

10. Manejo del agua en arroz: conservación y uso eficiente

G. Cantou, Á. Roel, A. Lavecchia y C. García

Guillermina Cantou: INIA Treinta y Tres, Uruguay.

Contacto: gcantou@inia.org.uy

Álvaro Roel: INIA Tacuarembó, Uruguay

Contacto: aroel@inia.org.uy

Andrés Lavecchia: INIA Tacuarembó, Uruguay.

Contacto: alavec@inia.org.uy

Claudio García: INIA Las Brujas, Uruguay

Contacto: cgarcia@inia.org.uy

10.1. Introducción

El agua es un recurso que se vuelve cada vez más escaso en el mundo, debido a la disminución de su disponibilidad y calidad (por contaminación, eutrofización y salinización) y a la creciente competencia que ejercen al sector agropecuario otros sectores como el urbano e industrial. Ante este escenario, el uso eficiente del agua de lluvia y la optimización de su productividad se presentan como cuestiones prioritarias.

El cultivo de arroz en Uruguay se basa en general en un sistema de producción en rotaciones con pasturas e integrado con la producción ganadera, que permite considerarlo de baja intensidad e impacto ambiental. Estas características lo distinguen internacionalmente y le confieren la posibilidad de aprovechar estas ventajas comparativas y diferenciarse dentro de la región, pudiendo fortalecer simultáneamente la preservación de los recursos naturales. En los últimos 10 años, el cultivo ha ocupado un área anual promedio de 168 mil ha (DIEA-MGAP, 2009). El agua es un factor fundamental de la producción de arroz en Uruguay, ya que es de los pocos países en el mundo en donde el cultivo se realiza exclusivamente bajo riego por inundación continua, desde los 20-30 días posteriores a la emergencia hasta completar la madurez fisiológica.

A nivel nacional, el sector agropecuario utiliza -por medio del riego- el 90% de los recursos hídricos disponibles (sin contabilizar la generación de energía eléctrica) y de éste, más del

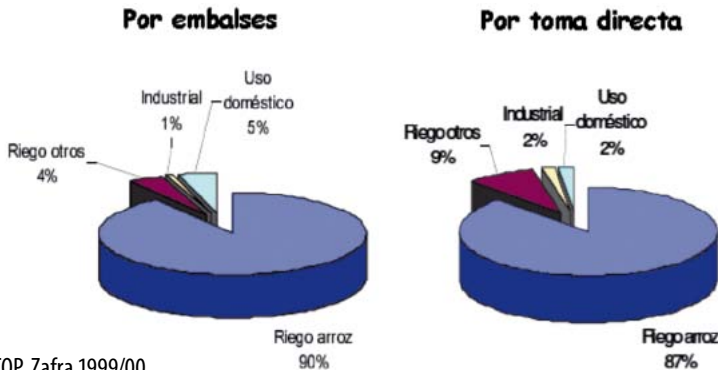
83% corresponde al cultivo de arroz (MVOTMA, 2002). Es por esto que este cultivo se convierte en un objetivo prioritario para las iniciativas de ahorro y conservación del agua. Una reducción del 10% del agua utilizada por el mismo dejaría disponible 200 millones de m³ de agua, que podría ser usada por otros cultivos o sectores o incluso, para aumentar el área del propio cultivo. Hoy en día, el recurso agua está determinando la capacidad de crecimiento del sector arrocerero.

El Programa Arroz de INIA atribuye, dentro de sus planes de investigación, una significativa importancia a la relación entre la productividad y el uso de los recursos naturales. En este sentido, se viene generando información específica que pretende contribuir con la problemática actual de este recurso, destacando la importancia cada vez mayor de estrategias de manejo del agua de riego que contribuyan a su uso racional en el cultivo de arroz, así como estudios que permitan evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre el ambiente, de manera de preservar las buenas y corregir aquellas que tengan un efecto negativo.

10.2. Arroz - Uso del recurso a nivel nacional

En Uruguay, el sector agropecuario es el mayor consumidor de agua y dentro de este, el cultivo de arroz absorbe aproximadamente el 90% del total, ya que el 100% del área se desarrolla bajo riego por inundación, con siembra en seco (Figura 1).

Figura 1: Uso del agua para el total del país según volúmenes embalsados y caudales por toma directa.



Fuente: DNH-MTOP. Zafrá 1999/00

Históricamente el cultivo de arroz se desarrolló en la cuenca de la Laguna Merín., en los suelos planos ubicados en las márgenes de ríos, arroyos o lagunas, contando con importante disponibilidad de agua. A partir de 1990 ocurre una fuerte expansión arrocerá, fundamentalmente, hacia zonas no tradicionales del país (Norte y Centro), incrementándose significativamente la presión sobre los recursos hídricos. Esto fue acompañado por una intensificación en la construcción de embalses, los cuales fueron financiados mayoritariamente por el sector privado. El sector público ha contribuido en algunos proyectos de riego a través, por ejemplo, del Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER, periodo de ejecución 1994-2000), que fomentó el desarrollo

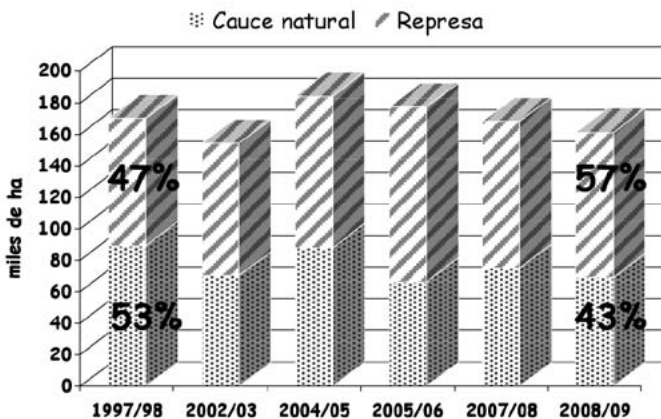
del riego mediante subsidio y créditos a largo plazo, en proyectos orientados a la creación de fuentes de agua con énfasis en el manejo racional del agua y de los suelos (Aquastat-FAO, 2000).

Actualmente, la mayor parte del agua usada proviene de represas (Figura 2), área que representa más del 54% de la superficie sembrada (DIEA-MGAP, 2009).

Énfasis de la investigación

El volumen de agua utilizado por el cultivo de arroz puede alcanzar cifras muy importantes y en general, es altamente variable entre productores. El consumo promedio de agua en el arroz

Figura 2: Superficie regada por zafrá, según fuente de agua disponible.



Fuente: elaboración propia en base a DIEA-MGAP, 2009.

puede estimarse en 12.000 m³/ha, dependiendo de las condiciones climáticas y cantidad de lluvia caída en el período, del tipo de suelo y, fundamentalmente, del manejo del agua que realice el productor.

El Proyecto Riego del Programa Arroz de INIA ha venido trabajando con el objetivo de estudiar como los diferentes manejos del riego afectaban el comportamiento productivo de los materiales genéticos disponibles a nivel comercial. De esta manera se investigó en aspectos como: momento de la inundación, altura de lámina de agua, falta de riego en diferentes etapas fenológicas, retiro de agua para cosecha. Desde los inicios de la Estación Experimental del Este, cuando funcionaba dentro de la órbita del Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (CIAAB), se le dio especial importancia a la necesidad de determinar el consumo de agua del cultivo de arroz. Las primeras mediciones fueron realizadas en la zafra 1979/80 (Cuadro 1), en la Unidad Experimental de Paso de la Laguna (UEPL), ubicada en Treinta y Tres.

Para el período analizado y bajo el manejo de agua realizado se determinó que el aporte promedio por riego era de 5.981 m³/ha, lo que sumado al suministro por agua de lluvia totalizaba 11.679 m³/ha (Blanco, 1989). En este mismo período, también se realizaron mediciones en chacras comerciales en la zona Este del país, mediante la utilización de aforadores volumétricos totalizadores colocados en la entrada de agua de la chacra. Dado que cada productor manejaba el agua de acuerdo a su criterio (es decir, a lo que entendía que era necesario para su cultivo y de acuerdo a las disponibilidades), en estos trabajos se evidenciaban las grandes diferencias en

consumo de agua que existían entre ellos, con un amplio rango de consumos que iban entre 10.000 y 26.000 m³/ha. Los productores ineficientes, desde este punto de vista, gastaban hasta cuatro veces más agua para regar. Estas diferencias en volumen de agua utilizada en el riego, no se vieron reflejadas en el rendimiento de grano, es decir, aquellos productores que 'gastaban' más agua no necesariamente eran aquellos que obtenían los mayores rendimientos, sino que por el contrario generalmente estaba asociado con el mal manejo de la chacra y por lo tanto con bajos rendimientos (Blanco, 1989).

A partir 1995, INIA comenzó a enfocarse en la búsqueda de tecnologías y prácticas de manejo que permitan hacer un uso más eficiente del recurso hídrico, teniendo en cuenta la interacción del riego con los demás factores de manejo (ej.: variedades, fertilización, malezas, tipo de suelo, enfermedades, tipo de siembra, etc.). Se llevaron a cabo actividades para determinar el manejo del riego de los principales cultivos en diferentes ambientes, así como para evaluar y ajustar tecnologías de riego alternativas que permitan realizar un uso más eficiente del recurso.

En este contexto, se priorizó la necesidad de comenzar a contabilizar objetivamente a escala semi-comercial (macroparcelas), los volúmenes de agua consumidos por dos manejos contrastantes de la inundación, luego de varios años de evaluación en ensayos parcelarios (Roel y Blanco, 1997; Roel, 1998; Roel, 1999a) con el objetivo de poder establecer la productividad del agua en cada uno de ellos. A través de estos trabajos se pudo constatar que un período mayor de inundación no necesariamente se traduce en un mayor gasto total de agua (Roel, 1999b). Se

Cuadro 1. Consumo de agua (Blanco, CIAAB 1989).

Año	Baños	Inundación	Reposición	Total riego	Lluvias
1979/80	2305	1309	3725	7419	5943
1980/81	745	1467	4240	6542	3287
1981/82	1450	1685	3943	7033	4829
1983/84	1980	1900	1990	5870	7430
1985/86	1000	1500	3500	6000	4784
1986/87	1510	900	1930	4240	6350
1987/88	-----	1420	3396	4816	7250
Promedio	1284	1465	3232	5981	5698

Cuadro 2. Consumo (m³) y productividad del agua para la variedad INIA Tacuari.

ZAFRA		1996/97	1997/98	1998/99
Inundación temprana (15 DDE)	Baños	---	---	---
	Inund.	1088	755	590
	Mant. inund.	5132	2628	3880
	Total riego	6220	3383	4470
	Lluvias	2838	9230	3929
	Total (m³)	9058	12313	8399
	Rendimiento (kg/ha)	7350	6300	7700
Productividad (kg/m³)	0,81	0,51	0,92	
Inundación tradicional (45 DDE)	Baños	2548	935	1777
	Inund.	744	910	1220
	Mant. inund.	4770	2686	3069
	Total riego	8062	4531	6066
	Lluvias	2838	9230	3929
	Total (m³)	10900	13761	9995
	Rendimiento (kg/ha)	7050	6450	8550
Productividad (kg/m³)	0,65	0,47	0,86	

DDE: Días después de emergencia.

comprobó que en la inundación temprana (realizada 15 días después de la emergencia –DDE-), el volumen de agua requerida fue siempre inferior respecto a la inundación tradicional (45 DDE), utilizándose en promedio un 25% menos de agua (Cuadro 2). El agua utilizada por concepto de baños¹, en el caso del manejo de la inundación tradicional, fue el principal determinante de las diferencias entre los manejos del agua. Su importancia en el total del agua suministrada fue realmente significativa, de entre un 20% y un 32% del total. Esto determina que en la medida que se pueda acortar la etapa de baños, que además es ineficiente desde el punto de vista de los nutrientes y en el control de las malezas, se estaría realizando un uso más eficiente del recurso.

La productividad del agua (definida como la cantidad de granos producidos en relación al volumen de agua utilizada) fue siempre superior en el caso del manejo de la inundación temprana, fundamentalmente debido a los menores consumos de agua registrados con este último manejo y a que no hubo diferencias claras en el rendimiento promedio final de ambos tratamientos.

1 Práctica común en el cultivo de arroz de Uruguay, la cual consiste en regar el cultivo (previo al momento de inundación definitivo), con el objetivo de favorecer la emergencia y/o el desarrollo de la planta de arroz, fundamentalmente cuando el suelo se seca demasiado.

Más recientemente, los trabajos se enfocaron en la determinación del manejo eficiente de la inundación (Cantou et al., 2008 y 2009). Para cuantificar el consumo de agua de los distintos tratamientos de inundación, se dispuso de aforadores (contadores de agua) que permitieron regar cada tratamiento en forma independiente. El criterio de riego utilizado fue el mismo para todos los tratamientos y consistió en mantener una lámina de agua continua de 10 cm de profundidad y dejar de suministrar agua a los 20 días después del haber alcanzado el 50% de floración. Este último criterio fue establecido en base a los resultados obtenidos en ensayos experimentales anteriores, realizados con el objetivo de determinar el efecto del momento de retiro de agua sobre el rendimiento y la calidad industrial del grano de distintas variedades de arroz. Este manejo permite reducir el período de riego y por lo tanto, racionalizar el uso de agua (Segovia, 2007; Molina et al., 2007; Cantou, 2008).

En el Cuadro 3 se presenta el resultado obtenido para la zafra 2008/09. Se resalta el hecho de que se midió el agua que efectivamente entró a la parcela y por lo tanto, no se incluye en el valor las posibles ineficiencias del sistema de riego desde la captación del agua hasta la llegada a la parcela. Tampoco se considera el aporte del agua de lluvia.

Si analizamos los resultados en términos de la productividad del agua, vemos que este valor

Cuadro 3. Efecto del momento de la inundación sobre el rendimiento, el consumo y la productividad del agua para las variedades INIA Olimar y El Paso 144 (Zafra 2008/09).

Inundación (DDE)	Ciclo (días)	Rendimiento (kg/ha)	Consumo de agua (m ³ /ha)	Período de riego (días)	Prod. del agua (kg/m ³)
INIA Olimar					
15	130	12087	7313	87	1.65
30	133	11767	6474	77	1.90
45	143	12193	6520	72	2.01
60	151	12398	7472	60	1.91
Media	139	12111	6945	74	1.86
El Paso 144					
15	139	12606	7794	95	1.62
30	141	12069	7022	83	1.72
45	147	12213	6616	76	1.85
60	147	12664	6801	62	1.86
Media	144	12388	7058	79	1.76

DDE: Días después de emergencia.

estuvo en el entorno de 1.69 kg/m³. Dado que el desempeño productivo entre variedades y momentos de inundación fue similar (no hubieron diferencias significativas), la productividad del agua estuvo asociada, fundamentalmente, al volumen de agua suministrada. La variedad de arroz INIA Olimar presentó una eficiencia 6% superior respecto a El Paso 144, dado por las diferencias en el largo del ciclo (y de las distintas etapas fenológicas). El tratamiento de inundación de 15 DDE produjo 18% y 12% menos de arroz por m³ de agua respecto al resto de los tratamientos, para Olimar y El Paso 144, respectivamente. Es importante resaltar que en esta zafra (2008/09), el clima favoreció a los tratamientos tardíos dado que el aporte por agua de lluvia en los momentos de mayor requerimiento del cultivo fue mayor en estos tratamientos respecto a los tempranos.

Todos los trabajos mencionados anteriormente han contribuido a un cambio significativo en el manejo del riego a nivel de la producción, donde se destaca el adelantamiento del momento del establecimiento de la inundación y la disminución de los baños. A finales del siglo xx tradicionalmente se realizaban en promedio 2 baños y la inundación se realizaba aproximadamente a los 45 días después de la emergencia del cultivo. En la actualidad gran parte del cultivo es inun-

dado antes de los 30 días después de la emergencia con la correspondiente disminución de los baños (Molina et al., 2009).

10.3. El contexto actual y las oportunidades

Estrategias para un uso racional del recurso

En función de los aspectos mencionados anteriormente en relación al agua, resulta cada vez más importante que los productores arroceros adopten estrategias de manejo que contribuyan al uso racional de este recurso. Entre estas estrategias se pueden destacar las siguientes: 1) sistematización de la chacra, 2) construcción de las taipas en forma anticipada, 3) reducción de las pérdidas de agua por infiltraciones laterales (escurrimiento superficial) y percolación, 4) reducción del período de riego, 5) control de la lámina de agua, 6) utilización de variedades de arroz de ciclo más corto, y 7) uso de sistemas de riego intermitente. Ninguna de ellas puede ser aplicada en forma aislada y la correcta combinación de todas ellas es la clave para lograr el uso racional del recurso. El riego intermitente, se basa en reducir los improductivos flujos de salida (pérdidas laterales y percolación) y aumentar

la productividad del agua. En vez de formar una lámina de agua de 10 cm, la altura de la misma se disminuye, manteniendo el suelo saturado o imponiendo un régimen en donde se alternan periodos de suelo húmedo y seco. Sin embargo, la literatura señala que esta tecnología puede resultar en una reducción del rendimiento con las actuales variedades de arroz (Bouman y Tuong, 2001; Tabbal et al., 2002), principalmente, cuando se deja secar el suelo.

El Programa Arroz de INIA Tacuarembó en conjunto con el equipo técnico del establecimiento “El Junco”, vienen trabajando desde el 2006 en la temática del uso eficiente del agua en el cultivo de arroz (Böcking et al., 2008 y Lavecchia, 2009). De dichos trabajos se determinó que la implementación del riego intermitente permitió disminuir el consumo de agua en un 25% (promedio de tres años de ensayo). Si bien el efecto sobre el rendimiento no ha sido consistente, sí lo fue en aumentar la eficiencia del uso del agua. El riego intermitente obtuvo en promedio un 13% más de arroz por m³ de agua utilizada respecto al riego continuo (Böcking et al., 2008).

En la zafra 2009/2010, INIA Treinta y Tres llevó a cabo un experimento para evaluar distintos sistemas de riego: dos tratamientos de riego intermitente y tres de riego continuo con diferentes fechas de inundación del cultivo. El criterio de suministro de agua para los tratamientos de riego intermitente fue el siguiente:

- RI5: después del inicio del riego, se establece una lámina de 5cm de profundidad y el rie-

go se suspende hasta que el suelo se encuentre en estado saturado (encharcado). En este momento se reestablece nuevamente la lámina de 5cm,

- Riego restrictivo: cuando se consume (evapotranspira) el 50% del agua disponible en el suelo, se suministra agua de manera de que este quede saturado. Por lo tanto en este tratamiento ocurre alternancia de suelo húmedo y seco.

En ambos casos el riego intermitente se inicia a los 30 DDE y se lleva a cabo hasta la etapa de primordio, momento a partir del cual el riego se vuelve continuo, con una lamina promedio de 10 cm (Figuras 3 y 4).

Se determinó que las reducciones en el consumo de agua por parte de los tratamientos de riego intermitente fueron mayores (en términos porcentuales) que las perdidas en rendimiento y por lo tanto, la productividad del agua respecto al total de agua suministrada tienden a ser mayores, si bien estadísticamente no son diferentes (Cuadro 4). Las altas productividades obtenidas se deben a que solo se consideró el suministro de agua por riego. En el Cuadro 5 se presentan los resultados incluyendo en el consumo total de agua, el aporte de las precipitaciones (que en esta zafra fueron muy abundantes: 823 mm para el período 5 de noviembre - 9 de marzo).

Figura 3: Esquema del riego intermitente con lámina de 5cm hasta primordio (Tratamiento RI5). UEPL-INIA, Treinta y Tres, zafra 2009/2010.

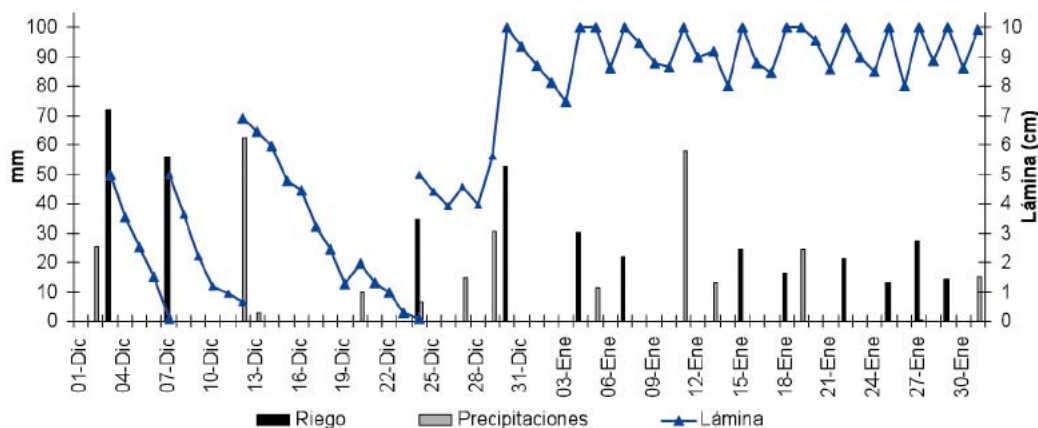
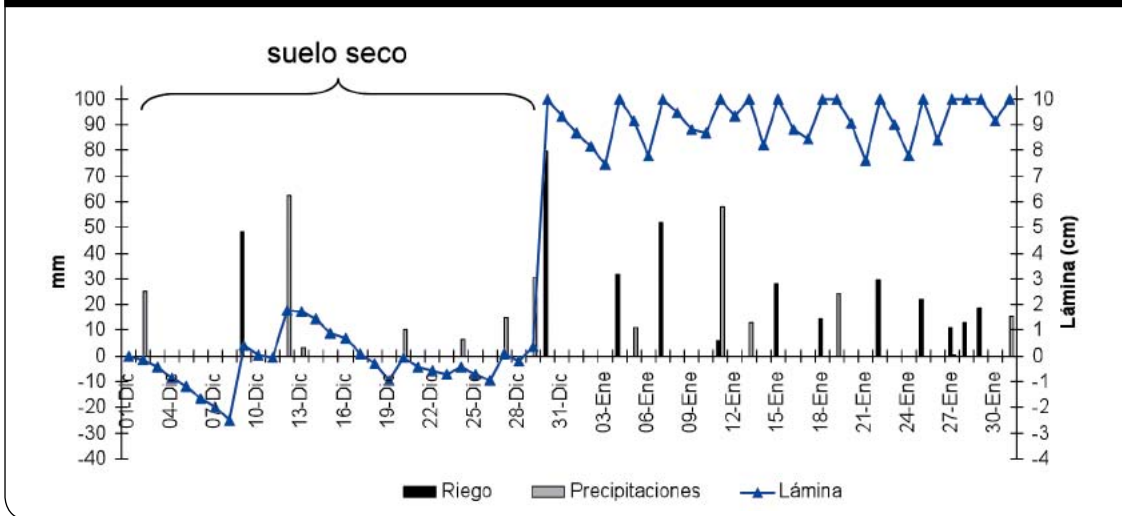


Figura 4: Esquema del riego intermitente restrictivo hasta primordio (Tratamiento Restringido). UEPL-INIA, Treinta y Tres, zafra 2009/2010.



Cuadro 4. Efecto del sistema de riego sobre el rendimiento, el consumo y la productividad del agua para la variedad INIA Olimar (Zafra 2009/2010).

	Ciclo (días)	Rendimiento (kg/ha)	Consumo de agua ¹ (m ³ /ha)	Período de riego (días)	Prod. del agua (kg/m ³)
Riego continuo (en DDE)					
15	126	10495 a	4884	73	2,15
30	129	10279 a	4914	59	2,09
45	136	10491 a	4937	58	2,12
Riego intermitente					
RI ₅	130	9773 a	3959	57	2,47
Restringido	130	8965 b	3801	64	2,36
Media	130	10001	4499	62	2,22
P.(Trat.)	---	<0,01	ns	---	ns

¹ Agua suministrada por riego.

Letras diferentes difieren significativamente para P<0,05. P: Probabilidad; ns: diferencias estadísticamente no significativas; DDE: Días después de emergencia.

Cuadro 5. Efecto del sistema de riego sobre el consumo y la productividad del agua, considerando el agua de lluvia (Zafra 2009/2010).

	Consumo de agua ¹ (m ³ /ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Riego continuo(en DDE)		
15	11936 a	0,88
30	12059 a	0,85
45	10336 b	1,04
Riego intermitente		
RIS	10028 b	0,98
Restringido	9884 b	0,92
Media	10849	0,94
P.(Trat.)	0,01	ns

¹ Agua suministrada por riego más precipitaciones.

Letras diferentes difieren significativamente para $P < 0,05$. P: Probabilidad; ns: diferencias estadísticamente no significativas; DDE: Días después de emergencia.

Agregado de valor a través de la gestión ambiental

Ante la búsqueda constante de aumento de la productividad y maximización de las ganancias, la agricultura moderna emplea una alta carga de agroquímicos. El cultivo de arroz no escapa a esta problemática, fundamentalmente en lo que respecta al uso de herbicidas, los cuales se aplican aproximadamente en el 96% del área de arroz sembrada. De aquí la importancia de comenzar a generar información nacional respecto a la disipación de estos herbicidas en las condiciones de clima, manejos y suelos de Uruguay, de manera de delinear prácticas de manejo acordes. El uso inadecuado de agroquímicos y el inapropiado manejo del agua puede causar efectos adversos en el ambiente.

Según la Fundación de Protección Ambiental de Río Grande del Sur (FEPAM, 2006), el cultivo de arroz constituye una actividad de alto potencial de contaminación puesto que el riego aumenta las posibilidades de transporte de agroquímicos vía agua de lluvia y drenaje para recursos hídricos superficiales y vía lixiviación para los subterráneos. Es claro que para que ese potencial no se convierta en un impacto negativo real se necesitan aplicar las Buenas Prácticas Agrícolas, tal cual las recién

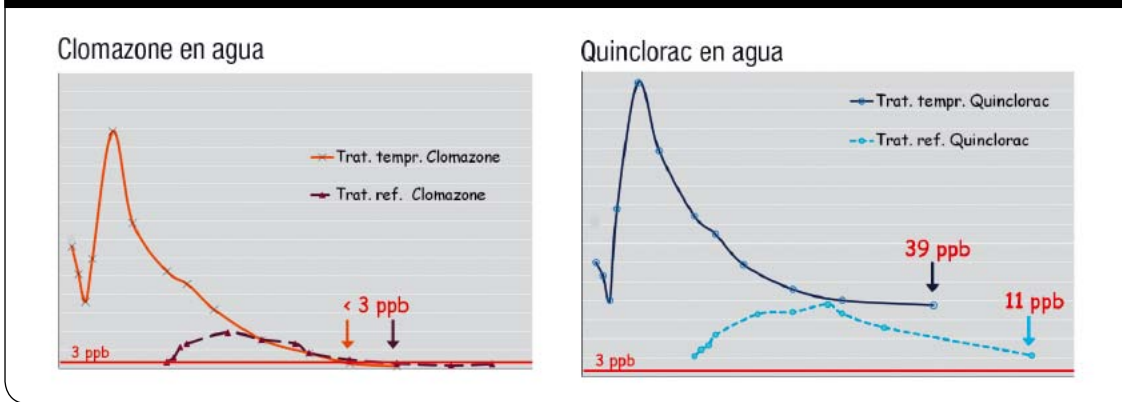
mente generadas por la Gremial de Molinos Arroceros, INIA, LATU y UdelaR Facultad de Agronomía (ACA et al., 2009), cuya implementación permitirá garantizar la producción sustentable del arroz y dará un mayor valor agregado al producto final.

En la necesidad de ir generando información específica sobre la compatibilidad ambiental del sistema de producción arroceros, ha sido estrategia del Programa Nacional de Arroz y del Programa de Producción y Sustentabilidad Ambiental de INIA, incluir el estudio del impacto ambiental dentro de sus planes de investigación, así como promover y articular proyectos con distintas instituciones públicas y/o privadas, bajo la modalidad de Fondos de Promoción de Tecnologías Agropecuarias (FPTA).

En este marco, se ejecutó el FPTA N° 226 “Inmunoensayos como herramientas analíticas de bajo costo para el monitoreo sustentable de la producción agrícola y su impacto ambiental”, llevado a cabo por la Cátedra de Inmunología y Orgánica de la Facultad de Química. En la zafra agrícola 2008/2009 y 2009/2010 se instaló un ensayo en la UEPL-INIA, con el objetivo de determinar los niveles de concentración de los herbicidas *Clomazone* y *Quinclorac* en agua, suelo y grano; y evaluar su interacción con el manejo del agua del cultivo de arroz. Para ello se trabajó con dos tratamientos de riego que consistieron en inundar el cultivo 15 días después de la emergencia (tratamiento temprano) y 30 días después de la misma (tratamiento referencia).

Respecto a los principales resultados obtenidos en la primera zafra de evaluación para las determinaciones en agua, se destaca el hecho de haber desarrollado una nueva herramienta analítica, sencilla, selectiva y de bajo costo para la determinación de residuos de *clomazone* en agua, basados en estudio inmunológicos, con un límite de sensibilidad por debajo del límite máximo de residuos de plaguicidas establecido por la Unión Europea para aguas superficiales. El manejo del agua afectó el comportamiento de los herbicidas en el ambiente (Figura 5), ya que las concentraciones de los compuestos en agua fueron siempre inferiores en el tratamiento de referencia respecto al temprano (Cantou et al., 2009).

Figura 5: Concentración de *Clomazone* y *Quinclorac* en agua para los tratamientos de riego temprano y de referencia. UEPL-INIA, Treinta y Tres, zafra 2008/2009. Tratamiento temprano: inundación el 19 noviembre. Tratamiento referencia: inundación el 3 diciembre.



De los datos obtenidos, resulta importante adoptar y delinear prácticas de manejo del agua que eviten o minimicen el movimiento de ésta hacia fuera del cultivo en los primeros días luego de la inundación (fundamentalmente ante inundaciones tempranas del cultivo) y en el/los baño/s que se realicen, de manera de preservar la calidad de los recursos hídricos. Esta línea de investigación impulsada permite ir generando información acerca de cómo las prácticas de manejo actuales interaccionan con los niveles de disipación de los agroquímicos y constituye el pilar inicial para delinear buenas prácticas de manejo que permitan alcanzar buenos nive-

les productivos, preservando a su vez el medio ambiente.

Es claro que el futuro demandará cada vez en mayor grado la integración de conceptos de productividad, con eficiencia del uso e impacto ambiental, es por esto que enfoques cómo los vinculados a los estudios de la huella del agua y análisis de ciclo de vida de los sistemas de producción y cadenas de valor, son cada vez de mayor importancia y deberán de ir integrándose a los trabajos realizados de manera de poder orientar las principales acciones a tomar (Chapagain y Orr, 2008).