

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/376609141>

Ejemplo de aplicación de indicadores sinópticos a nivel predial y la creación de índices de desempeño ambiental .

Chapter · December 2023

CITATIONS

0

READS

114

7 authors, including:



José Paruelo

University of Buenos Aires

350 PUBLICATIONS 43,516 CITATIONS

SEE PROFILE



Fiorella Cazzuli

National Institute of Agricultural Research of Uruguay

55 PUBLICATIONS 49 CITATIONS

SEE PROFILE



Federico Gallego

Universidad de la República de Uruguay

47 PUBLICATIONS 731 CITATIONS

SEE PROFILE



Gonzalo Camba Sans

University of Buenos Aires

30 PUBLICATIONS 286 CITATIONS

SEE PROFILE



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY



**INDICADORES DE
DESEMPEÑO
AMBIENTAL PARA
SISTEMAS
AGROPECUARIOS
DEL URUGUAY**

Noviembre, 2023

SERIE
TÉCNICA

266

INIA

INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL PARA SISTEMAS AGROPECUARIOS DEL URUGUAY

Editores: Fiorella Cazzuli¹
José Paruelo²

¹ Ing. Agr. (Mag, Mag, Dra). Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA.

² Ing. Agr. (MSc, PhD). Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA.

Título: INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL PARA SISTEMAS
AGROPECUARIOS DEL URUGUAY

Editores: Fiorella Cazzuli
José Paruelo

Serie Técnica N° 266

© 2023, INIA

<http://doi.org/10.35676/INIA/ST.266>

ISBN: 978-9974-38-449-6

e-ISBN: 978-9974-38-500-9

Depósito Legal: 383987/23

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Avda. Italia 6201, Edificio Los Guayabos, Parque Tecnológico del LATU, Montevideo,
Uruguay.
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se
podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L.
Cassinoni 1629/804 - Teléfono 2402 2010
Montevideo - Uruguay

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr. José Bónica - Presidente

Ing. Agr. Walter Baethgen - Vicepresidente



**Ministerio
de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Ing. Agr. Martín Gortari

Ing. Agr. Rafael Normey



Ing. Agr. Alejandro Henry

Ing. Agr. Diego Bonino



IV. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE INDICADORES SINÓPTICOS A NIVEL PREDIAL Y LA CREACIÓN DE ÍNDICES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL

José Paruelo¹, Fiorella Cazzuli², Federico Gallego³, Gonzalo Camba Sans⁴, Santiago Lombardo⁵, Marcelo Pereira⁵, Luciana Staiano⁶

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo ejemplificaremos el uso de algunos indicadores sinópticos derivados de datos provistos por sensores remotos, presentados en el Capítulo III y su integración en un índice a nivel predial. En este caso particular, nos enfocamos en sistemas de producción ganaderos extensivos, a partir de información generada en el marco del proyecto «Gestión del Pasto» el cual es liderado por el Instituto Plan Agropecuario con financiación FPTA - INIA. El objetivo del proyecto es describir el manejo de los recursos forrajeros que realizan los productores ganaderos extensivos y evaluar sus consecuencias en el desempeño productivo y ambiental. Asimismo, el proyecto se propone la generación de «Buenas Prácticas» ganaderas, a través de la identificación de acciones que generen los mejores desempeños económicos, productivos, sociales y ambientales. En este capítulo reseñamos, de manera preliminar, algunos de los aspectos vinculados al desempeño ambiental. A tales efectos, se seleccionaron 30 predios de todo el país, denominados en el marco del proyecto como «Laboratorios de Campo Natural». Complementariamente, en este trabajo se incluyeron predios adicionales en los cuales el Plan Agropecuario evalúa la productividad forrajera mediante

sensores remotos. Por esta razón, este capítulo trabajó analizando un total de 50 predios.

2. CALCULO DE INDICADORES Y UN ÍNDICE DE DESEMPEÑO AMBIENTAL

La evaluación del desempeño en la dimensión ambiental involucra la identificación de indicadores que puedan registrarse a la escala espacial (predios) y temporal (varios años) del proyecto. Estos indicadores incluyen, por un lado, evaluaciones a campo, y por otro, evaluaciones mediante sensores remotos. En este capítulo presentamos los resultados preliminares del cálculo de 5 indicadores sinópticos derivados de datos satelitales:

- Proporción de hábitat natural (HabNat)
- Rendimiento hidrológico (RH)
- Índice de oferta de servicios ecosistémicos (tIOSE) promedio
- Tendencias positivas del IOSE (tIOSE)
- Tendencias no significativas (neutras) del tIOSE (tIOSE)

El detalle de la estimación de estos índices se presenta en el Capítulo III de esta serie técnica. Los valores de proporción de hábitat natural fueron obtenidos del proyecto Map-Biomas Pampa (<https://plataforma.pampa.mapbiomas.org/>) (Baeza et al., 2022). Los datos satelitales para el cálculo de IOSE y su tendencia fueron derivados del sensor MODIS a bordo de los satélites AQUA y TERRA y procesados en Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). La resolución espacial del producto MODIS usado (Colección 6, MODQ13Q1)

¹ Ing. Agr. (MSc, PhD). Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA.

² Ing. Agr. (MSc, MSc, PhD). Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA.

³ Lic. (MSc). IECA/FCien. UdelaR.

⁴ Lic. (MSc). LRT-IFEVA- Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información. Facultad de Agronomía (UBA y CONICET).

⁵ Ing. Agr. Instituto Plan Agropecuario.

⁶ Lic. LART-IFEVA- Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información. Facultad de Agronomía (UBA y CONICET).

para el cálculo del IOSE es de 250 m. El rendimiento hidrológico fue calculado usando datos de Evapotranspiración (evaporación del suelo + transpiración), derivados de la versión 2 del modelo Penman–Monteith–Leuning (PML-v2) (Zhang et al., 2019), y de precipitación, obtenidos del producto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station product (CHIRPS; Funk et al., 2015). Los datos de evapotranspiración están disponibles con una resolución espacial de 500 m y los de precipitación para celdas de 0,05° (aprox. 5x5 km). Los detalles de los cálculos del rendimiento hidrológico están disponibles en Gallego et al. (2023).

Los cálculos fueron realizados para 50 predios, 13 ubicados en la Cuenca Sedimentaria Oeste y 37 en la Cuesta Basáltica (Figura 1). Los valores de Proporción de hábitat natural, Rendimiento hidrológico y del IOSE corresponden a la media del período 2017-2019. Las tendencias del IOSE fueron calculadas para el período 2000-2019.

Los valores de los 5 indicadores fueron escalados entre 0 y 1 según Staiano et al. (2022):

$$Ind\ escalado\ i = \frac{Ind\ i - Ind\ min}{Ind\ max - Ind\ min}$$

Donde «*Ind escalado*» es el valor del indicador escalado para el píxel «*i*», «*Ind*» es el valor del indicador para el píxel «*i*», «*Ind mín*» corresponde al valor mínimo que toma el indicador en el área de estudio e «*Ind max*» al valor máximo.

Se construyó un índice de desempeño ambiental a nivel predial a partir de la suma de los valores escalados de los 5 indicadores considerados. De tal manera el valor máximo que puede asumir es 5 y el mínimo 0. Se representó el desempeño ambiental gráficamente a partir de diagramas de araña.

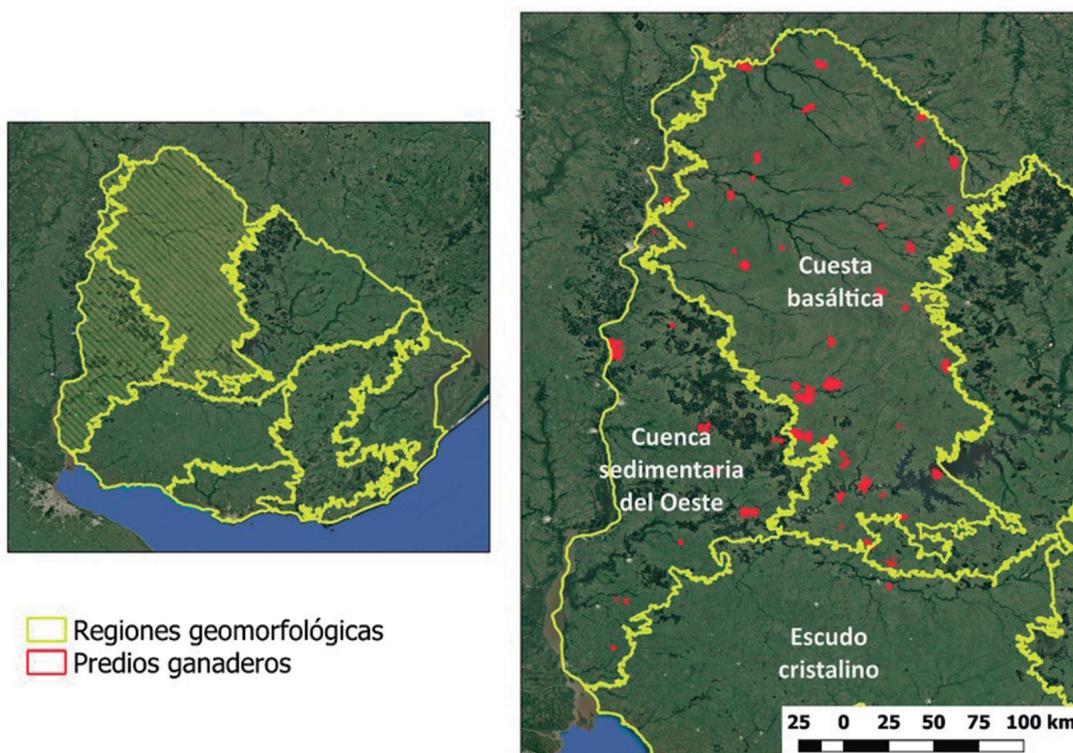


Figura 1. Regiones geomorfológicas y predios incluidos en el análisis del desempeño ambiental a nivel predial.

3. PATRONES GENERAL DE LOS INDICADORES Y EL INDICE

Los patrones espaciales de los indicadores calculados mostraron claras diferencias entre y dentro de las regiones geomorfológicas (Figura 2). En la Cuesta Basáltica predominan valores altos de proporción de hábitat natural, rendimiento hidrológico, IOSE medio y tendencias no significativas en el IOSE, asociados principalmente a pastizales naturales (Figura 2). En la Cuenca Sedimentaria del Oeste, se observa una

menor proporción de hábitat natural, la presencia de valores menores de IOSE promedio y tendencias negativas en el IOSE, asociadas principalmente a áreas transformadas (Figura 2).

En cuanto al análisis a nivel predial, se presentan en el Cuadro 1 los valores promedio de cada uno de los indicadores empleados, mientras que en el Cuadro 2 se presentan los mismos indicadores pero escalados entre 0 y 1. El indicador con desempeño más variable entre predios fue la proporción del predio con tendencias positivas en el IOSE

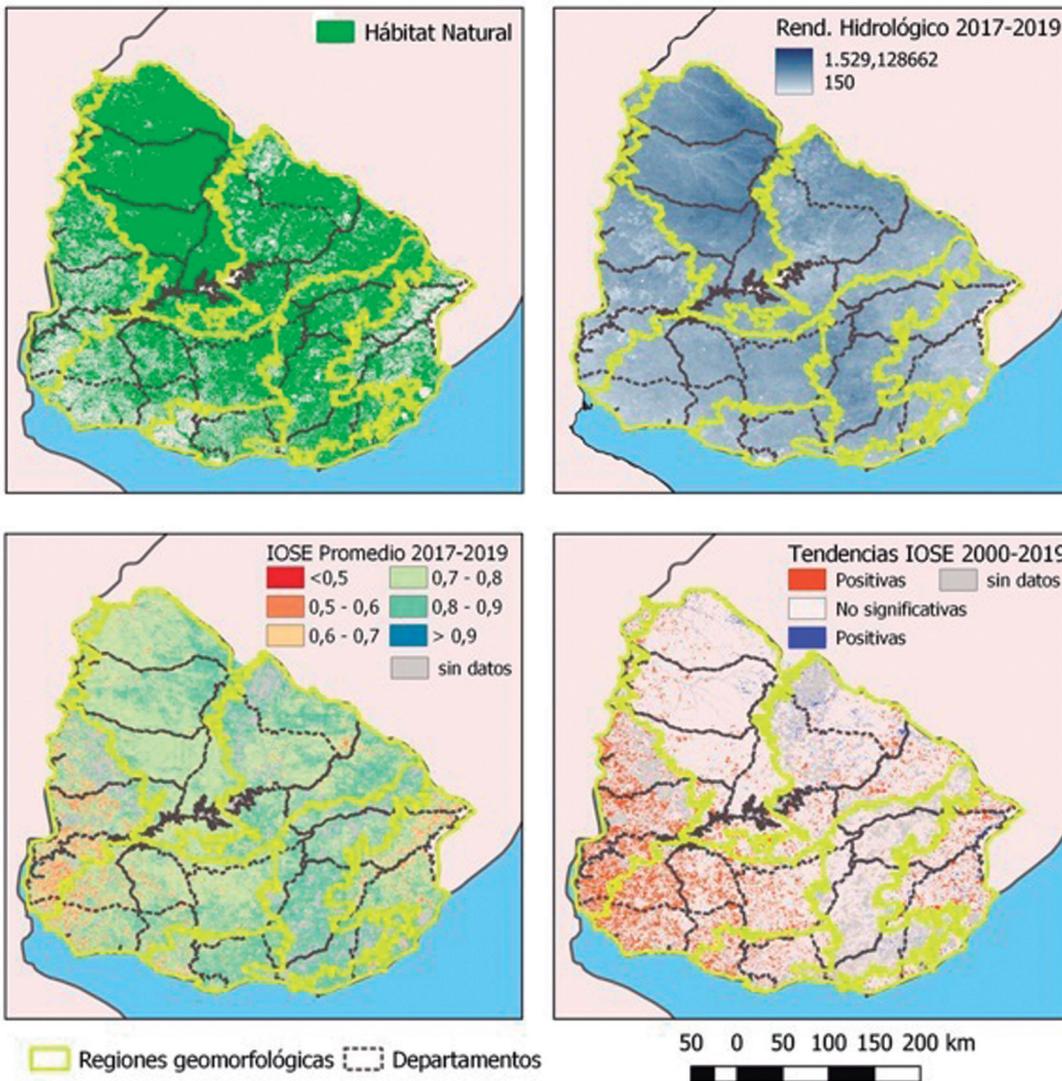


Figura 2. Indicadores empleados para la caracterización del desempeño ambiental a nivel predial.

(Promedio = 0,02, CV = 2,92), seguido por la proporción de hábitat naturales (Promedio = 0,86, CV= 0,24) y por el rendimiento hidrológico (Promedio = 744,89 mm, CV = 0,16) (Cuadro 1). Los indicadores que mostraron menor variabilidad fueron la proporción del predio con tendencias no significativas en el

IOSE (Promedio = 0,93, CV = 0,13) y el IOSE medio para el período 2017-2019 (Promedio = 0,77, CV= 0,04).

El desempeño ambiental de los predios, basado en cada uno de los indicadores, y para dos regiones geomorfológicas contrastantes se muestra en la Figura 3. Este tipo de

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de los indicadores de desempeño ambiental, en valores absolutos.

	Rendimiento Hidrológico	Prop. hábitat naturales	IOSE medio 2017-2019	Prop. del predio con tendencias de IOSE ns	Prop. del predio con tendencias de IOSE positivas
Promedio	744,89	0,86	0,77	0,93	0,02
DesvEst	121,29	0,21	0,03	0,12	0,05
CV (%)	0,16	0,24	0,04	0,13	2,92
Mediana	724,12	0,96	0,77	0,99	-
Min	505,06	0,07	0,70	0,45	-
Max	991,30	1,00	0,84	1,00	0,26

Nota: DesvEst, desvío estándar; CV (%) coeficiente de variación; ns, no significativas; IOSE, índice de oferta de servicios ecosistémicos.

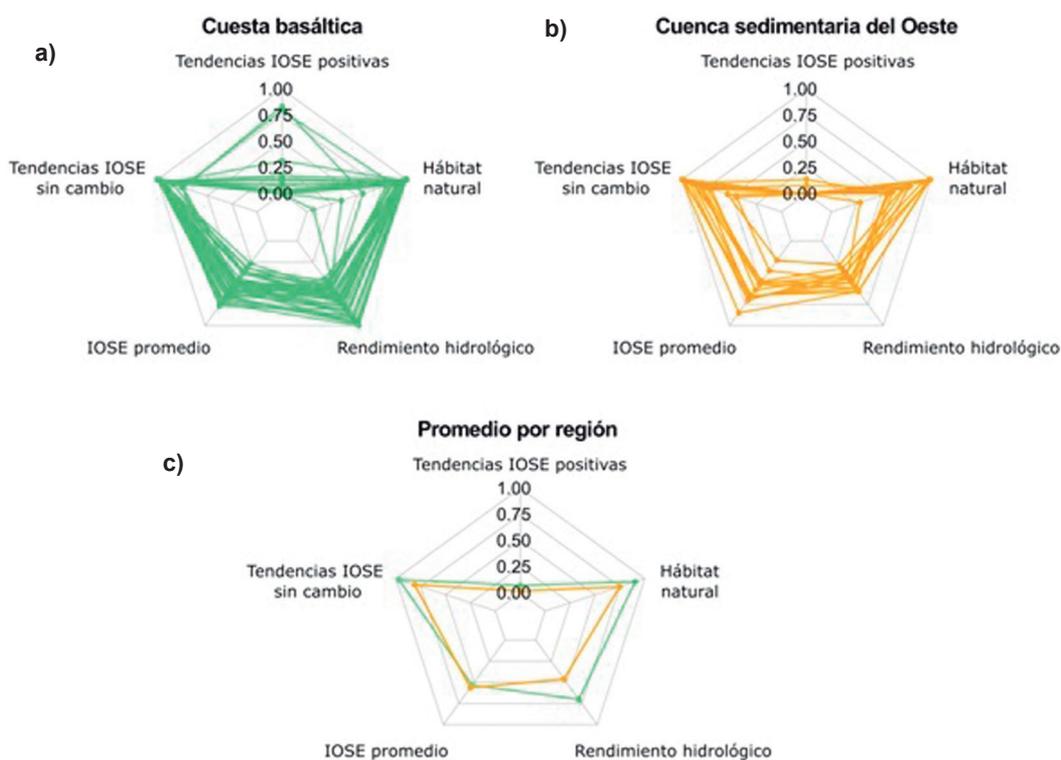


Figura 3. Gráficos «radares» o «araña» de desempeño ambiental de los predios considerados. El panel (a) corresponde a los predios de la Cuesta Basáltica, el (b) a los de la Cuenca sedimentaria del Oeste y el (c) al promedio de los predios para de las dos cada una de las regiones analizadas.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de los indicadores de desempeño ambiental, en valores escalados (de 0 a 1).

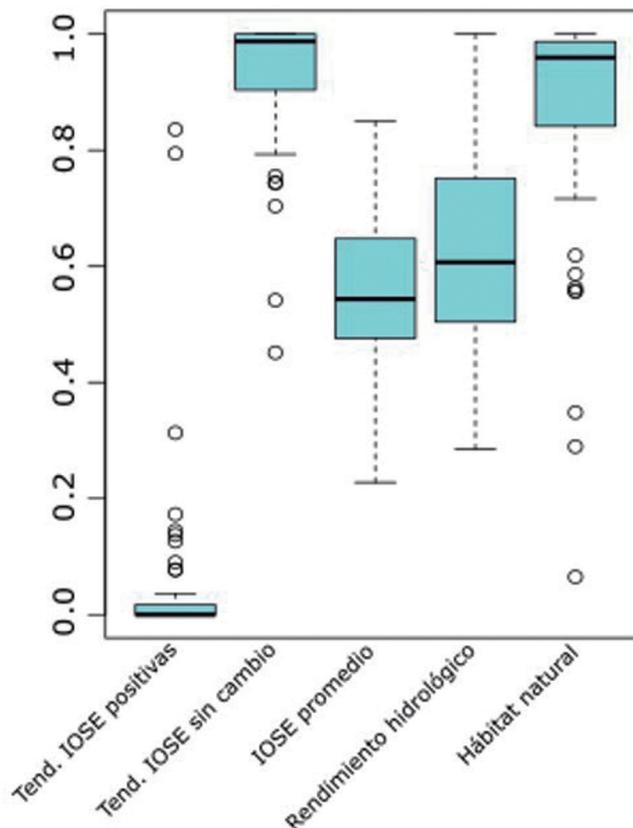
	Rendimiento Hidrológico	Prop. hábitat naturales	IOSE medio 2017-2019	Prop. del predio con tendencias de IOSE ns	Prop. del predio con tendencias de IOSE positivas
Promedio	0,64	0,86	0,54	0,93	0,06
DesvEst	0,18	0,21	0,14	0,12	0,17
CV (%)	0,28	0,24	0,25	0,13	2,92
Mediana	0,61	0,96	0,54	0,99	-
Min	0,29	0,07	0,23	0,45	-
Max	1,00	1,00	0,85	1,00	0,84

Nota: DesvEst, desvío estándar; CV (%) coeficiente de variación; ns, no significativas; IOSE, índice de oferta de servicios ecosistémicos. Algunos valores máximos no suman 1.00, ya que fueron excluidos los casos con forestación.

gráfico genera una «firma», es decir, un conjunto de características específicas de desempeño ambiental de cada predio que permite una rápida comparación entre situaciones o el seguimiento a lo largo del tiempo de la firma de una misma unidad. Este conjunto de características específicas está dado por la forma que toma cada gráfico-radar o de araña.

La forma de las «firmas de desempeño ambiental» de cada predio es función de la manera en la que los datos son escalados, es decir, de la ponderación que se le asigne a cada indicador (cada vértice de la araña) y de la población de predios considerada. Como se observa en la Figura 4, la distribución de los valores considerando todos los predios

Figura 4. Distribución de los valores escalados de los 5 indicadores para los 50 predios. Línea negra horizontal: mediana; extremos de las cajas: cuartiles (p25 y p75); «bigotes» o extremos de los segmentos: mínimo y máximo de valores excluyendo valores extremos: círculos: valores extremos o outliers.



Cuadro 3. Valores de coeficientes de correlación existentes entre los indicadores considerados en este caso de estudio de desempeño ambiental de los 50 predios analizados. IOSE: índice de oferta de servicios ecosistémicos; t: tendencia; ns: no significativa.

	Rendimiento Hidrológico	Prop. hábitat naturales	IOSE medio 2017-2019	Prop. del predio con tendencias de IOSE ns	Prop. del predio con tendencias de IOSE positivas
Rendimiento hidrológico	1,00	0,00	0,20	0,03	0,36
% hábitats naturales	0,72	1,00	0,00	0,00	0,46
IOSE	0,10	0,31	1,00	0,00	0,00
IOSE t ns	0,17	0,30	0,34	1,00	0,00
IOSE t positiva	0,07	0,06	0,23	-0,23	1,00

El valor de correlación a partir de cual decidir excluir un indicador depende del contexto de análisis y probablemente requiera de análisis complementarios para reducir dimensiones (por ejemplo, a partir de un análisis de componentes principales, entre otros).

juntos, varía entre cada una de las dimensiones consideradas. En tal sentido es importante la generación de firmas de referencia o «firmas estándar». Por ejemplo, las firmas de referencias podrían ser los valores de cada indicador correspondientes a los percentiles 75 (P75) y 25 (P25), o sea a valores que corresponden al 25% más alto (P75) o al 25% más bajo de los valores observados (P25).

Los 5 indicadores considerados en este caso de estudio muestran distinto grado de correlación entre ellos (Cuadro 3). Los indicadores a incluir en una caracterización multidimensional del desempeño ambiental no deberían ser redundantes. Es decir, no deberían utilizarse dos indicadores distintos que varían de manera conjunta. En este caso, los dos indicadores más correlacionados fueron el rendimiento hidrológico y el porcentaje de hábitats naturales ($r=0,72$). Esto indicaría que son parcialmente redundantes, con lo cual uno de los dos podría ser excluido a efectos de simplificar la descripción. Para el resto de los indicadores, si bien la correlación fue significativa los valores fueron bajos.

3. USOS POTENCIALES

Cuatro de los 5 indicadores sinópticos presentados (proporción de hábitat naturales, IOSE promedio, proporción con tendencias positivas en el IOSE y proporción con

tendencias no significativas en el IOSE) fueron seleccionados por el Grupo de Trabajo interinstitucional sobre la Huella Ambiental de la Ganadería en Uruguay (MGAP-MA, 2022). En tal sentido, proveen una mirada acordada entre distintos actores del sector gubernamental, técnico y académico del desempeño ambiental a escala de predio agropecuario. El quinto indicador -rendimiento hidrológico- es de reciente desarrollo y su uso para caracterizar la dimensión hídrica del desempeño ambiental requiere ser legitimado.

El uso potencial de la información provista por los indicadores es múltiple. Como se señalaba en el Capítulo I, el diagnóstico que se genere a partir de ellos y las eventuales acciones que se propongan (las «terapias») deben contar con una evaluación «clínica», o sea, de datos accesorios que complementen y den contexto a los indicadores presentados. Sin pretender agotar las posibilidades de uso de los indicadores sinópticos destacamos tres posibles aplicaciones:

Productores/as individuales: A partir de las descripciones presentadas el/la productor/a puede identificar en dónde es necesario enfocar esfuerzos si su objetivo es mejorar su desempeño ambiental. Siendo los sistemas productivos complejos, no siempre será posible o deseable modificar sólo alguno de los indicadores. El decisor o decisor/a tendrá, a partir de

estos indicadores elementos para evaluar el impacto de sus actividades sobre el desempeño ambiental. Esta evaluación incluye tanto un «análisis vertical» o temporal (es decir, dentro del predio, año tras año) como «horizontal» o espacial (es decir, entre predios, en un mismo año). En suma, a través de los años cada productor/a puede observar la tendencia que tienen los indicadores en su predio, pero también en qué situación se encuentra con respecto de sus «pares».

Políticas públicas: La caracterización del desempeño ambiental puede ser la base de definición de políticas públicas. Por ejemplo, la orientación de incentivos puede estar asociada a tendencias o cambios en el desempeño ambiental. También, el uso de indicadores permitiría tipificar la producción. Para el caso ganadero, la trazabilidad del ganado permite asociar animales a ser faenados con un predio

determinado y al disponer de una caracterización del desempeño ambiental es posible tipificar el producto en términos de, por ejemplo, preservación de hábitats naturales u oferta de SE (Figura 5).

Generación conocimiento: Otro uso de los indicadores e índices de desempeño ambiental es la descripción de patrones geográficos a nivel regional o nacional, – especialmente para aquellos indicadores que se alimentan de datos generados por teledetección. Estos patrones espaciales traducidos a mapas pueden vincularse con datos secundarios (por ejemplo, datos de DICOSE, SNIG o INAC) para generar conocimiento sobre cómo interactúan variables productivas (no ambientales) con variables ambientales. Un ejemplo de esto es el estudio de los compromisos o «trade-offs» entre desempeño ambiental y productivo.

Si bien ya existen prácticas que apuntan

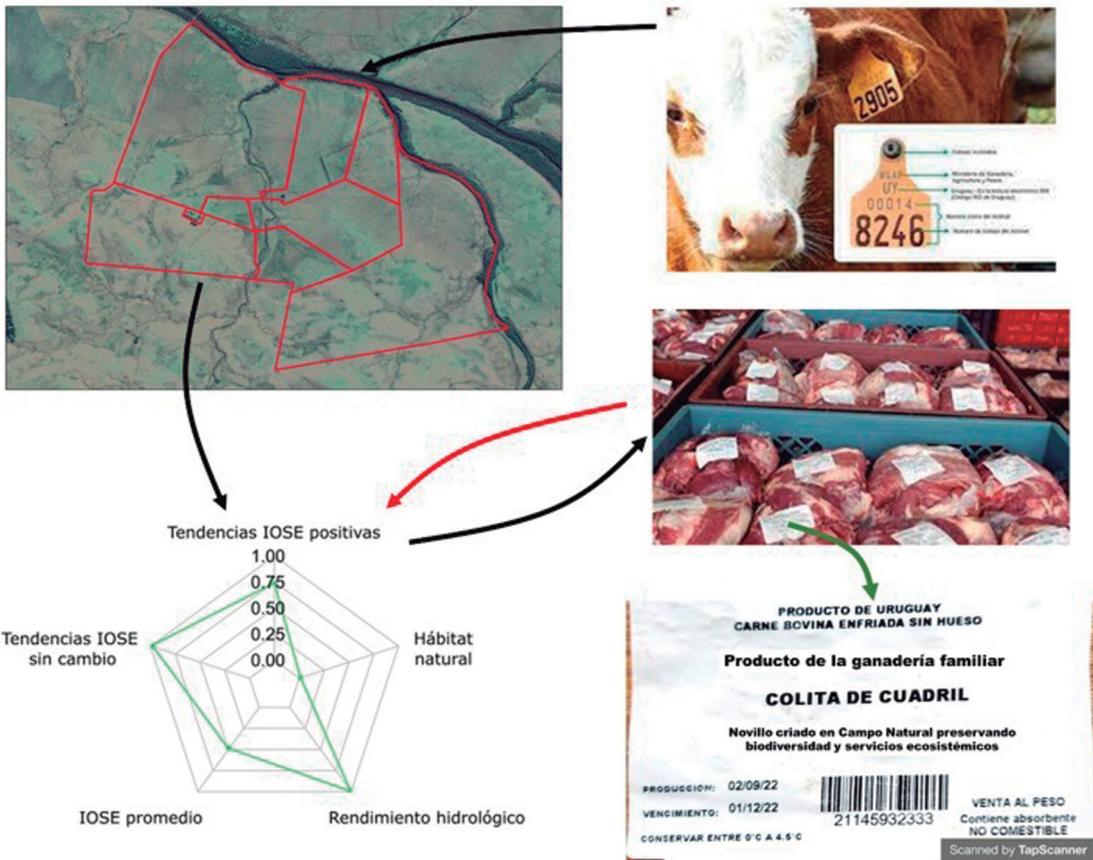


Figura 5. Esquema de cómo podría asociarse una «firma de desempeño ambiental» con el producto final.

a la transición agroecológica de los sistemas ganaderos, contar con una base de datos lo suficientemente grande, que contenga indicadores e índices, no solo ambientales si no también productivo-económicos y sociales, permitirá poder identificar buenas prácticas agropecuarias (BPAs) de manera inductiva. Es decir, a partir de los datos conjuntos reales ambientales, productivo/económicos y sociales, se podrán analizar qué prácticas realizan aquellas empresas que mejor manejan estas tres dimensiones de la sustentabilidad. En el último capítulo de esta serie técnica nos referiremos puntualmente a esta potencialidad de la construcción de bases geoespaciales a nivel predial.

4. BIBLIOGRAFIA

- Baeza, S.; Vélez-Martin, E.; De Abellejra, D.; Banchemo, S.; Gallego, F.; Schirmbeck, J.; Veron, S.; Vallejos, M.; Weber, E.; Oyarzabal, M.; Barbieri, A.; Petek, M.; Guerra Lara, M.; Sarrailhé, S.S.; Baldi, G.; Bagnato, C.; Bruzzone, L.; Ramos, S.; Hasenack, H.** 2022. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomas Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834>
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A. & Michaelsen, J.** 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2: 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gallego, F.; Sans, G.C.; Di Bella, C.M.; Tiscornia, G. & Paruelo, J.M.** 2023. Performance of real evapotranspiration products and water yield estimations in Uruguay. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101043. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101043>
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D. & Moore, R.** 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202: 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- MGAP-MA.** 2022. Uruguay, informe sobre la huella ambiental ganadera. Accesible en: Reporte Final Huella de la Ganadería en Uruguay | Ministerio de Ambiente (www.gub.uy)
- Staiano, L.; Gallego, F.; Altesor, A. & Paruelo, J. M.** 2022. Where and why to conserve grasslands socio-systems? A spatially explicit participative approach. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 820449.
- Zhang, Y.; Kong, D.; Gan, R.; Chiew, F.H.; McVicar, T.R.; Zhang, Q. & Yang, Y.** 2019. Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002–2017. *Remote sensing of environment*, 222: 165-182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.031>