



Foto: INIA

LA ESTABILIDAD DE LA SOSTENIBILIDAD: una mirada integradora en los sistemas de arroz-pasturas

Ing. Agr. MSc. Ignacio Macedo¹,
Ing. Agr. MSc. PhD Álvaro Roel²,
Prof. PhD Cameron M. Pittelkow³,
Téc. Agr. Alexander Bordagorri⁴,
Ing. Agr. PhD José Terra²

¹PhD Candidate. University of California, Davis. Plant Sciences Department; estudiante de doctorado INIA

²Sistema Arroz-Ganadería - INIA

³University of California, Davis. Plant Sciences Department

⁴Asistente de Investigación INIA, Treinta y Tres. Coordinador Operativo Experimento de Largo Plazo

Este artículo pone el foco en el análisis de la integración arroz-pasturas y los efectos de la intensificación de diferentes rotaciones que incluyen arroz, a partir de información generada en el experimento de largo plazo de INIA y en la búsqueda de un balance productivo-económico-ambiental.

Los sistemas de producción arroz-pasturas con la integración de animales son poco comunes actualmente en el mundo. Sin embargo, Uruguay es uno de los lugares donde aún prevalecen este tipo de sistemas. Estas rotaciones tienen ciertos atributos diferenciales en relación con otras formas de producción, como por ejemplo su menor uso de insumos. En los últimos años ha existido una tendencia a intensificar (definida aquí como más cultivos anuales en la rotación) la rotación, impulsada

en parte por los altos costos y fluctuaciones de los precios internacionales. Desde hace aproximadamente una década, INIA, en conjunto con el sector y con foco en distintos proyectos, han trabajado en la sistematización de información y documentación de la sostenibilidad del cultivo de arroz y su sistema de producción. Entender los efectos de esta intensificación sobre aspectos productivos, económicos y ambientales es clave para el diseño de sistemas de producción sostenibles.

Para entender esos efectos de la intensificación, en 2012 se inició un experimento de largo plazo que compara distintas rotaciones basadas en arroz que combinan o integran diferentes pasturas y cultivos (Figura 1). Este experimento se encuentra ubicado en la cuenca de la Laguna Merín donde se desarrolla aproximadamente el 60-70 % de la actividad arrocera nacional. La pregunta de investigación que impulsó este experimento fue, ¿qué pasa cuando intensificamos una rotación arroz-pasturas? El “qué pasa” es muy amplio, pero refiere a productividad, calidad de suelos, impacto ambiental, etc. Este artículo pretende responder parte de esa pregunta y aquí se presentan los principales resultados de dos artículos científicos recientemente publicados. El primer artículo evaluó el rendimiento de arroz y la evolución del carbono orgánico del suelo (COS), mientras que en el segundo se evaluaron distintos indicadores (productivos, económicos y ambientales), se los integró en un índice de sostenibilidad y además se evaluó la estabilidad de ese índice.

El experimento y análisis realizados

El experimento contrasta distintas alternativas de rotaciones que incluyen arroz, pero que varían en sus otros componentes, así como en el largo y la composición de la fase de pasturas. En estos dos artículos se seleccionaron para el análisis tres de las seis rotaciones del experimento. Los sistemas incluidos fueron: 1) una rotación arroz-pasturas tipo (dos años de arroz y tres años y medio de pasturas) y dos sistemas intensificados que sustituyen las pasturas perennes, 2) arroz-soja (con cultivos de cobertura invernales), un sistema practicado en el sur de Brasil y emergente en Uruguay y 3) arroz-continuo (con coberturas invernales), un sistema no practicado en Uruguay, pero sí habitual en muchas regiones del mundo (Figura 2).

Se analizaron los primeros 7-8 años de datos del experimento durante su estabilización en los que se evaluó el rendimiento de arroz, la evolución del COS y el nitrógeno total del suelo. En el segundo artículo se evaluaron distintos indicadores que contemplaron dimensiones agronómicas, ambientales y económicas de los sistemas de producción. Los indicadores incluidos fueron: productividad, uso de energía, uso de nitrógeno, huella de carbono, eficiencia de uso



Foto: INIA

Figura 1 - Experimento de largo plazo de rotaciones arroceras. Unidad Experimental Paso de la Laguna, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

La investigación evalúa cambios que se producen al intensificar la rotación arroz-pasturas, en términos de productividad, calidad de suelos e impacto ambiental, entre otros.

AÑO	1		2		3		4		5	
Rotación	P-V	O-I								

Arroz-Pastura	Arroz ₁	Rg	Arroz ₂	Festuca + Trebol blanco + Lotus						
---------------	--------------------	----	--------------------	---------------------------------	--	--	--	--	--	--

Arroz-Soja	Arroz	Rg	Soja	Ta
------------	-------	----	------	----

Arroz-Continuo	Arroz	Ta
----------------	-------	----

* P-V: Primavera-Verano; O-I: Otoño-Invierno; Rg: Raigrás; Ta; Trébol alejandrino

Figura 2 - Esquema de rotaciones evaluadas.

de energía y nitrógeno, huella de carbono escalada por productividad, ingresos, costos y margen bruto. Algo novedoso de esta investigación fue que además de la evaluación independiente de estos indicadores, se generó un índice integrador que permitió hacer un análisis holístico de las rotaciones. Este índice multicriterio, tomó valores entre 0-1 y, cuanto más cerca de 1, significó mejor desempeño. Luego, se evaluó la estabilidad de este índice como representación de la estabilidad de la sostenibilidad de los sistemas de producción. La estabilidad fue evaluada a través de cuatro parámetros: el rango, el coeficiente de variación, la variación interanual y la pendiente de la evolución del índice multicriterio sobre el promedio de este para cada año, ordenado de menor a mayor (llamado aquí índice ambiental). A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos en estas investigaciones. Quienes estén más interesados en esta temática pueden consultar los artículos originales completos aquí ([Artículo 1](#) y [Artículo 2](#)) o una versión resumida en la próxima Serie Técnica de Arroz.

PRINCIPALES RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El rendimiento de arroz promedio fue de 9400 kg/ha. Los cultivos de arroz que fueron antecidos por una pastura (Arroz-Pastura_1) o por soja fueron los que lograron los mayores rendimientos (9800 kg/ha) (Figura 3). El segundo arroz de la rotación arroz-pastura tuvo un rendimiento 12 % inferior al primer arroz de la misma rotación. El arroz del sistema arroz-continuo obtuvo un rendimiento inferior a las mejores situaciones, pero un 6 % superior que el segundo arroz de arroz-pastura.

En términos de evolución de COS, el sistema arroz-pastura logró capturar 0,6 Mg/ha/año mientras que los sistemas intensificados lograron mantener los contenidos de COS iniciales en el mediano plazo. Todos los sistemas lograron mantener el nitrógeno total del suelo para el mismo período.

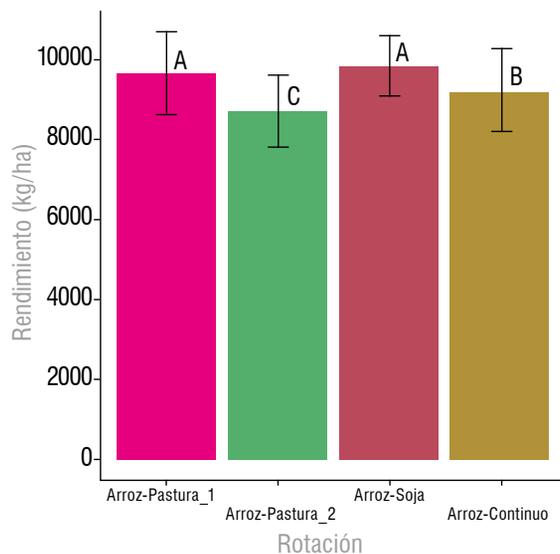


Figura 3 - Rendimiento de arroz (13 % humedad) bajo distintas rotaciones. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$).

El desempeño individual de cada indicador ha sido presentado y discutido en otras instancias y puede consultarse en Macedo *et al.* (2022a, 2022b) así como también en Puig y Taran (2020) o en los siguientes enlaces correspondientes a la tradicional jornada Arroz de INIA Treinta y Tres ([Jornada Arroz 2020](#) y [Jornada Arroz 2022](#)). En este artículo preferimos enfocarnos en los resultados relacionados a la integración de esos indicadores y su estabilidad, así como también a los indicadores económicos.

Los sistemas intensificados mostraron un incremento en los ingresos y los costos en comparación al sistema arroz-pastura (Figura 4).

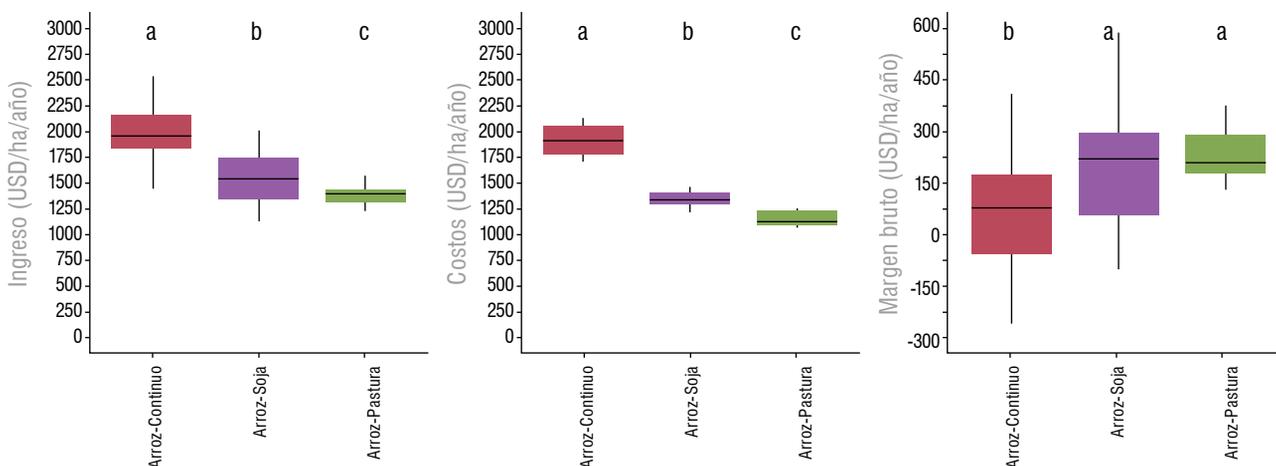


Figura 4 - Ingreso, costos y margen bruto (USD/ha/año). Letras distintas indican diferencias entre rotaciones ($p < 0,05$).

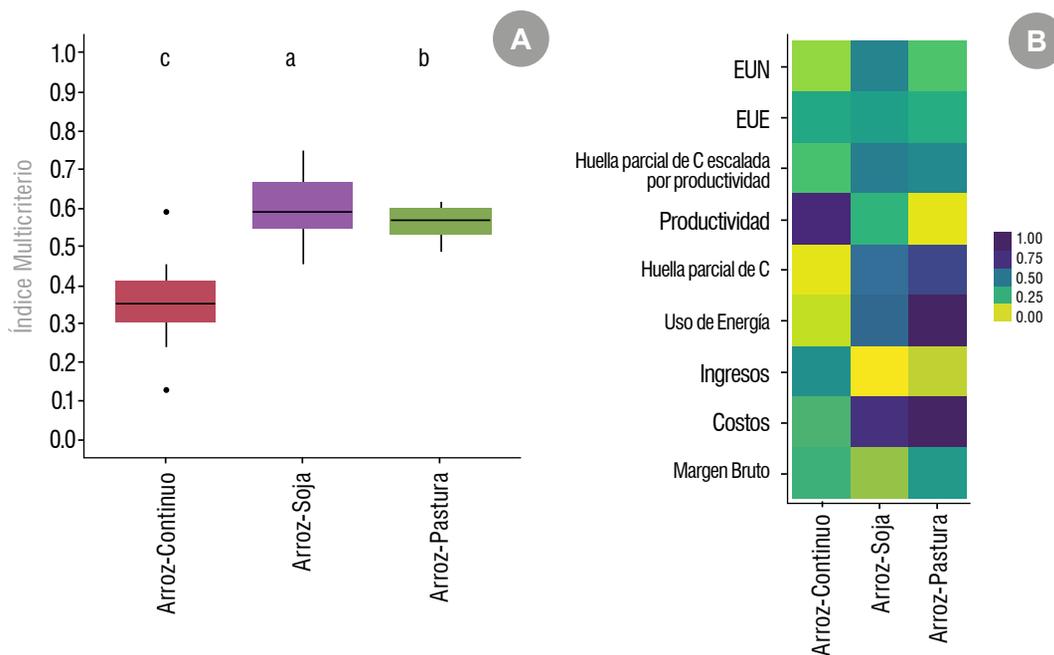


Figura 5 - Índice multicriterio (0-1) (A) y mapa de calor de los indicadores normalizados incluidos en el índice multicriterio (0-1) (cuanto más cercano a 1, mejor) (B). Letras diferentes indican diferencias entre las rotaciones ($p < 0,05$).



Figura 6 - Día de campo en el Experimento de Largo Plazo, Paso de la Laguna (Treinta y Tres, Uruguay).

Los ingresos aumentaron 11 y 44 %, y los costos aumentaron 16 y 42 % para arroz-soja y arroz-continuo, respectivamente en comparación a arroz-pasturas. Como resultado, el margen bruto fue similar en arroz-soja y arroz-pastura, pero con menor variación en el sistema de arroz-pastura.

El índice multicriterio fue mayor en el sistema arroz-soja, un 7 % mayor que arroz-pasturas (0,56). El sistema arroz-continuo obtuvo el menor desempeño (0,35), 38 % y 42 % menor que arroz-pasturas y arroz-soja, respectivamente (Figura 5 A). La Figura 5B muestra el desempeño de cada indicador para las distintas rotaciones evaluadas.

El margen bruto fue similar en arroz-soja y arroz-pastura, pero con menor variación en el sistema de arroz-pastura.

Cuadro 1 - Parámetros de estabilidad del índice multicriterio y respectivo ranking para tres rotaciones.

Rotación	Parámetros de estabilidad del índice multicriterio				Ranking
	Rango	CV (%)	Varianza Temporal	Pendiente	
Arroz Continuo	0,46 (3)	27,50 (3)	0,12 (3)	1,33 a (3)	3
Arroz-Soja	0,29 (2)	13,45 (2)	0,10 (2)	1,28 a (2)	2
Arroz-Pastura	0,13 (1)	6,99 (1)	0,03 (1)	0,39 b (1)	1

Respecto a la estabilidad del índice multicriterio o “estabilidad de la sostenibilidad”, para los cuatro parámetros evaluados, el sistema de arroz-pasturas registró el mejor desempeño (menor rango, menor CV, menor varianza temporal y menor pendiente), seguido por arroz-soja y arroz-continuo (Cuadro 1).

MENSAJES FINALES

Es importante evaluar los agroecosistemas en múltiples dimensiones, algunos pueden generar altos ingresos, pero son muy dependientes de insumos externos y, por lo tanto, de los costos. La sustitución de pasturas por cultivos aumentó los costos, los ingresos y la variabilidad del margen.

Se encontró que los sistemas intensificados que sustituyeron las pasturas perennes fueron capaces de sostener el COS, mientras que el sistema arroz-pastura mostró oportunidad de captura de COS.

La intensificación con soja mejoró el rendimiento del cultivo de arroz. Se hicieron explícitas las limitantes de la siembra de arroz sobre rastrojos del mismo cultivo, que representan históricamente entre el 35-50 % del área sembrada en Uruguay. Estas situaciones registraron una disminución de 12 % del rendimiento en comparación al arroz del primer año.

La intensificación de la rotación arroz-pasturas redujo la estabilidad de la sostenibilidad, haciendo estos sistemas más vulnerables frente a condiciones externas e impredecibles.

La intensificación de la rotación arroz-pasturas hace a estos sistemas más vulnerables frente a condiciones externas e impredecibles.

Se confirman múltiples beneficios de la integración de arroz y pasturas por lo que surge la necesidad de preservar estos sistemas en la región y rediseñarlos manteniendo ambos componentes. Sin embargo, debido a la dinámica de mercados, contratos, la relación propietario de tierra-arrendatario y la extensa diversidad de tipos de rotaciones, es necesario profundizar la investigación para poder entender mejor el desempeño productivo-económico-ambiental de diferentes escenarios de intensificación para conservar y potenciar sus ventajas comparativas y servicios ecosistémicos.

BIBLIOGRAFÍA

Puig, F., Tarán, J. 2020. Análisis económico de rotaciones arroceras contrastantes. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Empresa.

Jornada Arroz 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=xB2zYt27sSs&t=9s>

Jornada Arroz 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=2mYU5e2E0HE&list=PLf9-Olq8VjYOE7ZdnqvAMPdL6KHRT72mN&index=6>

Macedo, I., Roel, A., Ayala, W., Pravia, M.V., Terra, J.A., Pittelkow, C.M., 2022a. Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America. *Agronomy Journal* 114, 961–975. <https://doi.org/10.1002/agj2.20964>

Macedo, I., Roel, A., Velazco, J.I., Bordagorri, A., Terra, J.A., Pittelkow, C.M., 2022b. Intensification of rice-pasture rotations with annual crops reduces the stability of sustainability across productivity, economic, and environmental indicators. *Agricultural Systems* 202, 103488. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103488>

El sistema arroz-pastura mostró la mayor estabilidad de la sostenibilidad.