

Nuevas herramientas para mejorar la gestión del agua en el sector arrocero de Chile



Gabriel Donoso Ñ.
Bioquímico, Dr. Cs. Biológicas
Investigador INIA Quilamapu



Viviana Becerra V.
Ingeniera Agrónoma,
M. Sc. Genética y Mejoramiento
Investigadora INIA Quilamapu



Hamil Uribe C.
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Investigador INIA Quilamapu



Mario Paredes C.
Ingeniero Agrónomo,
M. Sc. Ph. D. Genética
Asesor de Proyectos de Innovación



Un escenario hídrico poco auspicioso se prevé para el cultivo del arroz en el país, debido a la significativa dependencia de embalses que no satisfacen la necesidad hídrica de la superficie disponible para este cereal y a la proyección negativa respecto de las precipitaciones anuales (-15%).

Se estima que en Chile se utilizan alrededor de 2.497 litros de agua por kilogramo de arroz producido (*Water Foot Print Network*, 2016), con un uso entre 14.000 a 18.000 m³/ha. Esto corresponde a casi el doble del agua necesaria para producir otros cereales como trigo y maíz, debido a que el arroz, en general, tiene una tasa de transpiración dos veces mayor que otros cultivos.

Las principales variedades sembradas en Chile son Zafiro, Cuarzo y Platino-INIA. El sistema de siembra mayormente empleado es con **semilla pregerminada**, para lo cual la semilla se mantiene durante 24 a 36 horas sumergida en agua y, luego, se deja secar a temperatura ambiente hasta la aparición del coleóptilo (36 a 48 horas). Con posterioridad, la semilla pregerminada es distribuida en el predio al voleo, sobre una lámina de agua de 5 cm previamente establecida en el campo.

Esta técnica se puede realizar en forma manual, por avión o a través de un trompo de aplicación de fertilizantes. En este último caso, se usa semilla pregerminada, previo a la aparición de coleóptilo, para evitar pérdidas por daño mecánico. La dosis de semilla fluctúa entre 140-200 kg/ha en siembra manual






y 120 kg/ha en el caso de siembra por avión. Este sistema requiere una constante inundación de los cuadros, desde la siembra hasta la madurez fisiológica, así como unos 18.000 m³/ha, de acuerdo a datos preliminares.

Otra alternativa es la **siembra directa (en seco)**, que permite ahorrar agua y mejorar la eficiencia del proceso de siembra, fertilización y aplicación de herbicidas. Estimaciones realizadas señalan que el uso de esta técnica representa entre un 10 a 20% de la superficie sembrada con arroz; la que requiere de una buena preparación de suelo a cota cero (0) o micronivelación láser. En tanto, la siembra se puede efectuar con una máquina sembradora de cereales, la cual se debe calibrar para dejar la semilla entre dos a tres centímetros de profundidad. La dosis de semilla para este tipo de siembra fluctúa entre 100 y 120 kg de semilla por hectárea. Respecto del riego, esta técnica solo requiere mantener la humedad del suelo para iniciar la germinación de la semilla hasta que la planta tiene tres a cuatro hojas; posteriormente se sugiere inundar con una lámina de agua de alrededor de 5 cm, la que se mantiene hasta la madurez fisiológica de la planta.

En ambos sistemas de siembra, el manejo de la altura de la lámina

de agua es crítico. En el caso de siembra con arroz pregerminado, es recomendable que durante la siembra y en el estado de plántula (tres a cuatro hojas) la altura sea de 5 cm (**CUADRO 1**). Por otro lado, el sistema de siembra directa requiere dos a tres riegos a capacidad de campo, hasta estado plántula con tres a cuatro hojas completamente desarrolladas, en donde se inunda el cultivo con una lámina de agua de 5 cm. En ambos sistemas se recomienda mantener la altura del agua en 5 cm durante el estado de macolla. Además, se sugiere que, una vez alcanzada la altura de la lámina, se detenga la salida del agua para que ésta se caliente durante el día, mejorando el uso del recurso hídrico y el desarrollo del cultivo. De manera similar, en la etapa reproductiva se recomienda proteger el primordio floral de la planta de arroz, con una lámina de entre 5 a 10 cm y detener la salida del agua. Durante la maduración existen dos recomendaciones dependiendo del tipo de suelo. En el caso de que el cultivo esté sembrado en suelos con alta capacidad de retención de agua, como sucede en varias zonas de Parral (región del Maule), se puede dejar de regar y detener la salida del agua. Sin embargo, en caso de suelos con baja retención de agua, como en algunos

Cuadro 1. Resumen de las recomendaciones ideales del uso del agua para diferentes condiciones de siembra*.

Fenología		Uso del agua	
		Siembra con arroz pre-germinado	Siembra con semilla seca
Germinación		Lámina de agua de 5 cm	Riego (capacidad de campo)
Plántula		Lámina de agua de 5 cm	
Macolla		Lámina de agua de 5-10 cm	
Floración		Suelo con buena retención de agua: detener el ingreso de agua Suelo con mala retención de agua: mantener lámina de agua hasta grano lechoso	
Maduración		Suelo a capacidad de campo	

* Donoso, G., M. Paredes, H. Uribe, F. Saavedra, J. Parfitt, G. Carracelas, A. Osorio. 2015. Manejo del agua: Alcances y desafíos. (59-61p). En: M. Paredes, M, V. Becerra, (eds). Manual de Producción de Arroz: Buenas Prácticas Agrícolas. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306, 100 p.

campos en el sector de San Carlos, se recomienda detener el riego después de asegurar una buena humedad del suelo, cuando el grano esté lechoso.

Técnicas exitosas

Un escenario hídrico poco auspicioso se prevé para el cultivo del arroz en Chile, debido a la significativa dependencia de embalses que no satisfacen la necesidad hídrica de la superficie disponible para arroz y a la proyección negativa respecto de las precipitaciones (-15%) en el sector arrocero. Por ello, la baja disponibilidad del recurso hídrico es ya un desafío para la producción de este cultivo: se necesita disminuir ahora el uso de agua sin reducir la producción.

Considerando que en los últimos 50 años no se han implementado de manera sistemática métodos eficientes para el riego del arroz en Chile, la Agenda de Innovación para la Cadena del Arroz plantea la necesidad

de la evaluación y validación de tecnologías de manejo productivo que utilicen menos agua. Por ello, en INIA hemos desarrollado una propuesta de trabajo que incluye la evaluación de diferentes sistemas de riego, tales como riego intermitente, riego por mangas utilizando compuertas, riego por pulsos mediante válvulas automáticas, riego por aspersión,

uso de compuertas automáticas manejadas remotamente, uso de canales de avance que permitan llenar rápidamente todos los cuadros de manera independiente (**FIGURA 1**) y uso de canales de drenaje que faculten un desagüe independiente y rápido de los cuadros, facilitando el control de malezas y la entrada de maquinaria al campo.

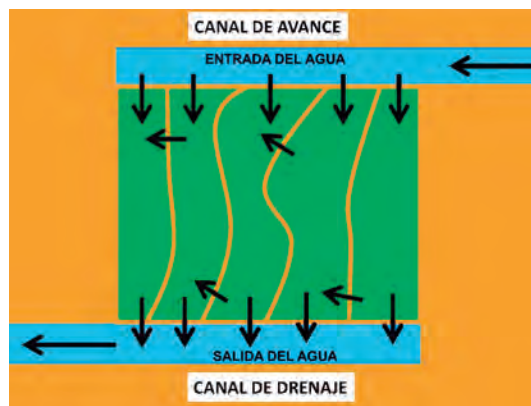


Figura 1. Sistema de riego ideal. Las flechas indican la dirección de la circulación del agua. En color verde se representa el interior de los pretilos.

Estas tecnologías ya están siendo utilizadas en otros países y podrían aumentar la eficiencia del uso del agua, ahorrando un volumen importante y mejorando su distribución en el campo. Ejemplo de ello es el riego intermitente implementado en Uruguay, que implicó un incremento de la productividad de hasta un 40% en comparación con la inundación permanente, y un ahorro del consumo de agua de hasta un 30%. Por otro lado, el riego por mangas es una tecnología ampliamente utilizada en Estados Unidos, Argentina y Uruguay, que mejora la eficiencia del uso del agua, es económica, reduce las pérdidas en canales de avance, permite la cuantificación del uso del agua e incrementa el número de hectáreas regadas por persona (hasta 120 ha). Otros estudios realizados en Italia, utilizando tecnología de compuertas manejadas remotamente y sensores de nivel incorporados, demuestran que es posible regar de manera más eficiente, gracias al monitoreo y control de riego mediante *software*, generando a la vez un registro histórico del uso de agua. Finalmente, en el caso del riego por aspersión, esta tecnología ha sido implementada en Estados Unidos y Brasil, donde se ha logrado obtener rendimientos cercanos a lo observado bajo inundación permanente, utilizando menos agua.

Para implementar la propuesta, estamos desarrollando desde el año 2017 un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), titulado **Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile, una estrategia para disminuir la vulnerabilidad de este cultivo frente al cambio climático global**. Dentro de los objetivos específicos de este proyecto están: 1) Evaluar la eficiencia de diferentes métodos y estrategias de riego en variedades comerciales; 2) Evaluar la eficiencia en el control de malezas mediante el uso de herbicidas en riego por aspersión; 3) Evaluar

líneas experimentales de arroz en condiciones de estrés hídrico en campo; 4) Evaluar la factibilidad técnica y económica de los sistemas de riego probados; y 5) Desarrollar un modelo de transferencia de las tecnologías implementadas a los beneficiarios identificados.

En el marco de esta iniciativa cofinanciada por INIA, FIA, Tucapel y Carozzi, con apoyo de varias organizaciones gremiales, hemos implementado diversas tecnologías entre las que destacan: canaletas Parshall con sensores automáticos de niveles, que permiten medir el caudal utilizado para el riego de los ensayos (**FIGURAS 2 y 3**); mangas de riego con compuertas para mejorar la distribución del agua en el campo (**FIGURA 4**); sensores de temperatura para monitorear la temperatura del agua y aire, lo que permite conocer el efecto de bajas o altas temperaturas en el comportamiento del cultivo (**FIGURA 5**); porómetro foliar que determina el nivel de estrés de la planta, a través de la medición de la conductividad estomática (**FIGURA 6**); sensor de humedad que determina la humedad del suelo en los diversos tratamientos de riego, para realizar tratamientos con niveles de humedad conocidos (**FIGURA 7**); y un sistema



↑ **Figura 2.** Canaleta Parshall instalada en 4 ensayos de San Carlos y 4 de Parral. Cada canaleta tiene un Sensor HOBO U20 para medición automática y almacenaje de datos de nivel de agua, para cálculo de caudal.



↑ **Figura 3.** HOBO U20L-04, sensor de nivel y temperatura (con datalogger), para medir en forma constante el caudal de un canal que abastece de agua a las parcelas. Para ello, el sensor debe estar instalado en una canaleta Parshall.



↑ **Figura 4.** Manga y compuerta de riego. A la izquierda se observa en color blanco el insertor que permite colocar las compuertas en las mangas de riego cuando éstas tienen presión de agua.

de riego presurizado, para realizar los primeros ensayos de riego por aspersión en arroz realizados en Chile.

Resultados preliminares de este proyecto han permitido concluir que:

1. El uso de mangas de riego incrementa hasta tres veces la velocidad de llenado de los cuadros (**FIGURA 8**), lo que sería una gran ventaja para los agricultores, quienes pueden demorar hasta 10 días para realizar el llenado de sus campos.
2. Las mangas permiten un menor uso de agua en siembra directa con cerca de 10.000 m³/ha comparado con la siembra pregerminado, sin mangas de riego, que utilizó 16.000 m³/ha.
3. El uso, por primera vez en Chile, de riego por aspersión en campo experimental de Parral y en campo de agricultor mediante pivote central, permitió obtener rendimientos de tres a seis toneladas por hectárea.

Este último requiere una serie de mejoras en el manejo que permitan incrementar la producción, para aprovechar de mejor manera la tecnología de riego. Pese a que estos sistemas de riego posibilitan un buen manejo del agua, hay que considerar que implican también la aparición de una mayor cantidad de malezas y de nuevas especies de malezas, por lo que se necesita usar mayor cantidad de herbicidas, herbicidas residuales y herbicidas para control de malezas no acuáticas de hoja ancha. **TA**



⬆ **Figura 5.** iButton DS1921H. Para determinar la temperatura del agua y del aire (es necesario utilizar un revestimiento o una cápsula para utilizarlos bajo el agua).



⬆ **Figura 6.** Leaf Porometer Model SC-1. Porómetro Foliar, este instrumento permite medir la conductividad estomática.



⬆ **Figura 7.** Campbell Scientific HS2P Hydro Sense. Sensor de humedad de suelo portátil (TDR), para medición de contenido volumétrico de agua en el suelo.



⬆ **Figura 8.** A la izquierda riego convencional y a la derecha riego por mangas en Parral. El riego por mangas logró un llenado mucho más rápido del cuadro (1,5 h) a diferencia del cuadro regado de manera convencional (5 h aproximadamente).



Jorge González U.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Economía Agraria
MBA Marketing, INIA Quilamapu

Análisis económico preliminar localidad de Parral 2017/18

Cabe indicar que, análisis económicos preliminares del uso de la tecnología de riego por mangas, muestran que la utilización de un sistema de riego basado en manga plástica para el cultivo del arroz, requiere inversiones amortizadas (por unidades requeridas/ha y vida útil) que son: manga plástica, compuertas, insertor, cubos descompresores y adecuaciones de mini contenedores. Lo anterior representa un costo anual inferior a \$50.000/ha, cifra clave para el análisis de comportamiento económico. Durante el primer año de ensayos, el uso de mangas para el riego generó mayor rendimiento respecto al control sin mangas, pero sólo en sistema de siembra pregerminado, donde la diferencia fue superior (18 qm/ha adicionales) **(Cuadro 2)**. El ingreso y el costo operacional generan

una nueva riqueza —**Margen Bruto**— con cifras entre \$450.000/ha–\$500.000/ha, con excepción de sistema de siembra pregerminado regado con manga, cuyo margen supera \$750.000/ha. En términos de competitividad —**Costo Unitario**— los sistemas de riego, al menos, la mantuvieron, aunque destaca nuevamente el riego con mangas en siembra pregerminado, con una reducción del costo (aumento competitividad) en 14%. La eficiencia económica —**Beneficio/Costo**— se sitúa en torno a 1,5; no obstante, en el riego con manga en siembra pregerminado se incrementó a 1,76. El análisis indica un comportamiento económico promisorio al uso de mangas; si bien la incorporación de información de temporadas sucesivas y más localidades, darán mayor solidez a las conclusiones.

Cuadro 2. Resultado económico preliminar de implementación riego con mangas en sistemas pregerminado y mínima labranza. Parral 2017/18.

	Siembra arroz pregerminado			Siembra directa		
	SIN Manga	CON Manga	CON Manga vs SIN Manga	SIN Manga	CON Manga	CON Manga vs SIN Manga
Rendimiento Observado (qqm/ha)	83	101	18	82	84	2
Precio referencia (2017/18) (\$/ha)	17.500	17.500	No aplica	17.500	17.500	No aplica
Ingreso (\$/ha)	1.452.500	1.767.500	315.000	1.435.000	1.470.000	35.000
Costo Operacional* (\$/ha)	955.286	1.003.508	48.222	970.621	995.776	25.154
Margen Bruto (\$/ha)	497.214	763.992	266.778	464.379	474.224	9.846
Costo Unitario (\$/qqm)	11.509	9.936	-1.574	11.854	11.837	-18
Relación Beneficio/Costo	1,52	1,76	0,24	1,48	1,48	0

* Incluida inversión amortizada anual.

[Nuestros agradecimientos a: Fundación para la Innovación Agraria (FIA); Tucapel S.A.; Carozzi S.A.; Asociación Gremial de Arroceros de Unicavén, Parral; Comité campesino el Crucero de Buli; Comité de Jóvenes Campesinos productores de arroz; Comité Campesino Denominado arroceros Otingue, Belén y Flor de Ñiquén].

INIA investiga nuevas formas de riego en Chile. El objetivo es desarrollar un sistema eficiente y sustentable para el arroz, con el fin de disminuir la vulnerabilidad de este cultivo frente al cambio climático global.