



Foto: Matías Oxley

# SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ARROCEROS

Ing. Agr. PhD Alvaro Roel<sup>1</sup>, Ing. Agr. PhD Ignacio Macedo<sup>1</sup>, Ing. Agr. PhD Jesús Castillo<sup>1</sup>, Ing. Agr. Dr. Sebastián Martínez<sup>1</sup>, BQ. PhD Leonidas Carrasco<sup>1</sup>, Ing. Agr. PhD Walter Ayala<sup>1</sup>, Ing. Agr. PhD José Terra<sup>1</sup>, Dra. Q. F. Ana Fernández<sup>2</sup>, Dra. Q. F. Lucía Ferrando<sup>2</sup>, Ing. Agr. Dra. Pilar Irisarri<sup>3</sup>, Dr. Andrés Pérez-Parada<sup>4</sup>, Ing. Agr. PhD Guillermina Cantou<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Sistema Arroz Ganadería - INIA

<sup>2</sup>Facultad de Química - Udelar

<sup>3</sup>Facultad de Agronomía - Udelar

<sup>4</sup>CURE - Udelar

El artículo sintetiza los principales mensajes vertidos por investigadores de diversas instituciones en una jornada de divulgación de resultados de varios proyectos de investigación interinstitucionales sobre la sostenibilidad de los sistemas de producción de arroz en Uruguay.

## CONTEXTO DE LA JORNADA

El pasado 9 de junio se realizó en INIA Treinta y Tres una jornada sobre la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción arroceros basada en información científica generada en la última década. Se presentaron resultados de varios proyectos de investigación interinstitucionales basados en una plataforma agroambiental de largo plazo, algunos ensayos analíticos puntuales y bases de datos sectoriales. La actividad fue concebida en el marco

de una agricultura moderna, generadora de alimentos inocuos, atendiendo sus eventuales externalidades, pero también capitalizando sus bondades y atributos diferenciadores.

El abordaje del impacto ambiental de los agroecosistemas es relevante en la agenda de las políticas públicas, sectoriales y de investigación. Consumidores y sociedad demandan información sobre los impactos sobre los recursos naturales, el medio ambiente y la inocuidad alimentaria, entre otros.

Información generada en el marco de los Proyectos ANII-Innovagro: FSA\_PP\_2018\_1\_148336: Evaluación de la sostenibilidad ambiental de sistemas de producción arroceros de intensidad variable. / FSA\_PI\_2018\_1\_148442: Eficiencia del uso del agua y nutrientes en rotaciones arroceras bajo irrigación. / FSA\_PI\_2018\_1\_148579: Ciclo del C y emisiones GEI en sistemas de producción de arroz. / FSA\_PI\_2018\_1\_148630: Evaluación del impacto ecotoxicológico de los fitosanitarios utilizados en rotaciones arroceras contrastantes. Proyecto INIA: AZ\_44: Salud de suelos en rotaciones arroceras.



**Figura 1** - Determinación y muestreo de suelo, agua y emisión de gases.

INIA ha incorporado crecientemente estos temas a su agenda de investigación en las últimas décadas, destacándose algunos hitos:

- a) La creación de un programa de investigación en 2006 para atender la sostenibilidad ambiental y conservación de los recursos naturales, transversal a todos los sistemas de producción;
- b) El desarrollo de una plataforma experimental de largo plazo, desde 2012, para evaluar la sostenibilidad productiva, económica y ambiental de diferentes sistemas de producción de arroz con pasturas y cultivos;
- c) El desarrollo y fortalecimiento de esa plataforma a través de capacidades, infraestructura y equipamiento como soporte de generación de información científica;
- d) El desarrollo y formación de personal especializado a nivel técnico, de grado y posgrado;
- e) El fortalecimiento de proyectos con abordajes interinstitucionales e interdisciplinarios a través de fuentes de financiamiento nacional (INIA, FPTA, ANII) e internacional.

Esto permite evaluar sistemáticamente a largo plazo eventuales impactos ambientales y productivos acumulados, entender/modelar procesos y realizar recomendaciones de diseño y manejo de agroecosistemas a diferentes escalas espaciales (parcela, chacra, sistema y cuenca); en este caso la Cuenca de la Laguna Merín.

## MENSAJES CENTRALES

### Trayectorias productivas (José Terra, INIA)

El rendimiento del cultivo de arroz en Uruguay creció sostenidamente desde 1970, aproximándose al

potencial alcanzable de 11,5 t/ha. La agro-eficiencia de sistemas arroz-pasturas y eventualmente arroz-soja-pasturas es mayor respecto a arroz continuo (inexistente en Uruguay). Futuras mejoras de agro-eficiencia en sistemas integrados deberían darse por la ganadería y cultivos asociados que tienen mayores brechas explorables. La inclusión de la soja en rotaciones arroceras implica desafíos en el diseño del sistema y su manejo para capitalizar las sinergias y mitigar posibles externalidades.

### Eficiencia de uso y balance de nutrientes (Jesús Castillo, INIA)

La rotación arroz-pasturas optimiza alta productividad con menor agregado de nutrientes comparado con situaciones agrícolas puras, tanto arroz continuo como arroz-soja sin pasturas perennes. En sistemas arroz-pasturas esto implica mayor eficiencia de uso de los macronutrientes N-P-K (nitrógeno, fósforo, potasio), con menores externalidades ambientales, sosteniendo la concentración de estos nutrientes en el suelo. En las rotaciones agrícolas sin pasturas, especialmente arroz continuo, los resultados productivos estuvieron asociados a desbalances y menor eficiencia de uso de nutrientes, especialmente N debido a pérdidas, por tanto, un mayor impacto ambiental.

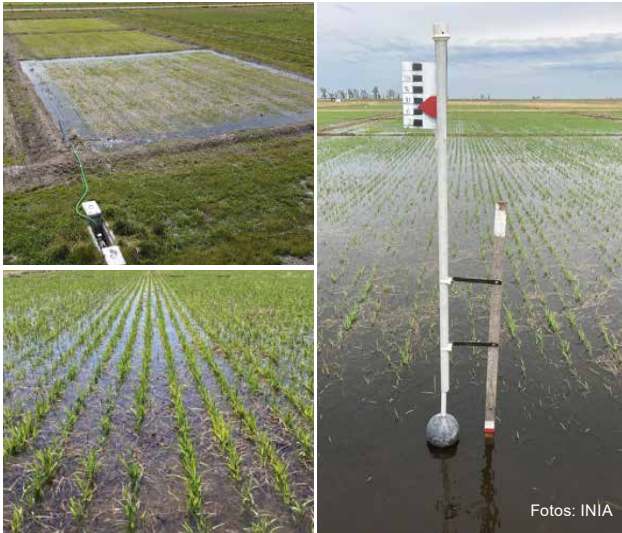
### Balance hídrico y eficiencia del uso del agua (Álvaro Roel, INIA)

La cuantificación del balance hídrico y la concentración de nutrientes, sedimentos y agroquímicos en el agua de escurrimiento de los sistemas arroceros, no solo en la fase inundada del cultivo de arroz, sino también a lo largo del año en todos los componentes de los sistemas, permitirá mejorar la estimación del balance de nutrientes, mejorar la precisión en la cuantificación de las externalidades ante diferentes escenarios e implementar medidas de manejo correctivas de ser necesario.

### Pérdida de nutrientes en agua de escurrimiento (Guillermina Cantou, CURE-Udelar)

Se estimaron las pérdidas de N y P en el agua de escurrimiento superficial durante la etapa de arroz inundado.

La inclusión de la soja en rotaciones arroceras implica desafíos en el diseño del sistema y su manejo para capitalizar las sinergias y mitigar posibles externalidades.



**Figura 2** - Comienzo del riego/inundación en el cultivo de arroz.

Se observaron diferencias entre sistemas de arroz continuo y de arroz-pasturas, atribuidas a la intensidad de uso del suelo y la fertilización. El inicio del período de riego y el drenaje previo a la cosecha, fueron los momentos de mayor riesgo de pérdidas. Si bien los resultados indican balances (entradas-salidas en agua) neutros a levemente positivos de N y P y valores moderados de exportación de nutrientes en el período, se deben evitar salidas de agua que impliquen aportes puntuales de nutrientes en cantidades potencialmente perjudiciales para los ecosistemas acuáticos.

### **Fauna edáfica (Sebastián Martínez, INIA)**

Se encontró que grupos de artrópodos predadores, como algunos coleópteros y arañas, pueden ser utilizados como indicadores de diferentes rotaciones arroceras, con diferencias significativas entre los sistemas más intensos y aquellos con pasturas de dos o más años. Además, los oligoquetos (lombrices), en cantidad de individuos y peso fresco, tienen alta correlación con la intensidad agrícola, siendo ambos menores en secuencias con soja y/o con sucesivos períodos de inundación (arroz continuo). Se deben profundizar estudios sobre estos indicadores promisorios.

### **Diversidad microbiana en arrozales (Lucía Ferrando, FQ-Udelar)**

El ecosistema arrocerero presenta una gran diversidad de microorganismos y capacidades metabólicas, tanto en el suelo y la lámina de agua, como asociados a la planta de arroz (endófitos y rizosféricos). Las comunidades microbianas de suelo y asociadas a las raíces de arroz son diferentes siendo la inundación, el cultivar y la rotación los principales factores que las afectan.

Además, la intensidad agrícola tuvo impacto en dos poblaciones de microorganismos clave para la sustentabilidad de estos sistemas productivos: los fijadores de nitrógeno y los consumidores de metano.

### **Secuestro de Carbono (Ignacio Macedo, INIA)**

La generación de biomasa radicular es uno de los factores más correlacionados al cambio del carbono orgánico en rotaciones arroceras. El sistema arroz-pasturas mostró las mayores tasas de secuestro de C (600 kg/ha/año) durante los primeros ocho años del experimento, mientras que los otros sistemas lograron mantener los niveles de C. No obstante, los sistemas que incorporaron soja mostraron tendencia a perder C en las fracciones más lábiles.

### **Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Pilar Irisarri, FAGRO-Udelar)**

El metano es el GEI más relevante en el sistema (97 %), su máxima emisión en el cultivo de arroz ocurre en la etapa reproductiva, 60-70 días después de inundar. El manejo del agua de riego alternando períodos de suelos húmedo y seco logra mitigar su emisión, aunque tiene el riesgo de reducir el rendimiento del cultivo. No se detectaron diferencias entre las emisiones de GEI entre arroz continuo y arroz-pasturas. Considerando los distintos sistemas, el aumento de la frecuencia de arroz en la rotación es el causante de mayor emisión de GEI.

### **Riesgo de impacto por pesticidas (L. Carrasco-Letelier, INIA)**

El impacto de los pesticidas en el ecosistema (suelo-agua), evaluado por la huella ecotoxicológica, indica que las rotaciones con pasturas poseen un impacto significativamente menor que las rotaciones de arroz-soja y arroz continuo. Además, el grano de arroz pulido no superó los límites permitidos de pesticidas en ninguna de las rotaciones evaluadas, a 10 años de iniciado el experimento de largo plazo.

### **Dinámica de pesticidas en agua y suelo (Andrés Pérez-Parada, CURE)**

Desde su aplicación, los residuos de plaguicidas decaen exponencialmente.

La intensidad agrícola tiene impacto en dos poblaciones de microorganismos clave para la sustentabilidad de estos sistemas productivos: los fijadores de nitrógeno y los consumidores de metano.



Fotos: INIA

**Figura 3** - Ensayos de respuesta a la fertilización y mineralización de N del suelo.

Sin embargo, la velocidad de caída depende del plaguicida. Se puede minimizar la exportación de residuos comprendiendo las dinámicas involucradas: Aplicación → Decaimiento → Exportación. El período de inundación del arroz enlentece el decaimiento de algunos plaguicidas. Por otra parte, al inicio de la inundación se dan las mayores concentraciones de plaguicidas en agua y por tanto el mayor riesgo de exportación. Además, se debe considerar a los metabolitos de los plaguicidas como parte de la huella del sistema. Algunos residuos han mostrado decaimientos con cinéticas interanuales, por ejemplo, el AMPA (metabolito de glifosato), el cual puede considerarse un indicador de intensidad interanual de las rotaciones.

### Uso de múltiples indicadores (Álvaro Roel, INIA)

La trayectoria del sector en el período 1993-2013 logró una intensificación sostenible, resultado del aumento significativo del rendimiento con un desempeño ambiental satisfactorio. Los predios con mayor productividad también mostraron mejor desempeño ambiental promedio que el conjunto de productores. Sin embargo, algunos paquetes tecnológicos que permiten aumentar el techo de rendimiento del cultivo no siempre logran mejorar el desempeño ambiental, particularmente cuando están asociados a tecnologías de insumos más que de procesos.

### Análisis integrado de sostenibilidad (Ignacio Macedo, INIA)

Los ingresos de los sistemas más intensos son mayores (arroz continuo > arroz soja > arroz pastura)

pero también lo son sus costos asociados, no necesariamente relacionado a un mejor resultado económico. Si bien la rotación arroz-soja en un índice multicriterio que integra indicadores de productividad, agro-eficiencia, ambientales y económicos obtiene los mayores valores; el sistema arroz-pasturas sigue siendo el más estable ante condiciones económicas variables (precio-costos).

## MESA REDONDA CON EXPERTOS

### Dr. Oswaldo Ernst (Fagro-Udelar)

La agricultura actual no termina en la chacra ni en el grano, además de la producción de alimentos y fibras deben atenderse sus externalidades. Los agrónomos tienen el desafío de gestionar los agroecosistemas ya que se forman para diseñarlos, manejarlos y entender su funcionamiento. En definitiva, son profesionales con libreta habilitada para la tarea.

Si una fábrica requiere una evaluación de impacto ambiental, es obvio que se lo pida también a las actividades agropecuarias que ocupan 17 millones de hectáreas, que tienen externalidades tales como las emisiones GEI, la erosión o el enriquecimiento de cursos de agua con nutrientes como potenciales contaminantes.

En la jornada se hizo un gran esfuerzo por entender los procesos e interacciones producción-ambiente en los sistemas arroceros. El abordaje multidisciplinario es la forma más efectiva de abordar, analizar, desarmar este problema, entenderlo y documentarlo. Si hay información robusta de los procesos, estos se pueden gestionar para minimizar las externalidades.

A. Böerger en 1917 decía que el “efecto rotación es mayor que el efecto abono”. Sustituir pasturas, que con sus raíces contribuyen a mejorar la calidad del suelo y añadir C orgánico en el perfil, implica pensar en cultivos de servicios que cumplan ese rol, considerando que la soja no aportaría en ese sentido en rotaciones arroceras.

En definitiva, la agricultura para ser sostenible debe considerar los nueve factores clave de la intensificación

El abordaje multidisciplinario es la forma más efectiva de entender los procesos e interacciones producción-ambiente en los sistemas arroceros.



Foto: INIA

**Figura 4** - Jornada de transferencia sobre sistemas arroz - ganadería en la regional INIA Treinta y Tres.

ecológica a similar nivel de importancia: 1) productividad; 2) máxima eficiencia; 3) emisiones GEI; 4) impactos en el sitio (RRNN); 5) impactos fuera del sitio o externalidades; 6) control del riesgo; 7) estabilidad del sistema y 9) bienestar social.

**Dr. Achim Dobermann  
(International Fertilizer Association)**

Los experimentos de largo plazo deben gestionarse como laboratorios a cielo abierto. También deben revisarse cada pocos años y con sentido común, analizar sus resultados y vigencia, realizar pequeños ajustes de manejo y, si es necesario, rediseñarlos para mantenerlos actualizados y cumpliendo sus propósitos fundamentales. La productividad sobre ellos debe ser igual o mayor a los predios de punta para que el alcance de los resultados sean relevantes y aplicables.

Es clave comunicar sus resultados de formas más simples y efectivas respecto a un artículo científico, tanto a los productores como a la sociedad y también a los representantes políticos del país para facilitar su comprensión y adopción. Para esta tarea, más que científicos, se requieran expertos en diseño creativo y artes para interactuar, desafiar y despertar el interés del público objetivo.

En este sentido, hoy es necesario mirar la fertilización, no solo desde el punto de vista de la nutrición vegetal, sino también desde el punto de vista de la nutrición animal y humana. Algunos nutrientes que quizás no sean tan relevantes para los cultivos pueden serlo para animales y humanos.

Los experimentos de largo plazo deben readecuarse y gestionarse como laboratorios a cielo abierto.

Actualmente tiene gran relevancia conocer cuántos alimentos necesita producir un país para su población o para cumplir los objetivos de exportación u otro. ¿Cuántos nutrientes se necesitan de una forma u otra en los diferentes productos agrícolas? ¿De dónde vienen? Conocer las fuentes existentes en el país, importaciones de fertilizantes, etc. y cuánto de estas necesidades de nutrientes se pueden producir en los diferentes sistemas de cultivo y regiones del país.

Actualmente se están abriendo nuevas dimensiones y oportunidades para producir nitrógeno verde mediante energía renovable e incluso pequeñas plantas para fabricar amoníaco donde sea necesario, en lugar de importarlo o sintetizarlo en grandes plantas centralizadas con energía fósil. Es probable que globalmente en 2050-2080 el 90 % de los fertilizantes nitrogenados serán producidos a partir de fuentes de energía renovables en lugar de combustibles fósiles, cambiando completamente la estructura y competitividad de las áreas agrícolas.



Foto: INIA

**Figura 5** - Cosecha de arroz en el experimento.