capital Index*" desarrollado en Holanda (Brink *et al.*, 2002) es una sumatoria ponderada de los productos del área que ocupa un ecosistema por su condición. En este caso la condición del ecosistema se mide como el cociente entre los niveles poblacionales de un grupo de especies indicadoras y su línea de base. Otra propuesta es la del "*Biodiversity Intactness Index*" que es similar conceptualmente, con la diferencia de que los distintos ecosistemas son ponderados según su riqueza de especies y la población de especies es estimada para cada uso del suelo existente en cada ecosistema (Scholes y Biggs, 2005).

Carbono en el suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) está altamente correlacionada con la fertilidad, dada su influencia sobre las propiedades físicas y la capacidad de retener y suministrar nutrientes.

La MOS se clasifica según su asociación con el fraccionamiento físico por tamaño entre las partículas del suelo (fracción mineral). Esta clasificación tiene la ventaja de poder vincular más fácilmente la fracción de la MOS referida con diferentes propiedades físicas y químicas del suelo.

La clasificación de la MOS según el fraccionamiento físico puede ser por tamizado, densitometría o sedimentación. Considerando al fraccionamiento por tamizado propuesto por Cambardella y Elliot (1992):

- Materia Orgánica Particulada (MOP):
 - MOP₂₀₀ - asociada a fracción de suelo de tamaño mayor a 200 μm
 - MOP₅₀ - asociada a fracción de suelo de tamaño entre 50 y 200 μm
- Materia Orgánica asociada a la fracción mineral del suelo (MOAM)
 - MOAM- asociada a fracción de suelo de tamaño menor a 50 μm

Puede considerarse que cuanto mayor es el tamaño de la MOP mayor será su labilidad o facilidad de ser químicamente descompuesta por los microorganismos, por lo que esta fracción juega un papel importante en el ciclo de nutrientes del suelo y en el mantenimiento de energía para la actividad microbiana.

Cuanto menor es el tamaño de fraccionamiento, la asociación con las fracciones minerales del suelo es mayor, teniendo más incidencia en la estructura del suelo. En los últimos años se ha comenzado a utilizar esta clasificación de la MOS como indicador de cambios en corto plazo debido a diferencias de manejo del suelo. En términos generales, se puede asumir que los mayores cambios ocurren en la fracción de MOP y el contenido en suelo se ha vuelto un indicador más sensible que la medición de la MOS como único valor. Su valor como indicador, además de por las variaciones que presenta, radica en su vinculación con parámetros físicos vinculados con la estructura del suelo.

Calidad de agua

La calidad del agua se puede ver afectada por los distintos usos del suelo que se practican debido a la actividad económica que allí se desarrolla. Los programas de monitoreo de calidad de agua generalmente incluyen la determinación de una gran cantidad de variables físicas y químicas en diferentes sitios y, en función de los valores obtenidos, se realiza una estimación del estado del recurso hídrico (Chapman, 1992).

El análisis de los parámetros físicos y químicos por separado dan información valiosa, pero pueden tener restricciones para evaluar la situación de calidad de agua a nivel de cuencas (Debels *et al.*, 2005). Por esta razón, varios autores han trabajado sobre Índices de Calidad de Agua (ICA) con el objetivo de obtener valores numéricos de un estado de situación que combina varias medidas realizadas. Los índices son una expresión más simple de parámetros de distinta complejidad y expresan una medida de la calidad del agua; un número, un rango o una definición.

En el caso del proyecto se seleccionaron aquellos que poseen claras referencias de afección de la calidad de agua en cuanto a interferir con comunidades de organismos vivos. Estos son concentración de fósforo (P), concentración de nitrógeno (N), turbidez, sales totales disueltas y oxígeno disuelto (OD).

El fósforo es un elemento natural que puede estar en rocas y materia orgánica, pero también puede provenir del uso de fertilizantes y otros químicos, por lo que puede ser hallado en altas concentraciones en áreas con actividad humana.

Los contenidos de nitratos son importantes, ya que las fuentes de contaminación se asocian principalmente a actividades agrícolas y ganaderas (fertilización, estiércol), así como también a actividades agroindustriales (Vega, 2009).

La turbidez es una medida indirecta del arrastre de partículas hacia los cursos de agua por efecto de la erosión.

La concentración de oxígeno disuelto representa la cantidad de oxígeno disponible para el metabolismo/respiración de los organismos acuáticos (Kaurish y Younos, 2007). Por lo tanto, es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua de soportar vida acuática. Además, sus valores están directamente relacionados con el tamaño de las poblaciones y las comunidades de bacterias aeróbicas (Gyawali *et al.*, 2013).

La evaluación ambiental de aguas superficiales se realiza a través de mediciones con un analizador multiparamétrico, determinando conductividad, turbidez, pH, T°C, NH₄, NO₃, P y O₂. Las mediciones se realizan en cursos de agua de primer y segundo orden en dos puntos, a la entrada y la salida de potreros de referencia. A partir de esto, se construye un Índice de Calidad de Agua (ICA) para evaluar los cambios en la calidad de agua a través de los parámetros físico-químicos. El cálculo del índice se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (C_i P_i) / \sum_{i=1}^n P_i$$

donde n representa el número total de variables, C_i es el valor asignado a la variable i de la normalización y P_i es un valor que va en-

tre 1 y 4, donde se le asigna 4 a aquellas variables de mayor importancia para la vida acuática (ej. oxígeno disuelto).

Biodiversidad

La biodiversidad es responsable de gran cantidad de procesos ecosistémicos y los cambios en su composición pueden afectar drásticamente el funcionamiento del ecosistema y su capacidad de proveer servicios (Pereira y David Cooper, 2006). La evaluación de estas metas depende en gran medida de los indicadores de biodiversidad que resumen la evolución observada en los ecosistemas (Gregory *et al.*, 2005).

Biomasa y diversidad de plantas herbáceas

Las razones para elegir la comunidad de plantas herbáceas como grupo indicador son (i) las plantas son los principales productores primarios en ecosistemas terrestres y por lo tanto fundamentales para el funcionamiento ecosistémico, (ii) la diversidad de plantas es uno de los mejores predictores disponibles de la diversidad de otros taxones (Sala y Zaitsev, 2005), (iii) es un grupo del que se cuenta con avanzado conocimiento general, sobre todo de algunos subconjuntos (Lughadha *et al.*, 2005).

El crecimiento se determinó mediante la técnica del rebrote utilizando tres jaulas móviles de 1m² por potrero, instaladas con homogenización previa de la vegetación a 1 cm de altura. La cosecha del rebrote se realizó cada 45-55 días en dos cuadros de 0,5 x 0,2 m con tijeras de esquila y una altura de rastrojo de 1 cm.

Paralelamente, se realizaron estimaciones de eficiencia en el uso de la radiación (EUR) a través de medidas de absorción de radiación obtenidas por teledetección. El coeficiente EUR se estimó a partir de la radiación absoluta absorbida por la planta (APAR) y la productividad primaria neta aérea (PPNA) obtenida de los cortes de biomasa siguiendo la ecuación de Monteith (1972):

$$EUR = PPNA / (APAR \times 10)$$

La APAR se calculó como producto de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por las plantas (fPAR), obtenida a partir de imágenes sintéticas de índice de vegetación mejorado (MODIS, resolución espacial 250x250m, U.S Geological Survey), y la radiación fotosintéticamente activa (PAR), calculada a partir de la radiación relevada en las estaciones agroclimáticas de INIA. Se utilizó la siguiente ecuación: $APAR = fPAR \times PAR$

La composición florística se estimó mediante la cobertura/abundancia de las especies utilizando la escala de Braun-Blanquet modificada por Lezama *et al.* (2006). En el caso de las Ciperáceas no se llegó al nivel de especie por lo que las determinaciones se realizaron a nivel de familia. Los registros se realizaron en un cuadro de 1m² dentro de la jaula cada vez que se realizaron cortes para determinar crecimiento y en cinco cuadros de tamaño similar fuera de la jaula, en otoño y primavera, para considerar posibles cambios estacionales.

En todos los casos se tomó como foco de estudio dos potreros por productor. Esos potreros representaban una situación histórica de manejo controlado del pastoreo (habitualmente potreros de invernada) y la contraparte en potreros llamados de manejo tradicional, en los cuales hubo pastoreo continuo en altas cargas.

Aves

Se utilizó la comunidad de aves como indicadora de la biodiversidad presente en los predios dado que son un grupo de organismos: (i) fácil de detectar en censos ya que muchas especies son diurnas, relativamente conspicuas y/o vocalizan frecuentemente; (ii) es un grupo del que, relativamente, se cuenta con un buen conocimiento general (ej. taxonómico, biológico, poblacional biogeográfico); (iii) presenta diversidad de especies y su biología, incluyendo muchos migrantes que son sensibles a diversos cambios ambientales; (iv) presenta especies que se ubican en todo el rango de niveles tróficos y por lo tanto pueden ser sensibles o causantes de cambios a otros niveles de la red trófica;

(v) responden rápido a cambios en la estructura física del ambiente; (vi) generan conexión y significado para las personas y sus vidas (Gibbons y Gregory, 2006; Butler *et al.*, 2010).

Los indicadores construidos a partir de la estructura y/o dinámica de la comunidad de aves son muy utilizados en el mundo, en especial los índices compuestos de poblaciones de aves para evaluar la salud o sustentabilidad de agroecosistemas (Vickery *et al.*, 2004). Su aplicabilidad para monitorear la salud de los ecosistemas se demuestra por la inclusión de un indicador basado en la tendencia poblacional de aves entre los principales indicadores de desarrollo sustentable del gobierno del Reino Unido y entre los indicadores estructurales y de sustentabilidad de la Unión Europea.

Una de las limitantes de usar a las aves como indicadores de la biodiversidad es que son el grupo menos amenazado para su conservación dentro de los vertebrados, lo que podría sugerir que son menos sensibles a los cambios antropogénicos que otros grupos, dada su alta movilidad. Sin embargo, estudios recientes han demostrado el valor de las especies comunes como indicadores (Butler *et al.*, 2010) y para brindar servicios ecosistémicos, y por lo tanto, la importancia de conservar sus niveles poblacionales.

Arañas

Los artrópodos terrestres son indicadores biológicos convenientes debido a su sensibilidad y respuesta rápida a los cambios en su entorno. Además, pueden ser estudiados por medio de relevamientos simples y económicos (Gardner *et al.*, 2008). Las arañas son los más abundantes artrópodos depredadores generalistas en la mayoría de los ecosistemas terrestres y ocupan una posición clave en las cadenas tróficas al regular las poblaciones de herbívoros (Lawrence y Wise, 2000; Ferris *et al.*, 2000). Las arañas han sido utilizadas como indicadores de la diversidad de invertebrados (Gravesen, 2000) debido a su posición de predador en las redes tróficas y su relación con la estructura de la vegetación, puede estar relacionado con

los cambios producidos en los ambientes por las decisiones de manejo productivo, estando involucradas en importantes procesos biológicos en la mayoría de los hábitats. Además del hecho de que este grupo es poco conocido en las praderas uruguayas, este estudio trató de adquirir conocimientos y comparar la estructura y composición de la fauna de arañas de pastizales naturales en dos zonas cercanas bajo un manejo diferencial del ganado.

Batáry *et al.* (2012) encontraron que los patrones de diversidad de organismos se ven afectados tanto por la gestión local, el tipo del agroecosistema y la posición dentro del campo, como por la intensidad de manejo. En este estudio la riqueza de arañas cazadoras disminuyó con el porcentaje de cobertura de agricultura intensiva. En contrapartida, las áreas con disminución de la productividad, por lo general las que son de menor intensidad de manejo, son a menudo las que más contribuyen a la biodiversidad dentro del paisaje agrícola (Downie *et al.*, 1999).

Para campo natural en Uruguay, Laborda *et al.* (2013) encontraron que la abundancia y riqueza de especies obtenida alcanzó valores significativos si se comparan con otros estudios realizados en el país, tales como Pérez-Miles *et al.* (1999) y Costa *et al.* (1991). Por lo tanto, la diversidad de arañas en el pastizal natural muestra niveles relativamente altos en comparación con otros tipos de hábitat en el país. Entre los gremios que se encuentran, es notable destacar el predominio de las familias Araneidae y Lycosidae en la comunidad de arañas de pastizales.

II.2.2. Integridad Ecosistémica

Para el análisis de este componente se ha producido una herramienta específica que denominamos Índice de Integridad Ecosistémica -IIE- (Blumetto *et al.*, 2016). La apli-

cación del IIE es un análisis cuali-cuantitativo que implica la comparación del estado actual con un estado óptimo esperable para el ecosistema evaluado. Para ello se realizó una recorrida general del establecimiento evaluando el estado inicial y al final del proyecto. Este índice se construye por la suma de cinco calificaciones: estado de la formación vegetal, composición de especies del ecosistema, estructura física de la vegetación, conservación de suelos y estado de los cursos de agua. Se realiza para cada potrero y luego se pondera por el área que ocupan en el establecimiento.

Para realizar la evaluación se consideran los siguientes criterios:

- Como está el ecosistema respecto al mejor estado posible bajo el mismo uso.
- Puntos críticos, para cada productor, en restablecimiento de ecosistemas.
- Los índices de distintos establecimientos pueden ser comparados, aunque se encuentren en distintas bio-regiones.
- Los valores del IIE pueden compararse, a nivel del mismo establecimiento, en distintos momentos en el tiempo ya sea a nivel global o por potreros.

Se determinan los valores de cada potrero del predio y un valor general que se calcula prorrateando la contribución de cada área de potrero como se muestra en la siguiente ecuación:

$$EII = \sum_{i=1}^n \frac{(St_i + Sp_i + So_i + Rz_i)PA_i}{4 FA}$$

donde, St_i = valor de la puntuación de la estructura de la vegetación del potrero i , Sp_i = valor de la puntuación de la presencia de especies del potrero i , So_i = valor de la puntuación de suelo para el potrero i , Rz_i = valor de la puntuación de la zona riparia de cursos de agua del potrero i , PA_i = área del potrero i y FA = área total del establecimiento.

Cuadro 1. Resumen de indicadores ambientales.

Indicador	Justificación	Forma de registrarlo
Materia orgánica particulada en el suelo	Propiedad del suelo que refleja, entre otras, la capacidad de aportar nutrientes, regular la dinámica del agua en el perfil, contribuir a la estabilidad de los agregados del suelo y su resistencia a la erosión.	Muestra compuesta de suelo 0-3 cm y de 3-6 cm de profundidad, en tres muestras por potrero de referencia. Frecuencia: anual en otoño.
Carbono orgánico oxidable por permanganato	Fracción de materia orgánica más sensible a los cambios de manejo en plazos cortos.	Muestra compuesta de suelo 0-5 cm de profundidad, en tres muestras por potrero de referencia.
ICA: índice de calidad de agua	Es un índice que integra medidas físicas y químicas de aguas superficiales. Los valores son ponderados de acuerdo a la relevancia de cada variable en el mantenimiento de la sanidad de los ecosistemas acuáticos.	Muestreo estacional en cursos de arroyos o cañadas como fuentes naturales y tajamares como reservas construidas con medidor multiparamétrico.
Poblaciones de aves	Las aves ocupan todo el espectro de niveles heterótrofos en las redes tróficas, por lo que son un buen reflejo de la sanidad general del ecosistema.	Muestreo estacional por transectas lineales de 300 m con tres repeticiones en cada manejo dentro del predio (3 por predio). Se evalúa composición y abundancia relativa de especies.
Comunidad de arácnidos de pastizal	Las arañas son predatoras tope entre los artrópodos y son muy sensibles a la estructura del tapiz, por lo que permiten tener una medida indirecta de la evolución estructural del campo natural.	Muestreo estacional por segado en potreros de referencia. Se toman 10 muestras por potrero compuestas por 20 pasadas rasas sobre la pastura con red entomológica de 30 cm de diámetro.
Comunidades de herbáceas	Es la comunidad soporte de gran parte de la fauna silvestre y del ganado doméstico. Responsable de gran parte de los servicios ecosistémicos (productividad primaria, control de erosión, formación de suelo, retención de carbono, etc.).	Método Braun-Blanquet.
	Realiza una evaluación rápida sensible al manejo relacionada a características de resiliencia y estabilidad ecosistémica.	Aplicación del IIE al comienzo y final del proyecto

II.2.3. Resultados

Carbono orgánico del suelo

Como lo muestra el Cuadro 2, el carbono orgánico (CO) total se encuentra en niveles altos en todos los casos, y el análisis de las diferentes fracciones muestra que la mayor parte de ese carbono se encuentra ligado a la fracción mineral (MOAM). Sin embargo, en el caso del productor 2 aparecen dos particularidades, la primera es un valor más alto del CO total y la segunda es la proporción

relativamente alta de la fracción >212 µm (Figura 1). En este último caso se trata de la materia orgánica menos estable y resultante de la más reciente incorporación al suelo, lo cual podría atribuirse en este caso a una alta carga animal que sobrecarga el pastoreo sobre el área de suelos profundos, produciendo una acumulación de deyecciones y aumento de la materia orgánica fresca en superficie. Esto también puede constatare con la drástica disminución del contenido entre los primeros 3 cm y los siguientes 3 cm de profundidad de suelo.

Cuadro 2. Contenido de carbono orgánico g/100g de suelo en las diferentes fracciones del suelo.

	Profundidad	Total	MOP > 212 µm	MOP 212-53 µm	MOAM < 53 µm
Productor 1	0-3	8,27	1,96	1,16	5,15
	3-6	6,05	0,87	0,62	4,56
	<i>Total</i>	7,16	1,41	0,89	4,86
Productor 2	0-3	11,27	3,97	1,65	5,65
	3-6	7,12	1,56	0,82	4,75
	<i>Total</i>	9,19	2,76	1,23	5,20
Productor 3	0-3	7,69	1,84	1,08	4,78
	3-6	5,27	0,79	0,52	3,96
	<i>Total</i>	6,48	1,32	0,80	4,37

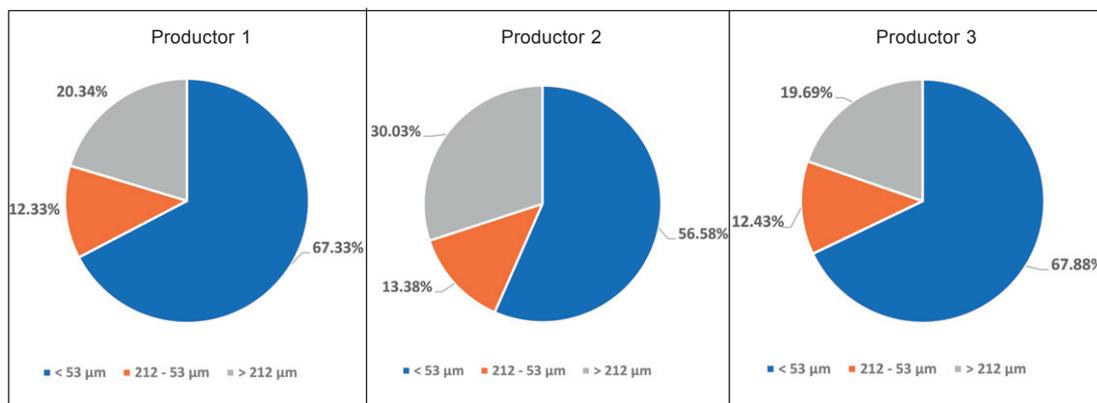


Figura 1. Contenido de carbono orgánico del suelo como % del total para las diferentes fracciones para el promedio de 0 a 6 cm.

En el caso del carbono oxidable por permanganato, también llamado carbono activo, fue seleccionado como una medida de una fracción en proceso actual de incorporación al suelo. En los casos de estudio no se encontraron diferencias en esta variable para los tres años de proyecto, por lo cual no tenemos evidencia de que el rediseño operado en los sistemas haya influido en la tasa de incorporación de carbono al suelo, al menos en el breve plazo del estudio.

Calidad de agua

En el Cuadro 3 se presenta el índice de calidad de agua (ICA) resultante de la caracterización inicial para cañadas de los establecimientos involucrados en el proyecto.

Cuadro 3. Índice de calidad de agua en los tres predios.

Predios	ICA
Productor 1	73,3
Productor 2	72
Productor 3	77,3

Los valores del índice obtenidos son considerados satisfactorios y no representarían problemas de calidad de agua en estos establecimientos.

Composición florística

Se registraron en total 157 especies diferentes de las cuales el 38% eran gramíneas, 8% leguminosas, 52% hierbas enanas y 3% especies arbustivas (Cuadro 4). Dentro de

las gramíneas, el 35% eran especies de ciclo invernal y el 65% estivales.

No se encontraron diferencias significativas entre los manejos ganaderos en cuanto a la relación especies invernales/estivales.

Al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014), los potreros con manejo controlado tuvieron una mayor riqueza, un mayor índice de Shannon-Wiener y un menor valor del índice de Simpson que los potreros con manejo ganadero tradicional (60 vs 53; 2,70 vs 2,41; 0,12 vs 0,16). Esto implica que, en los potreros con manejo controlado, la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto tenía una mayor cantidad de especies, distribuidas de forma más equitativa y con un menor número de especies dominantes que en los potreros con manejo ganadero tradicional. Durante el verano 2015, es decir al final del estudio, no hubo diferencias en riqueza, índice de Shannon-Wiener e índice Simpson entre los potreros con manejo ganadero controlado y tradicional por lo que las diferencias habían desaparecido. Teniendo en cuenta que a los potreros con manejo tradicional se les aplicó un cambio de manejo a lo largo del proyecto, orientándolos hacia un manejo más controlado, los resultados muestran que la composición florística de los dos manejos se equiparó.

La disimilitud en la composición florística de la comunidad vegetal fue estadísticamente significativa, $p < 0,05$ (Cuadro 5). Las especies que contribuyeron en una mayor proporción a esa disimilitud fueron: *Paspalum notatum* Flügge, *Axonopus fissifolius* (Raddi) Kuhl y la familia Ciperáceas para todos los

Cuadro 4. Número de especies registradas.

Grupo funcional*	Nº de especies	%
Gramíneas invernales	21	13
Gramíneas estivales	39	25
Leguminosas	12	8
Hierbas enanas	81	52
Arbustivas	4	3
Total	157	100

*Las especies gramínoideas se registraron como la familia Ciperáceas.

Cuadro 5. Análisis de similitud de la composición florística de los manejos ganaderos según predio.

Predio	Disimilitud promedio (%)	Significancia estadística	Especies con mayor contribución a la disimilitud
1	61,8	0,0001	Ciperáceas, <i>P. notatum</i> , <i>Ax. fissifolius</i>
2	45,3	N.S.	Ciperáceas, <i>P. notatum</i> , <i>Ax. fissifolius</i>
3	55,7	0,0001	Ciperáceas, <i>P. notatum</i> , <i>Ax. fissifolius</i>

predios. Las dos primeras son especies estivales y estoloníferas por lo que están altamente adaptadas al pastoreo y predominan en campos naturales sometidos a pastoreos intensos (Rosengurtt, 1946; Millot *et al.*, 1987). La proporción tan alta de las Ciperáceas estaría asociada a la elevada humedad del suelo durante el período del estudio, dada por las precipitaciones que se registraron, que estuvieron por encima de la media histórica.

Los componentes principales de la varianza de la composición florística agrupada según el tipo productivo explicaron el 83% de la variación total. En la primavera 2013-verano 2014, la composición florística de los potreros con manejo ganadero controlado estaba compuesta por especies ordinarias-duras (OD) como *Sporobolus indicus* y malezas de campo sucio (MCS) como *Baccharis coridifolia* y *Baccharis trimera*, mientras que al final del estudio en la primavera 2014-verano 2015 se caracterizó por la presencia de

especies duras (D) como *Andropogon lateralis* y *Stipa charruana*, finas (F) como *Paspalum dilatatum*, *Poa lanigera* y la briófitas musgo. En estos potreros, el mantener un manejo ganadero controlado en el tiempo favoreció un aumento en la cobertura de especies finas pero también de especies de tipo duro. Esto concuerda con Rosengurtt (1943) que indica que los manejos del pastoreo aliviados favorecen tanto a las especies tiernas y finas como a las ordinarias y duras que generan el endurecimiento del campo.

En los potreros con manejo ganadero tradicional, la composición florística fue similar al inicio y al final del estudio, y se caracterizó por la presencia de especies ordinarias (O) como *Paspalum plicatulum*, *Eragrostis lugens* y *Schizachyrium spicatum* y especies tiernas-ordinarias (TO) como *Piptochaetium montevidensis*, *Andropogon ternatus* y *Aristida uruguayensis* (Figura 2). La presencia de estos grupos de especies implica co-

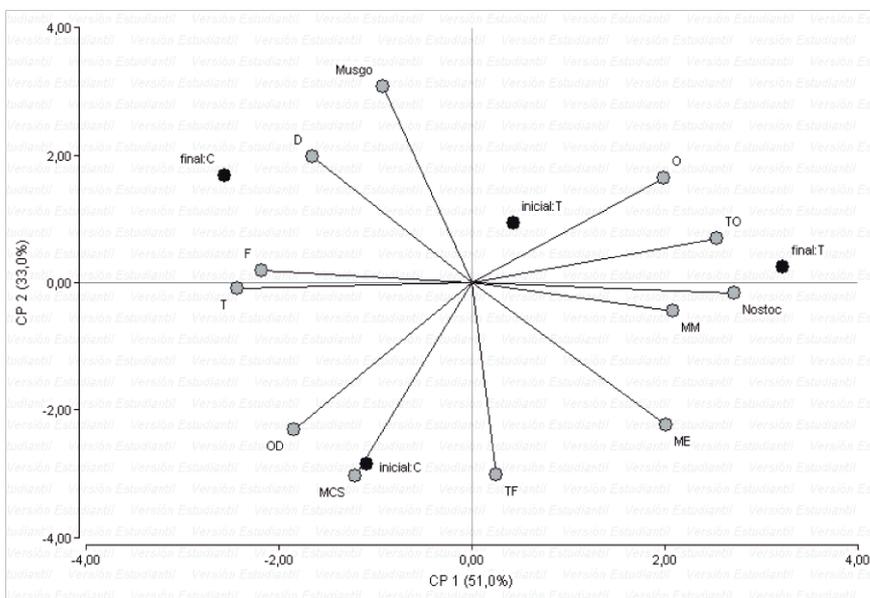


Figura 2. Análisis de componentes principales según grupos productivos.

comunidades vegetales de calidad forrajera media a baja y con una gran acumulación de material pajizo y seco (Rosengurtt, 1946). Si bien no hubo cambios claros en la composición florística del potrero con manejo tradicional durante el estudio, es posible observar una tendencia hacia una composición florística con mayor presencia de especies tiernas y finas.

Se encontraron tres especies indicadoras del manejo ganadero con valor superior a 40%: *Mnesithea selloana* (Hackel) (60%),

Paspalum dilatatum (Poir) (45,8%) y *Sporobolus indicus* (L.) R.Br. (42,3%). La cobertura de las tres especies indicadoras fue mayor en los potreros con manejo controlado que en los que tuvieron un manejo tradicional. Esto demuestra que el manejo del pastoreo controlado favorece la presencia de especies cespitosas de tipo productivo tierno y fino muy apetecidas y castigadas por el ganado con pastoreos tradicionales. Sin embargo, también favorece la presencia de especies cespitosas ordinarias y duras.

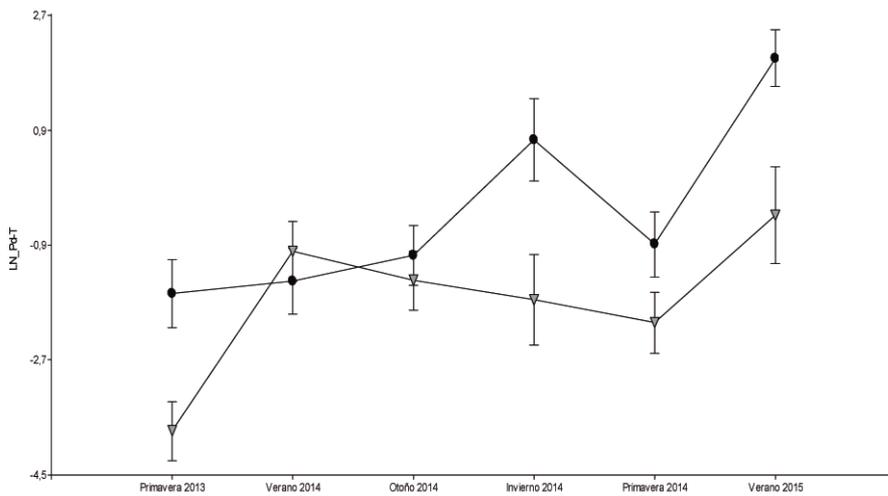


Figura 3. Comparación de medias de la cobertura de *Paspalum dilatatum*; círculos: manejo ganadero controlado; triángulos: manejo ganadero tradicional.

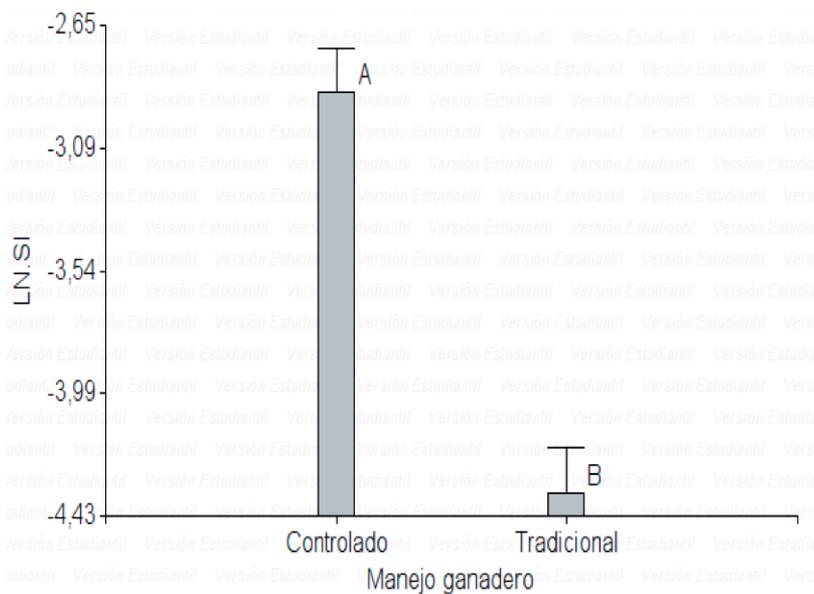


Figura 4. Comparación de medias de la cobertura de *Sporobolus indicus*; letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

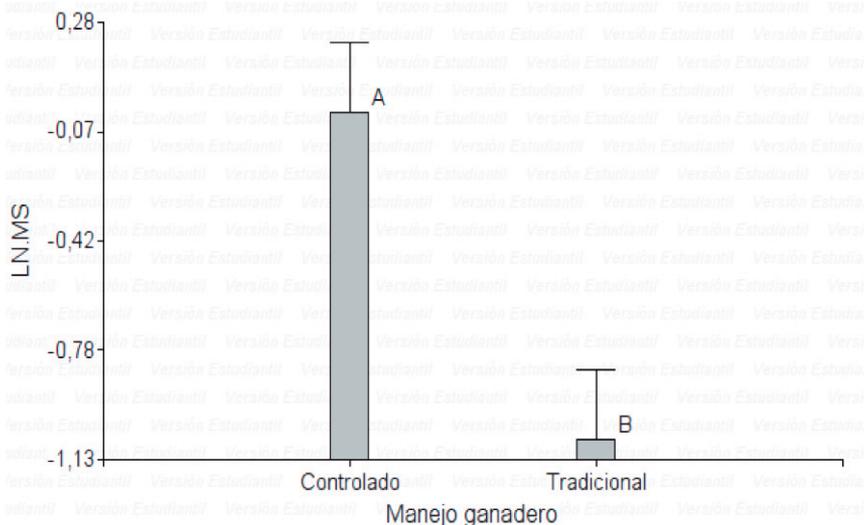


Figura 5. Comparación de medias de la cobertura de *Mnesithea selloana*; letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

En los siguientes gráficos se presentan las coberturas de *P. dilatatum* (Figura 3), *S. indicus* (Figura 4) y *M. selloana* (Figura 5). La cobertura de *S. indicus* y *M. selloana* tuvieron una variación estacional pero no fue diferente significativamente ($p < 0,05$) entre el manejo controlado y el tradicional.

Producción de biomasa

En el total del período en estudio, la pastura de los potreros con manejo ganadero controlado tuvo en promedio una tasa de crecimiento mayor ($p < 0,05$) que la de los potreros con manejo tradicional (15,6 vs. 14,6 kg MS/ha/día, Cuadro 6). Estos valores concuerdan con los obtenidos por Berreta y Bemhaja (1997) en campos naturales sobre suelos profundos de Basalto en años similares a los del estudio, con excesos hídricos. Sin embargo, ya al cabo del segundo año las tasas de crecimiento promedio no fueron

diferentes ($p > 0,05$). Esto implicaría que el cambio de manejo en el potrero con manejo tradicional permitió aumentar la producción de forraje de la comunidad vegetal de suelos profundos.

Estimación del coeficiente EUR

El coeficiente EUR fue un 44% mayor en los potreros con manejo ganadero controlado que en los que tuvieron un manejo tradicional (Cuadro 7).

Durante el período en estudio, la altura promedio del tapiz fue mayor en los potreros con manejo controlado que en los potreros con manejo tradicional (6,36 vs. 5,02 cm). Esta variable explica los mayores valores de EUR en los potreros con manejo ganadero controlado, ya que existe una relación lineal positiva entre el EUR y la altura del tapiz $Y = 0,32 + 0,01x$ aunque con un R^2 muy bajo (0,08), lo que indica una gran dispersión.

Cuadro 6. Tasas de crecimiento promedio (\pm error estándar) de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto según manejo ganadero.

Predio	Controlado (kgMS/ha/día)	Tradicional (kgMS/ha/día)
1	16,3 \pm 1,64	14,2 \pm 1,58
2	13,4 \pm 1,04	12,6 \pm 1,02
3	17,2 \pm 1,67	17,0 \pm 1,76
Media	15,6	14,6

Cuadro 7. Coeficientes EUR según predio y manejo ganadero.

Predio	Controlado (g/MJ)	Tradicional (g/MJ)
1	0,52	0,41
2	0,39	0,11
3	0,56	0,47
Media	0,49 a	0,33 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Fauna asociada

Aves

Los monitoreos de aves realizados revelaron la presencia de 121 especies que, de forma permanente o temporal, utilizan los ambientes comprendidos dentro de los establecimientos, incluyendo las transectas realizadas en potreros de referencia y aquellas registradas fuera de transecta. De estas especies, 11 son consideradas prioritarias para la conservación en Uruguay (Cuadro 8).

Analizando la composición de especies del ensamble de aves de la región es posible encontrar un balance entre las funciones ecológicas de las mismas. Entre las especies registradas existen generalistas (viven en varios ambientes) y otras que son especialistas y viven solo en determinados ambientes, ej.: espejos de agua, montes o vegetación de bañados. Otra forma de clasifi-

car las especies presentes es por sus fuentes alimenticias, conocidos como gremios, donde se destaca la presencia de especies en todos los gremios, lo cual resulta un buen indicador de salud ambiental y la gran riqueza de especies insectívoras, que refuerza el valor de las aves como controladores biológicos de las poblaciones de insectos. A la interna de cada establecimiento es notorio que existen diferencias entre potreros como puede verse en el análisis de rarefacción presentado en la Figura 6.

La principal variable que afecta la riqueza registrada en los potreros de referencia son los aspectos estructurales, tales como presencia de árboles y cuerpos de agua. El tercer factor estructural que aparece con efecto en la riqueza de cada potrero está relacionado a la homogeneidad del tapiz, situación que es constatable en potreros utilizados con cargas promedios menores con pe-

Cuadro 8. Especies prioritarias para la conservación registradas en el proyecto.

Nombre científico	Nombre común	Frecuencia	Abundancia
<i>Bartramia longicauda</i>	Batitú	ocasional	escaso
<i>Cariama cristata</i>	Seriema	habitual	poco común
<i>Circus cinereus</i>	Gavilán ceniciento	ocasional	escaso
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila movil	habitual	poco común
<i>Gnorimopsar chopi</i>	Mirlo charrúa	habitual	poco común
<i>Nothura maculosa</i>	Perdíz	habitual	común
<i>Oreopholus ruficollis</i>	Chorlo cabezón	ocasional	escaso
<i>Paroaria coronata</i>	Cardenal copete rojo	habitual	común
<i>Pyrrhura frontalis</i>	Chiripepe	ocasional	escaso
<i>Rhea americana</i>	Ñandú	habitual	común
<i>Rynchotus rufescens</i>	Martineta	habitual	escaso

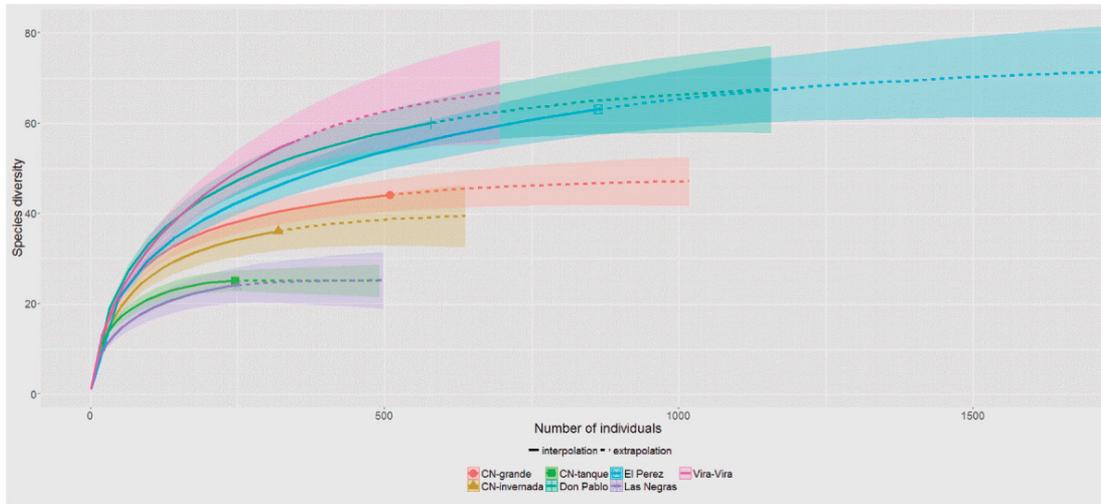


Figura 6. Rarefacción por cobertura y extrapolación (Chao y Jost, 2012) con límites de confianza.

ródos de exclusión del pastoreo. En estas situaciones, el tapiz suele ser denso, homogéneo y de altura promedio mayor, lo cual reduce el número total de especies. Sin embargo, es en estos potreros donde también aparecen especies en forma exclusiva

como Pecho colorado (*Sturnella superciliaris*) durante la época reproductiva.

Araneofauna

El análisis de caracterización de las poblaciones de arañas encontradas en los pre-

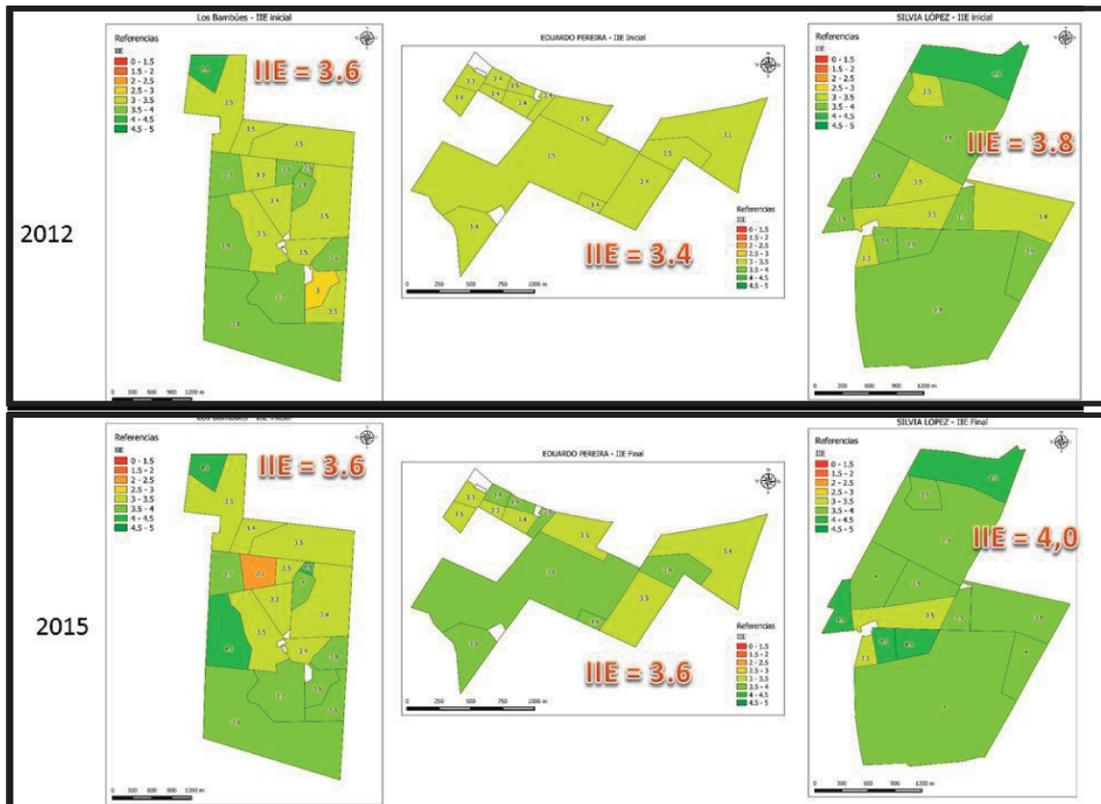


Figura 7. Índices de integridad ecosistémica por potrero y global para los tres establecimientos, al inicio y final del proyecto.

dios muestra una clara dominancia de las especies tejedoras de telas orbiculares, lo cual es normal para ambientes de pastizal. Se denota una tendencia diferente a la de las aves, donde los potreros cuyo manejo tiende a mantener tapices más densos y altos presenta una mayor diversidad de gremios.

Integridad ecosistémica

Se aplicó el índice de integridad ecosistémica (IIE), obteniéndose un valor general para cada establecimiento y valores para cada potrero. La Figura 7 presenta los resultados obtenidos al inicio del proyecto y los registrados al cierre del mismo.

Del análisis de la comparación de los resultados de los tres años de proyecto se puede concluir que en todos los casos la estrategia de manejo adoptada como consecuencia del proceso de co-innovación, permitió mantener en buenos niveles este indicador ambiental, observándose mejoras en algunos potreros.

Indicadores para marco MESMIS

Con el objetivo de incluir en el análisis conjunto de indicadores, se seleccionaron tres indicadores ambientales. Estos fueron seleccionados por considerarse que la me-

todología empleada y las variables evaluadas los hacen sensibles a posibles cambios en el plazo analizado.

Índice de Integridad Ecosistémica

Cuadro 9. IIE por predio y su evolución.

PRODUCTOR	IIE inicial	IIE final	Cambio
1	3,6	3,6	0,0
2	3,4	3,6	0,2
3	3,8	4,0	0,2

Ensamble de Aves

Riqueza estimada (S) de especies de aves en relación a un potencial de referencia que hemos definido como la riqueza estimada determinada por Tosi *et al.* (2013) para un establecimiento ganadero de la región de la cuesta basáltica (Cuadro 10).

Carbono activo

La medida de carbono activo del suelo es considerada la más sensible a cambios en el corto plazo, y se utiliza como potencial el máximo valor encontrado para campos de basalto en el período 2013 a 2015 correspondiente a 1400 mg por kg de suelo (Cuadro 11).

Cuadro 10. Riqueza de aves por predio y su evolución.

PRODUCTOR	2013	2015	Referencia	Inicial (base 5)	Final (base 5)
1	51	70	101	2,5	3,5
2	49	49	101	2,4	2,4
3	42	41	101	2,1	2,1

Cuadro 11. Carbono activo del suelo por predio y su evolución.

PRODUCTOR	2013	2015	Referencia	Inicial (base 5)	Final (base 5)
1	1063	1104	1400	3,8	3,9
2	1198	1212	1400	4,3	4,3
3	1231	1155	1400	4,4	4,1