



Cuantificando la trayectoria de sistemas de cultivos en base a indicadores de sostenibilidad*

Foto: Santiago Miguel

Juan Ahunchain¹; Sebastián Mazzilli²; Oswaldo Ernst³

1- Estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias. ANII POS_ NAC_2_2023_178769

2- Profesor Adjunto del Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

3- Docente libre del Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

1- Introducción

Los sistemas agrícolas de Uruguay han atravesado una serie de cambios en el uso y manejo del suelo impulsados por factores económicos, tecnológicos y ambientales. Los hitos más relevantes fueron; i) transición desde agricultura continua con labranza, a 3-4 años de agricultura con labranza, con trigo y girasol como cultivos predominantes, rotando con 3-4 años de pasturas perennes (década de 1970); ii) eliminación gradual de la labranza (década de 1990); iii) implementación de sistemas de cultivos anuales continuos sin labranza, pero ahora con predominancia de

soja (primera década del 2000); iv) diversificación creciente de los sistemas, ya sea con cultivos anuales o rotando con pasturas cortas (del 2015 a la fecha). Cada uno de ellos implicó un cambio en la estructura productiva, primero reduciéndose el número de productores e incrementando el tamaño medio de las empresas, seguido por cambios en el régimen de tenencia de la tierra y el modelo de negocio. Basado en los resultados de experimentos de largo plazo, al hito (i) se lo relaciona con limitantes impuestas al rendimiento por la pérdida de fertilidad generada por labranza y erosión hídrica; al (ii), con la valoración de que, eliminando la labranza se mejora el control de ambos procesos; el (iii), porque si el (ii) es correcto, se reduce la necesidad de rotar con pasturas, permitiendo sistemas de agricultura continua; el (iv), porque la tendencia al monocultivo de soja condicionó la validez del (ii). Esto último implicó el retorno a los problemas del hito (i). Como consecuencia, se reglamentó la Ley de Conservación de Suelos (Ley 13667/1968), generando la necesidad de planificar el uso del suelo (Ley 15239/1981 y 18564/2009). Por tanto, el hito (iv) fue impulsado por el marco normativo, siendo la relación de precios responsable de la proporción de cultivos de renta dentro del sistema de cultivos.

* Plataforma de soporte online de manejo de cultivos ATN/RF 20631-RG

Si bien este relato de lo que pasó y la interpretación de sus causas alerta sobre la necesidad de atender los puntos críticos para la sostenibilidad de los sistemas de cultivos, el único indicador formalmente establecido para evaluarla es el riesgo de erosión hídrica del suelo. Simplificando el problema, el valor de tolerancia establecido para el riesgo de erosión proyectado a veinte años separa sistemas de cultivos sostenibles de los que no lo son.

Pero evaluar la sostenibilidad requiere un enfoque multidimensional, que integre indicadores de uso de la tierra, con la productividad del sistema de cultivo, la eficiencia en el uso de recursos, el desempeño ambiental y la estabilidad del rendimiento.

Los registros de gestión a nivel de predios comerciales constituyen una herramienta robusta para analizar las trayectorias de producción. Para ello se requiere combinar técnicas de análisis de datos multivariadas, de manera de identificar patrones y pasar de una etapa meramente descriptiva, a análisis con capacidad de inferencias, útiles para planificar y gestionar los sistemas de cultivos.

2– Antecedentes

Para este trabajo se usó como base el proyecto “[Sustentabilidad ambiental y económica en predios agrícola-ganaderos: un sistema de indicadores objetivos aplicable en el campo](#)” (FPTA 327), ejecutado durante el período 2011-2013

El mismo consideró once indicadores, concluyendo que: el riesgo de erosión hídrica del suelo estaba por encima del valor de tolerancia en el 60% de los casos; sólo un tercio de los predios alcanzaban ingresos de carbono suficientes para mantener el carbono orgánico del suelo; baja eficiencia de captura del agua de lluvia; salvo casos puntuales, balances aparentes de potasio negativos y de

fósforo, neutros a muy positivos; la mayoría de los predios con ingreso de N que comprometen su sostenibilidad y riesgos asociados al uso de agroquímicos.

Los resultados corresponden a años en los que se transitaba en el período (ii), previo a la implementación de los planes de uso, manejo y conservación de suelos. Veinte de las treinta empresas participantes del proyecto mantienen los registros actualizados, (exceptuando el uso detallado de agroquímicos), lo que permite describir la trayectoria de los sistemas de cultivos y de sus indicadores de sostenibilidad en el período (iv), una vez implementada la reglamentación de la Ley 13667/1968.

3– Trayectoria de sostenibilidad

Con base en descriptores de uso del suelo y su evolución entre 2011 y 2023 (intensidad de cultivo; diversidad estival e invernal mediante índice de Shannon; relación pastura–cultivo y sus respectivas tasas de cambio), se identificaron cuatro grupos de sistemas de cultivo.

- Sistemas de agricultura continua, simples, en proceso de intensificación del uso del suelo, manteniendo estable el nivel de diversidad (ACS_i).
- Sistemas mixtos agricultura/pastura con tendencia a intensificarse, manteniendo la diversidad estable a lo largo del tiempo (AP_i).
- Sistemas de agricultura continua en transición a rotación con pasturas, con tendencia a intensificarse y diversificarse (AC_AP).
- Sistemas de agricultura continua inicialmente intensivos, con tendencia a diversificarse (AC_d).

Se estimaron los indicadores utilizados en el trabajo antecedente, exceptuando los referidos al uso de agroquímicos, ya que aún no se dispone de la información completa. Se agregó una estimación de la productividad parcial del



Alta intensidad de uso del suelo y diversificación de cultivos generan indicadores de sostenibilidad más equilibrados en los sistemas de cultivo comerciales.

nitrógeno (PPN) en gramíneas invernales (trigo y cebada) como indicador de eficiencia de uso de nitrógeno, el excedente de N y un índice de estabilidad de rendimientos (SYI).

El modelado de indicadores de sostenibilidad reveló trayectorias contrastantes entre los grupos de sistemas de cultivo a lo largo del período de estudio (Figura 1).

Las diferencias más relevantes pueden resumirse como:

Incrementos en el ingreso de carbono al suelo, pero aún por debajo del nivel de referencia ($4000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); mejora en la de captura y uso del agua de lluvia; mejora en el balance aparente de K, pero aún negativo; tendencia a la neutralidad en el balance aparente P.

En cuanto al uso de N, los tres indicadores utilizados muestran tendencia negativa. La EUN se redujo desde 0,93 a 0,80, el N sobrante se incrementó de 24 a $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y la PPN se redujo de 44 a $34 \text{ kg grano kg de N agregado}^{-1}$. El riesgo de erosión hídrica del suelo fue inferior a la tolerancia en todos los casos (en base a los planes de uso aprobados).

Todos los grupos perdieron estabilidad de rendimiento, pero con diferente magnitud; se destacan como los más estables los que incluyen pasturas (AP_i y AC_AP), seguido por agricultura continua con diversidad de cultivos (AC_d), siendo los menos estables los predios bajo agricultura continua de baja diversidad, en proceso de intensificación (ACS_i).

4– Agradecimientos

A la Federación Uruguaya de Grupos CREA, en especial a los integrantes de la Sectorial Agrícola-Ganadera por suministrar los registros utilizados.

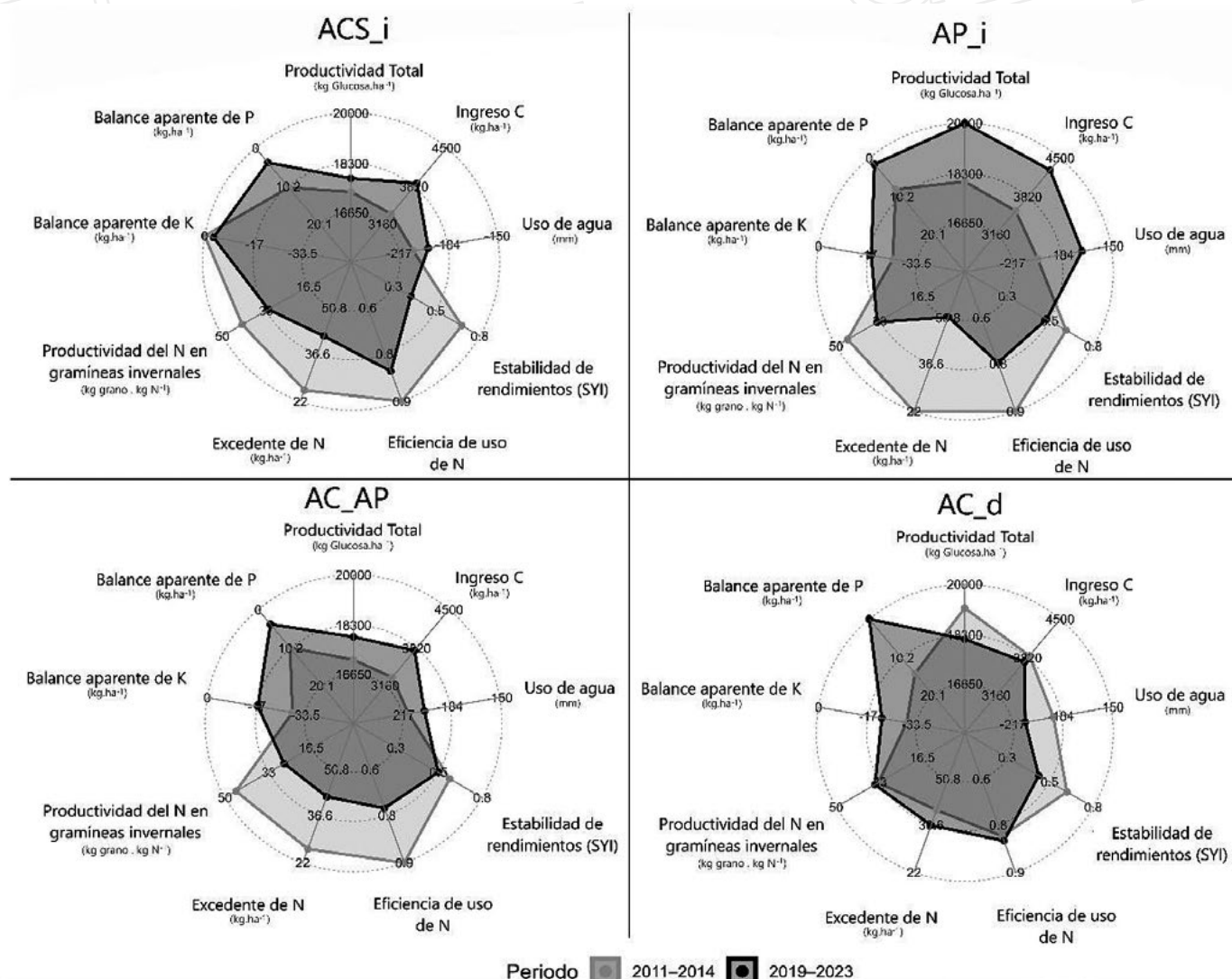


Figura 1. Panel de trayectoria de indicadores de sostenibilidad (gris claro 2011-2014; gris oscuro 2019-2023) para predios bajo agricultura continua de baja diversidad, en proceso de intensificación (ACS_i); agricultura rotando con pasturas con fase agrícola en proceso de intensificación (AP_i); agricultura continua migrando a agricultura rotando con pasturas (AC_AP); agricultura continua integrada por diversidad de cultivos (AC_d).