

LA INTENSIFICACIÓN DEL AGROECOSISTEMA ARROZ PASTURA AFECTA LA EFICIENCIA DE USO DE LA ENERGÍA

I. Macedo¹, J. A. Terra², G. Siri-Prieto³, J. I. Velazco⁴, L. Carrasco-Letelier⁵

PALABRAS CLAVE: huella ambiental, pasturas perennes, rotación de cultivos

INTRODUCCIÓN

El aumento sostenible de la producción de arroz implica el rediseño de los sistemas agrícolas para mitigar los impactos ambientales, aumentar la eficiencia productiva y mantener los servicios ecosistémicos. La intensificación ecológica en el cultivo de arroz está asociada a compartir o alternar el uso de la tierra con otras actividades como en los sistemas arroz-soja usados en Estados Unidos y Brasil o los sistemas de rotación arroz-ganadería desarrollados en la eco-región de pastizales templados de América del Sur. Alternativas de intensificación ecológica que aumentan la eficiencia energética incrementarían el consumo global de energía (paradoja de Jevons). En este sentido, no todas las formas de intensificación agrícola tendrán consecuencias ambientales tolerables.

Por lo tanto, para diferenciar las opciones de intensificación disponibles por su sostenibilidad ambiental es necesario evaluar mejor cuál es su eficiencia energética. En este sentido se deberían considerar en forma conjunta el rendimiento energético y el rendimiento agrícola. Es decir, los insumos energéticos (EI) y el equivalente energético producido (EP) que queda incorporado en la biomasa cosechada. La razón entre EP y EI corresponde a la rentabilidad energética de la energía invertida (EROI). Un índice que se ha estudiado internacionalmente en cultivos

aislados, pero no para evaluar prácticas de manejo, la inclusión de leguminosas para reducir el uso de nitrógeno o sistemas de manejo para reducir el uso de pesticidas. A esto se suma que los agroecosistemas de rotación arroz-pastura son raros a nivel mundial, excepto en algunas zonas del cono sur.

Existe interés en intensificar o diversificar los sistemas arroz-ganadería, mediante la incorporación de pasturas más cortas y de mayor productividad y, eventualmente, de otros cultivos a la rotación. Es necesario analizar la sostenibilidad relativa de las diferentes alternativas de rotación para optimizar su productividad, la eficiencia en el uso de los recursos y mitigar sus potenciales impactos ambientales. Este trabajo es un resumen del artículo científico de Macedo *et al.* (2021) que evaluó el EROI de algunas rotaciones arroceras del experimento de largo plazo de INIA Treinta y Tres (LTE-RC) con el propósito de jerarquizarlas e identificar las etapas que deberían ser optimizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la información de la base de datos del LTE-RC, en particular de las rotaciones: arroz con pasturas largas (R-P_L), arroz con pasturas cortas (R-P_S), arroz alternado con cultivos de soja (R-S) y arroz continuo (R_C) (Cuadro 1) ya descritas anteriormente en esta misma publicación.

El alcance del desempeño energético evaluado siguió un enfoque de evaluación del

¹ Ing. Agr. MSc. INIA-UC Davis. Estudiante Doctorado

² Ing. Agr. Ph.D. INIA. Director Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz

³ Ing. Agr. Ph.D. Universidad de la República, Facultad de Agronomía Estación Experimental Mario Cassinoni (EEMAC)

⁴ Ing. Agr. Ph.D. Programa Nacional de Investigación en Carne y Lana. INIA

⁵ B.Q. Dr. Programa Nacional de Investigación en Sustentabilidad Ambiental. INIA

ciclo de vida, con un inventario de ciclo de vida (LCI) que incluyó las entradas y salidas desde la cuna hasta la puerta del predio. Se consideraron las energías involucradas en el transporte de los insumos, productos, maquinarias y combustibles. El trabajo manual, la radiación solar y la fijación biológica de nitrógeno no fueron consideradas. Los resultados de la EP y la EI de cada rotación se expresaron en MJ/ha/año. El EROI se expresó como MJ/MJ. El LCI consideró todas las entradas y salidas de las etapas de siembra,

post-siembra (fertilización aplicación de plaguicidas) y operaciones de cosecha.

Toda la información usada en el LCI fue tomada de los registros del LTE-RC, la Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios y entrevistas a empresas que realizan operaciones específicas (por ejemplo, fertilizaciones aéreas). La energía producida se expresó en MJ/ha considerando el rendimiento de grano de arroz, el cultivo de soja y la producción estimada de carne en las rotaciones.

Cuadro 1. Rotaciones de cultivos arroceros. PV: primavera-verano, OI: otoño-invierno (Macedo *et al.* 2018, Macedo *et al.* 2021).

Rotación	Año										
	1		2		3		4		5		
	PV	OI	PV	OI	PV	OI	PV	OI	PV	OI	
Rc	Arroz	cc									
R_Ps	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura							
R_PL	Arroz	cc	Arroz	Pastura							
R-S	Arroz	cc	Soja	cc							

cc= cultivo de cobertura

Cuadro 2. Fertilización (N-P-K) usada en cada fase de rotación (Macedo 2018, Macedo *et al.* 2021).

Rotación	Fase	kg/ha		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rc	Arroz	166	75	51
R-S	Arroz	79	61	63
	Soja	5	91	45
R_Ps	Arroz	99	15	72
	Pastura	23	45	22
R_PL	Arroz 1	79	15	31
	Arroz 2	83	15	44
	Pastura	23	137	23

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El cultivo de arroz en rotación con soja y el primer cultivo de arroz de R-PL registraron la mayor EP, mientras que los arroces sembrados en rastrojos (el segundo arroz de R-PL y Rc) mostraron los valores inferiores. En términos de EI, se observó que el cultivo de arroz en Rc presentó un 25% más de EI que el resto de los cultivos de arroz en rotación. Los cultivos de arroz registraron valores aproximados de EROI de 7 MJ/MJ, a

excepción de Rc que registró un valor de 5,7 MJ/MJ (Figura 1). La EROI de las fases con pastura, cuando se consideró la producción animal, fueron las más bajas entre todas las fases; en cambio, cuando no se tomó en cuenta la producción animal y se contabilizó solo la producción de forraje, los valores obtenidos fueron los mayores.

Los mayores consumos de energía fueron dados por el consumo de fertilizantes nitrogenados y los sistemas de riego, en particular en el arroz continuo (Figura 2).

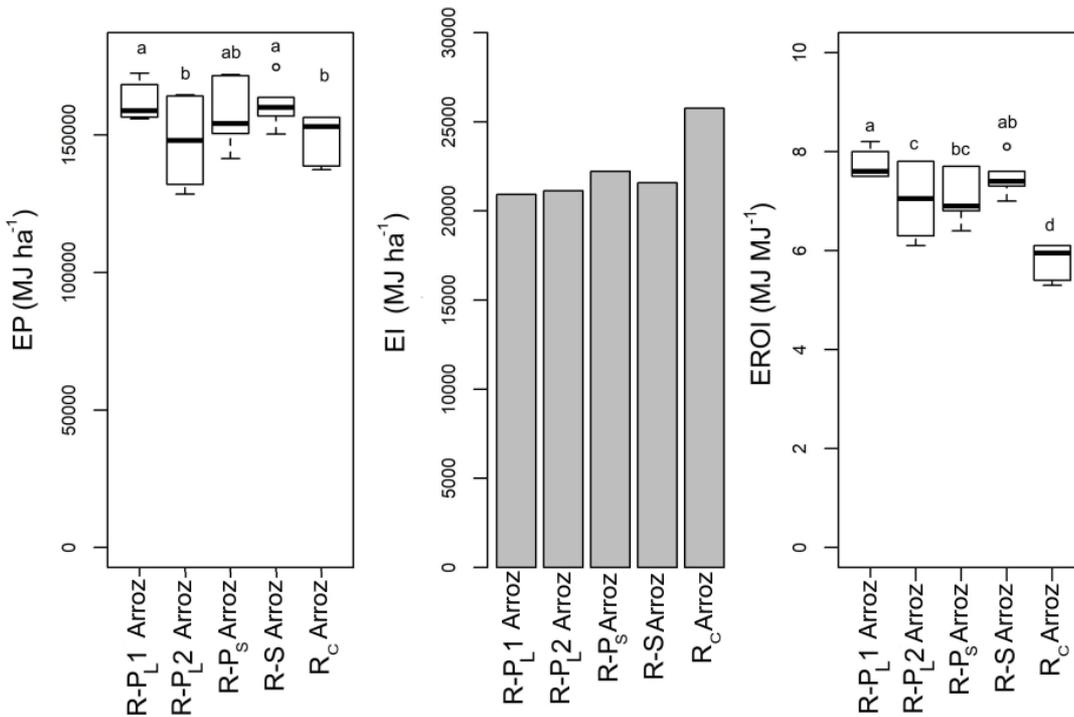


Figura 1. Información energética para el cultivo de arroz en diferentes sistemas de rotación: arroz continuo (R_C); arroz-soja (R-S); arroz y pastura corta (R-P_S), del 1er arroz y el 2do arroz de la rotación con pasturas largas (R-P_L). EI: energía consumida; EP: energía producida y EROI: retorno energético de la energía invertida (Macedo 2018, Macedo *et al.* 2021).

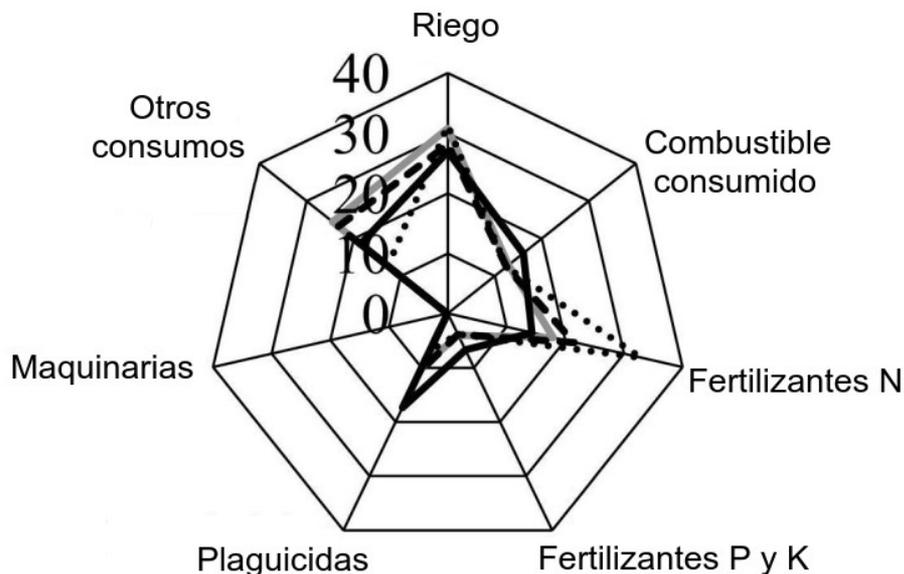


Figura 2. Distribución porcentual de la energía consumida en 4 rotaciones de cultivo arroceras: arroz continuo (R_C , puntos negros); arroz-soja ($R-S$, línea negra); arroz y pastura corta ($R-P_s$, segmentos negros), 1er arroz y 2do arroz de la rotación con pasturas largas ($R-P_l$, línea gris) (Macedo 2018, Macedo *et al.* 2021).

CONCLUSIONES

Existen alternativas de intensificación para los sistemas de producción de arroz que mejoran la eficiencia energética en comparación con rotaciones de pasturas largas. La rotación arroz-soja elevó el EROI en comparación con la rotación de arroz con pastura larga, cuando la producción animal fue contabilizada. En cualquier caso, la rotación arroz-pastura consumió menos energía, lo que la hace más sostenible. Además, los cultivos de arroz que rotaron con soja o pasturas requirieron menos consumos de energía invertida y lograron una mejor eficiencia en el uso de energía que el sistema arroz continuo.

BIBLIOGRAFÍA

- Macedo, I. 2018. Calidad de suelos y eficiencia de uso de energía en rotaciones arroceras contrastantes. Tesis de Magíster en Ciencias Agrarias, UdelaR, Uruguay.
- Macedo, I.; Terra, A.J.; Siri-Prieto, G.; Velazco, J.I.; Carrasco-Letelier, L. 2021. Rice-pasture agroecosystem intensification affects energy use efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 278, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123771>