



INFORME TECNICO FINAL

Nombre del proyecto	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
Código del proyecto	PYT-2017-0190
Informe final	
Periodo informado (considerar todo el período de ejecución)	desde el 2017 hasta el 2020
Fecha de entrega	12 de octubre de 2020

Nombre coordinador	Gabriel Hernán Donoso Nanculao
Firma	

INSTRUCCIONES PARA CONTESTAR Y PRESENTAR EL INFORME

- Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.
- Sobre la información presentada en el informe:
 - Debe dar cuenta de todas las actividades realizadas en el marco del proyecto, considerando todo el período de ejecución, incluyendo los resultados finales logrados del proyecto; la metodología utilizada y las modificaciones que se le introdujeron; y el uso y situación presente de los recursos utilizados, especialmente de aquellos provistos por FIA.
 - Debe estar basada en la última versión del Plan Operativo aprobada por FIA.
 - Debe ser resumida y precisa. Si bien no se establecen números de caracteres por sección, no debe incluirse información en exceso, sino solo aquella información que realmente aporte a lo que se solicita informar.
 - Debe ser totalmente consistente en las distintas secciones y se deben evitar repeticiones entre ellas.
 - Debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero final y ser totalmente consistente con ella.
- Sobre los anexos del informe:
 - Deben incluir toda la información que complemente y/o respalde la información presentada en el informe, especialmente a nivel de los resultados alcanzados.
 - Se deben incluir materiales de difusión, como diapositivas, publicaciones, manuales, folletos, fichas técnicas, entre otros.
 - También se deben incluir cuadros, gráficos y fotografías, pero presentando una descripción y/o conclusiones de los elementos señalados, lo cual facilite la interpretación de la información.
- Sobre la presentación a FIA del informe:
 - Se deben entregar tres copias iguales, dos en papel y una digital en formato Word (CD o pendrive).
 - La fecha de presentación debe ser la establecida en el Plan Operativo del proyecto, en la sección detalle administrativo. El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 0,2% del último aporte cancelado.
 - Debe entregarse en las oficinas de FIA, personalmente o por correo. En este último caso, la fecha válida es la de ingreso a FIA, no la fecha de envío de la correspondencia.
- El FIA se reserva el derecho de publicar una versión del Informe Final editada especialmente para estos efectos.

CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	5
2.	EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO	5
3.	RESUMEN EJECUTIVO	6
4.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	7
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)	7
6.	RESULTADOS ESPERADOS (RE)	9
7.	CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO	34
8.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO	35
9.	POTENCIAL IMPACTO	36
10.	CAMBIOS EN EL ENTORNO	37
11.	DIFUSIÓN	38
12.	PRODUCTORES PARTICIPANTES	42
13.	CONSIDERACIONES GENERALES	43
14.	CONCLUSIONES	44
15.	RECOMENDACIONES	45
16.	ANEXOS	46
17.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	199

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Nombre(s) Asociado(s):	1.- Tucapel S.A. 2.- Carozzi S.A. 3.- Asociación Gremial de Arroceros de Unicavén, Parral. 4.- Comité campesino el Crucero de Buli. 5.- Comité de Jóvenes Campesinos productores de arroz. 6.- Comité Campesino Denominado arroceros Otingue, Belén y Flor de Ñiquén.
Coordinador del Proyecto:	Gabriel Hernán Donoso Ñanculao
Regiones de ejecución:	Maule y Bío Bío
Fecha de inicio iniciativa:	1 de junio de 2017
Fecha término Iniciativa:	30 de septiembre de 2020

2. EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto			
Aporte total FIA			
Aporte Contraparte	Pecuniario		
	No Pecuniario		
	Total		

Acumulados a la Fecha		Monto (\$)
Aportes FIA del proyecto		
1. Total de aportes FIA entregados		
2. Total de aportes FIA gastados		
3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes FIA		
Aportes Contraparte del proyecto		
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario	
	No Pecuniario	
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario	
	No Pecuniario	
3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes Contraparte	Pecuniario	
	No Pecuniario	

3. RESUMEN EJECUTIVO

3.1 Resumen del período no informado

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante el período comprendido entre el último informe técnico de avance y el informe final. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

El período no informado corresponde a todo lo realizado entre el mes de enero de 2020 y mayo de 2020. Sin embargo, debido a la pandemia, se solicitó y aceptó la extensión de plazo de término del proyecto para el mes de septiembre de 2020. Durante este período se completaron tareas relacionadas con la cosecha de ensayos de la última temporada del proyecto y además se realizó actividades de difusión de forma online con cuatro (4) webinars, los que contaron con la presencia de colegas de Brasil, Uruguay y Argentina. También se finalizó los ensayos comprometidos con los agricultores arroceros, en diferentes condiciones de riego. Dentro de este período se solicitó el cambio de ítem asociado a actividades presenciales con el fin de aprovechar los recursos en la edición de un libro, que reemplaza la elaboración de un manual de riego, comprometido al inicio del presente proyecto.

Respecto al uso de agua en las diferentes condiciones de riego utilizadas se confirma que el uso de riego por mangas se relaciona con un incremento en el rendimiento en grano en el caso de la siembra de arroz pre-germinado sobre 1 t ha^{-1} . Además, se comprueba por tercer año que el uso de riego por aspersión no permite lograr el potencial de rendimiento del cultivo, con rendimientos promedio inferiores a 6 t ha^{-1} . En relación con los rendimientos en campos de agricultores se destaca que el sistema de siembra directa permite incrementar la productividad del agua a casi el doble de lo logrado con el sistema de siembra pre-germinado. En relación al uso de agua por parte de los agricultores, los valores se encontraron entre los rangos de $12.310 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en el caso de la siembra directa y $35.404 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en el caso de la siembra con arroz pre-germinado.

Respecto de las actividades de difusión, durante el periodo no informado se realizó la presentación de trabajos a un congreso nacional (70° Congreso Sociedad Agronómica de Chile) y un Congreso Internacional (7th ITRC), la realización de un día de campo y la realización de un día de campo de agricultor. Además, se realizó la edición de un video educativo con la tecnología que entregó los mejores resultados a nivel de uso de agua y eficiencia de riego. Respecto a la edición del libro, éste se encuentra escrito con una corrección técnica asociada a dos revisores por cada capítulo. Sin embargo, debido a la extensión del documento (800 páginas aprox.), se solicitó a la Fundación para la Innovación Agraria la ampliación de plazo para completar la edición periodística del documento y posterior diagramación e impresión del mismo.

3.2 Resumen del proyecto

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante todo el período de ejecución del proyecto. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

Durante el desarrollo de este proyecto se alcanzaron importantes logros relacionados con la sustentabilidad del cultivo, con especial énfasis en el riego. En primer lugar se logró establecer a nivel experimental y a nivel de agricultor, las principales diferencias entre el uso de mangas y los sistemas tradicionales de riego, obteniéndose incrementos de rendimiento y en la productividad de agua. Otro logro del presente proyecto es el establecimiento de un instrumento de medición (aforador Parshall) que permite estimar el uso del agua por parte de agricultores, el que está entre 12.000 y 36.000 m³ ha⁻¹. Esto depende directamente del sistema de siembra utilizado, donde los agricultores que más requieren agua son los que utilizan el sistema de siembra pre-germinado. También, se logró implementar en campo de agricultor el sistema de riego por mangas para el arroz, generando ventajas para el agricultor asociadas a la disminución de los tiempos de llenado de los cuadros (70 % más rápido), un riego más homogéneo y en algunos casos incrementando los rendimientos en grano.

Por otro lado, se logró determinar que el riego por aspersión no es viable, debido al incremento en el costo por la necesidad de energía e infraestructura de alto costo, para realizar el riego y en la disminución consistente de los rendimientos, en todas las temporadas evaluadas, incluyendo una experiencia en campo de agricultor.

Otro logro fue la selección de tres genotipos (G27y G49 y G27) con niveles de tolerancia en condiciones de estrés hídrico. Este genotipo tiene una respuesta consistentemente mejor a estrés hídrico que las variedades utilizadas en nuestro país. Respecto a las actividades de difusión realizadas fueron: Un (1) curso de riego, cuatro (4) días de campo, un (1) video educativo, 15 noticias en páginas web diversas, cuatro (4) asistencias a congresos nacionales y dos (2) internacionales, siete (7) capacitaciones a agricultores arroceros, un seminario de lanzamiento y cuatro Webinars internacionales. Finalmente, está pendiente la revisión final de un libro que contiene los principales resultados del proyecto e información complementaria relacionada con la producción de arroz.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO (OE)

Desarrollar un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile
--

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

5.1 Porcentaje de Avance

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula luego de determinar el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Descripción del OE	% de avance al término del proyecto ¹
1	Evaluar la eficiencia de diferentes métodos y estrategias de riego en variedades comerciales	100
2	Evaluar la eficiencia en el control de malezas mediante el uso de herbicidas en riego por aspersión	100
3	Evaluar líneas experimentales de arroz en condiciones de estrés hídrico en campo	100
4	Evaluar la factibilidad técnica y económica de los sistemas de riego probados	100
5	Desarrollar un modelo de transferencia de las tecnologías implementadas a los beneficiarios identificados	95

¹ Para obtener el porcentaje de avance de cada Objetivo específico (OE) se promedian los porcentajes de avances de los resultados esperados ligados a cada objetivo específico para obtener el porcentaje de avance de éste último.

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

Para cada resultado esperado debe completar la descripción del cumplimiento y la documentación de respaldo.

6.1 Cuantificación del avance de los RE al término del proyecto

El porcentaje de cumplimiento es el porcentaje de avance del resultado en relación con la línea base y la meta planteada. Se determina en función de los valores obtenidos en las mediciones realizadas para cada indicador de resultado.

El porcentaje de avance de un resultado no se define según el grado de avance que han tenido las actividades asociadas éste. Acorde a esta lógica, se puede realizar por completo una actividad sin lograr el resultado esperado que fue especificado en el Plan Operativo. En otros casos se puede estar en la mitad de la actividad y ya haber logrado el 100% del resultado esperado.

Nº	Nº	Resultado	Indicador de Resultados (IR)	% de cumplimiento
----	----	-----------	------------------------------	-------------------

OE	RE	Esperado ² (RE)	Nombre del indicador ³	Fórmula de cálculo ⁴	Línea base ⁵	Meta del indicador ⁶ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁷	Fecha alcance meta real ⁸	
1	1	Mejor eficiencia en el riego en el cultivo del arroz en siembras en campo experimental	Uso de agua en proyecto/Uso de agua riego actual	Uso de agua en proyecto/Us o de agua riego actual.	19000 m ³ ha ⁻¹	8500 m ³ ha ⁻¹	Abril 2020	Julio de 2019	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Los resultados de los ensayos de las temporadas 2017 – 2018, 2018 – 2019 y 2019-2020, mostraron que el riego con mangas utilizó menos agua (10.514 - 14.950 m ³) en comparación con el riego convencional (13.142 – 16.953 m ³). Además se confirma que el riego en siembra directa utilizó hasta un 40% menos de agua.									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.									
Anexo 16.2.1.1									

² Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

³ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁴ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁵ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁶ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁷ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁸ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁹ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ¹⁵	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹⁰	Fórmula de cálculo ¹¹	Línea base ¹²	Meta del indicador ¹³ (situación final)	Fecha alcance meta programada ¹⁴		
1	2	Rendimientos similares a los obtenidos con el sistema de riego convencional	Rendimientos mayores o iguales a 7 t ha ⁻¹	Rendimientos mayores o iguales a 7 t ha ⁻¹ .	7 t ha ⁻¹	7 t ha ⁻¹	mayo 2020	Julio de 2019	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Se evaluó los rendimientos de los ensayos de la temporada 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020. Se observaron rendimientos superiores a 12 t ha⁻¹. Solamente en San Carlos se observó una disminución de los rendimientos en el sistema de riego convencional sembrado con sistema pre-germinado con rendimientos inferiores a 6 t ha⁻¹. En el caso de riego por aspersión, es posible lograr rendimientos cercanos a las 8 t ha⁻¹, lo que fue observado la temporada 2018-2019 en la localidad de Parral. Los rendimientos más bajos se observaron en la localidad de San Carlos, los cuales fueron inferiores a 6 t ha⁻¹.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.2.1.1

⁹ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹⁰ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹¹ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹² Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

¹³ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

¹⁴ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

¹⁵ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ¹⁶ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ²²	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹⁷	Fórmula de cálculo ¹⁸	Línea base ¹⁹	Meta del indicador ²⁰ (situación final)	Fecha alcance meta programada ²¹		
1	3	Mejor eficiencia en el uso de agua en parcelas demostrativas en campo de agricultor	Uso de agua en proyecto/Uso de agua riego actual	$< o = a$ $8500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$	$19000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$	$8500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Septiembre de 2020	Septiembre de 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
En el caso del riego por mangas en agricultores con sistema de siembra directa, obtuvieron rendimientos similares (10 t ha^{-1}) a los que utilizaron sistema tradicional de riego. En el caso de la siembra con arroz pre-germinado más riego por mangas fue de $8,5 \pm 3 \text{ t ha}^{-1}$ en comparación con $7,7 \pm 0,6 \text{ t ha}^{-1}$ en riego convencional. Se logró una disminución en el uso del agua en un 28% en comparación con el sistema tradicional, en el caso de siembra pre-germinado, y no se observó diferencias al usar mangas en el sistema de siembra directa.									

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.
Anexo 16.1.2 y 16.2.2

¹⁶ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹⁷ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹⁸ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹⁹ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

²⁰ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

²¹ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

²² Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ²³ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ²⁹	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ²⁴	Fórmula de cálculo ²⁵	Línea base ²⁶	Meta del indicador ²⁷ (situación final)	Fecha alcance meta programada ²⁸		
1	4	Rendimientos similares a los obtenidos con el sistema de riego convencional, en parcelas demostrativas en campo de agricultor	Rendimientos mayores o iguales a 7 t ha ⁻¹ .	Rendimientos mayores o iguales a 70 qq/ha.	7 t ha ⁻¹	70t ha ⁻¹	Septiembre 2020	Septiembre 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Los mejores rendimientos con un promedio superior a los 10,1 ± 1,8 t ha ⁻¹ . En el caso del riego con siembra con arroz pre-germinado los agricultores (6 agricultores) lograron un promedio de 7,1 ± 1,9 t ha ⁻¹ .									

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.
Anexo 16.1.2 y 16.2.2

²³ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

²⁴ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

²⁵ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

²⁶ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

²⁷ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

²⁸ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

²⁹ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ³⁰ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ³⁶	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ³¹	Fórmula de cálculo ³²	Línea base ³³	Meta del indicador ³⁴ (situación final)	Fecha alcance meta programada ³⁵		
4	1	Conformar un Comité Estratégico para el proyecto	Comité formado	Comité formado	No disponible	1 comité	Septiembre de 2017	21 de septiembre de 2017	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Se conformó el comité estratégico del proyecto, a quienes se presentó el detalle metodológico a realizar durante el proyecto.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.3.19.1

³⁰ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

³¹ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

³² Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

³³ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

³⁴ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

³⁵ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

³⁶ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ³⁷ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁴³	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ³⁸	Fórmula de cálculo ³⁹	Línea base ⁴⁰	Meta del indicador ⁴¹ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁴²		
4	2	Evaluar factibilidad técnico-económica de la implementación de los diferentes sistemas de riego	Costo de la tecnología respecto al actual sistema riego	(\$Costo actual del riego/\$costo con tecnología)* 100	No disponible	Costos iguales o menores a los actuales	Septiembre 2020	Septiembre 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									

³⁷ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

³⁸ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

³⁹ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁴⁰ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁴¹ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁴² Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁴³ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Tomando en cuenta los ensayos experimentales, con tratamientos con dos sistemas de siembra (siembra directa y pre-germinado) y dos sistemas de riego (con mangas de riego y sin uso de tecnología), se generó la información productiva a partir de la cual se realizó el análisis económico. Se generó un informe económico asociado a: ingreso bruto, margen bruto operacional, relación costo/beneficio, relación beneficio/costo, costo unitario y punto de equilibrio. Los resultados mostraron que la inversión inicial requerida para la utilización de un sistema de riego por mangas para el cultivo del arroz es de alrededor de \$77.000 /ha, lo que amortizado a 5 años (por ejemplo), implica una necesidad de recursos financiero relativamente menor. En el caso de la siembra pre-germinado, se observó que el uso de mangas de riego permitía el incremento en los rendimientos en aproximadamente 1 t ha⁻¹ en comparación con el sistema convencional. Por ello, la diferencia entre el margen bruto del sistema de riego con mangas y sin mangas es de \$161.000 en el sistema de siembra pre-germinado. Sin embargo, en el sistema de siembra directa la diferencia fue negativa respecto al sistema de riego por mangas, generando un costo de \$ 66.000 superior al sistema convencional. Por otro lado, la relación beneficio costo fue de 1,8 en el caso de riego por mangas en el sistema de siembra pre-germinado y 1,58 en el caso del sistema de siembra directa. Debido a que el 80% de los agricultores en Chile realizan el sistema de siembra con arroz pre-germinado y que el sistema de riego por mangas puede generar beneficios económicos y facilitar las labores de riego, se considera que el sistema de riego por mangas es viable para las condiciones de país.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.2.1.3

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁴⁴ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁵⁰	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁴⁵	Fórmula de cálculo ⁴⁶	Línea base ⁴⁷	Meta del indicador ⁴⁸ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁴⁹		
2	3	Dosis seleccionada para el control de malezas utilizando un sistema de aspersión	Dosis recomendada	Dosis recomendada seleccionada/ Dosis actual de herbicidas	MCPA 1L/ha CLINCHER 2 L/ha RICER 200 cc/ha BASAGRA N 2 L/ha	Dosis iguales o menores a la línea base	Septiembre 2020	Septiembre 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									

⁴⁴ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁴⁵ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁴⁶ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁴⁷ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁴⁸ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁴⁹ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁵⁰ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

De las dosis utilizadas, las máximas tuvieron mejor control de la población de malezas presente en el cultivo bajo riego por aspersión. Sin embargo, debido a la ausencia de lámina de agua, y por ende, a la aparición de otras malezas poco comunes en el cultivo del arroz, se debió realizar aplicaciones de herbicidas como el Arrat® (Tritosulfurón 25% más Dicamba-sodio 55%), más un coadyuvante (DASH®), logrando un control de un 100% de ambrosia (*Ambrosia spp*) y un 50% de duraznillo (*Polygonum persicaria*). Sin embargo, los controles no fueron completamente efectivos y el sistema de riego favoreció la aparición de segundas generaciones de malezas. La maleza que se observó con mayor frecuencia, posterior a la aplicación de los herbicidas, fue Hualcaho blanco (*Equinochloa cruz-pavonis*) y malezas del género *Eragrostis spp*. El Hualcaho blanco, se logra controlar con una aplicación posterior de herbicidas, como Clincher, Ricer, Loyant, Facet, con una efectividad cercana al 85%. Sin embargo, en el caso de la maleza del género *Eragrostis spp*, no se logró un control superior al 20%. Por ello, en el caso del riego por aspersión se debió utilizar las mismas dosis pero con el doble de las aplicaciones consideradas en condiciones de riego convencional. Una solución futura sería homologar lo realizado en Brasil en donde se aplican dosis dobles a lo recomendado de sellante (Pendimetalina o Clomazone), inmediatamente posterior a la siembra más un protector del cultivo para evitar la fitotoxicidad en el cultivo. Además, se utilizan variedades Clearfield que permiten incrementar las posibilidades de herbicidas a elegir.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.1.1.5 y Figura 34

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁵¹ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁵⁷	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁵²	Fórmula de cálculo ⁵³	Línea base ⁵⁴	Meta del indicador ⁵⁵ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁵⁶		
3	4	Tres (3) mejores líneas evaluadas para tolerancia al estrés hídrico	Líneas experimentales con rendimientos altos, mayores a la variedad comercial		No existen estudios publicados previamente	3 líneas	Septiembre 2020	Septiembre 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Se realizó la siembra y cosecha de 100 genotipos que están en evaluación la temporada 2018-2019. Posteriormente, en la temporada 2019-2020, se evaluó los mejores 10 genotipos desde los que se eligió sólo tres (3). Estos tienen una buena tolerancia al menor uso de agua (genotipos: G47, G92 y G27).									

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.
Anexo 16.2.1.4 Figura 38

⁵¹ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁵² Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁵³ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁵⁴ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁵⁵ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁵⁶ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁵⁷ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁵⁸ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁶⁴	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁵⁹	Fórmula de cálculo ⁶⁰	Línea base ⁶¹	Meta del indicador ⁶² (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁶³		
5	5	Ejecutar un Curso de riego	Asistentes técnicos y Agricultores asistentes		Asistencia de 30 a 50 personas	Superar las 80 personas	Julio de 2019	31 de julio de 2020	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Un (1) Curso de Riego, “Sustentabilidad del cultivo del arroz a través del manejo eficiente del agua”, realizado el 31 de Julio de 2019. El curso contó con la exposición de cinco (5) expertos: el Sr. José Rojas, técnico de riego de la asociación de regantes del embalse Digua, expertos de RUBICON Waters (empresa Australiana con experiencia en riego con telemetría), Viviana Becerra (INIA), Gabriel Donoso (INIA), Patricio González (Riego por Pulsos Chile).

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.3.19.7 y 16.3.19.8

⁵⁸ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁵⁹ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁶⁰ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁶¹ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁶² Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁶³ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁶⁴ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁶⁵ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁷¹	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁶⁶	Fórmula de cálculo ⁶⁷	Línea base ⁶⁸	Meta del indicador ⁶⁹ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁷⁰		
5	6	Realización de 6 días de campo	Agricultores asistentes	Agricultores asistentes	Asistencia de 50 a 100 personas	Superar las 80 personas	Marzo 2020	31 de Enero de 2020	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

- Tres (3) actividades de campo en Parral (20 de marzo de 2018; 25 de marzo de 2018) y Longaví (23 de enero de 2018), las cuales tuvieron buena convocatoria.
- Un (1) día de campo en predio experimental Francisco Jiménez el 16 de noviembre de 2018. Esta actividad contó con la participación de 30 personas entre agricultores, técnicos de INDAP y visitantes de instituciones del extranjero.
- Un (1) día de campo en Parral que contó con la participación de 121 personas, entre agricultores, técnicos de INDAP, representantes de empresas molineras e investigadores. Esta actividad se realizó en el campo experimental Francisco Jiménez el 21 de marzo de 2019.
- Un (1) día de campo en campo de agricultor de Parral (31 de enero de 2020).

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Las dos actividades restantes no se lograron concretar debido a la pandemia. Los montos asociados se redestinaron a la edición de un Libro.

Anexo 16.3.1, 16.3.2, 16.3.5, 16.3.14, 16.3.16, 16.3.19.2, 16.3.19.3 y 16.3.19.5.

⁶⁵ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁶⁶ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁶⁷ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁶⁸ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁶⁹ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁷⁰ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁷¹ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁷² (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁷⁸	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁷³	Fórmula de cálculo ⁷⁴	Línea base ⁷⁵	Meta del indicador ⁷⁶ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁷⁷		
5	7	Edición de un Libro relacionado con el cultivo del arroz (reemplaza el Desarrollo de 1 manual técnico y económico)	Libro relacionado con el cultivo	Nº	No existe	1 Libro	30 de septiembre	En solicitud de cambio	90%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

El presente proyecto, tenía comprometido actividades de difusión con los agricultores y la publicación de una manual de riego. Dada la situación de la pandemia el INIA suspendió las actividades presenciales. Estas actividades fueron remplazadas por la realización de un ciclo de charlas nacionales e internacionales a través de cuatro (4) webinars y la publicación de un libro de arroz, que contiene la información comprometida en el manual y que además relata la situación actual y pasada sobre el arroz en Chile y una mirada a futuro.

Actualmente, el manuscrito del libro, de aproximadamente 800 páginas, fue revisado técnicamente por profesionales de INIA.

Las fases que restan para la conclusión de libro son:

- 1) Edición periodística del documento por parte de INIA.
- 2) Visto bueno por parte de FIA.
- 3) Registro de la publicación en DIBAM y registro para obtención de ISBN.
- 4) Diagramación, diseño e impresión del documento (Imprenta Trama impresores S.A.).

Debido a que la ejecución del proyecto finalizó el 30 de septiembre de 2020, y a que las fases necesarias para terminar con la impresión del libro requieren más plazo, se solicita la entrega del libro impreso posterior al término del proyecto, durante el mes de diciembre 2020.

⁷² Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁷³ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁷⁴ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁷⁵ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁷⁶ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁷⁷ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁷⁸ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.
No aplica

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁷⁹ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁸⁵	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁸⁰	Fórmula de cálculo ⁸¹	Línea base ⁸²	Meta del indicador ⁸³ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁸⁴		

⁷⁹ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁸⁰ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁸¹ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁸² Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁸³ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁸⁴ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁸⁵ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

5	8	Edición de un (1) video de riego editado	1 video de riego	1 video	No existe	1 video editado	Septiembre de 2020	Septiembre de 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Se elaboró un video educativo relacionado con el riego el uso de mangas de riego en cultivo del arroz.									

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.
Anexo 16.3.12

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁸⁶ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁹²	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁸⁷	Fórmula de cálculo ⁸⁸	Línea base ⁸⁹	Meta del indicador ⁹⁰ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁹¹		
5	9	Realización de publicaciones en página web	Nº de Publicaciones		No existe	10 publicaciones	Septiembre de 2020	Septiembre de 2020	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									

⁸⁶ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁸⁷ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁸⁸ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁸⁹ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁹⁰ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁹¹ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁹² Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

- 1.- Link:<http://www.inia.cl/blog/2018/11/28/inia-capacito-a-productores-en-gases-de-efecto-invernadero-y-manejo-del-agua-en-arroz>
- 2.- Publicación en Portal Agro (6 de abril de 2019; <https://www.portalagrochile.cl/2019/04/06/inia-presento-en-parral-investigacion-que-busca-mejorar-eficiencia-de-uso-del-agua-en-arroz/>).
- 3.- Publicación en página web de INDAP (<https://www.indap.gob.cl/noticias/detalle/2019/08/07/arroceros-de-parral-asistieron-a-capacitaci%C3%B3n-en-uso-eficiente-del-agua>).
- 4.- Publicación en página web de FIA (<http://www.fia.cl/expertos-entregan-alternativas-para-un-cultivo-de-arroz-mas-ecofriendly/>).
- 5.- Publicación en página web de diario la discusión (<http://www.ladiscusion.cl/buscan-mejorar-eficiencia-de-uso-del-agua-en-arroz/>).
- 6.- Publicación en diario el centro (<https://diarioelcentro.cl/expertos-entregan-alternativas-para-un-cultivo-de-arroz-mas-ecofriendly/>).
- 7.- Publicación en Vivimos la Noticia (<https://vivimoslanoticia.cl/noticias/region-del-maule/parral/2020/02/10/expertos-entregan-alternativas-para-un-cultivo-de-arroz-mas-sustentable/>).
- 8.- Publicación de presentación realizada en página web de ODEPA (<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/PresentacionInia20181206.pdf>).
- 9.- Publicación en página web de Canal 2 Linares (<https://www.canal2linares.cl/2019/08/actores-de-la-cadena-arrocera-se.html>).
- 10.- Publicación en página web del Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal (<https://www.opia.cl/601/w3-article-113169.html>).
- 11.- Publicación en página web de TV Maule (tvmaule.cl/inia-presento-en-parral-investigacion-que-busca-mejorar-eficiencia-de-uso-del-agua-en-arroz/).
- 12.- Publicación en Cira Biobío (<https://www.cirabiobio.cl/v2/?p=1460>).
- 13.- Publicación en Mundo Agropecuario (<http://www.mundoagropecuario.cl/new/2018/11/29/inia-capacito-a-productores-en-gases-de-efecto-invernadero-y-manejo-del-agua-en-arroz/>).
- 14.- Publicación en página web de Atentos diario digital (<https://www.atentos.cl/productores-arroceros-de-parral-asistieron-a-curso-de-capacitacion/>).
- 15.- Publicación en diario electrónico Maulee.cl (<https://www.maulee.cl/agricultores-arroceros-se-capacitan-para-mejorar-la-eficiencia-del-uso-del-agua-en-sus-cultivos/>).

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

El respaldo de la información corresponde al link de cada noticia.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ⁹³ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁹⁹	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ⁹⁴	Fórmula de cálculo ⁹⁵	Línea base ⁹⁶	Meta del indicador ⁹⁷ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁹⁸		
5	10	Realización de 10 presentaciones en congresos	Nº de presentaciones		No existe	10 presentaciones	Diciembre de 2019	9 de enero de 2020	60
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
1.- Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Mario Paredes, Hamil Uribe. 2018. Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en Chile. XIII Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe, Piura, Perú. 2.- Jorge González, Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Mario Paredes, Hamil Uribe. 2018. Análisis económico de la implementación de un sistema de mangas de riego para el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en Chile. Estudio preliminar. LXIX Congreso Agronómico, Punta Arenas. 3.- Jorge González, Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Mario Paredes, Hamil Uribe. Factibilidad Económica de la implementación de mangas de riego en el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en Chile. LXX Congreso Agronómico 7-9 de enero, Universidad Católica, Campus San Joaquín, Santiago. 4.- Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Hamil Uribe. 2020. Utilización de riego presurizado en el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.). LXX Congreso Agronómico, Universidad Católica, Campus San Joaquín, Santiago. 5.- Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Hamil Uribe. 2020. Mejoras en la productividad del agua en el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en Chile. LXX Congreso Agronómico, Universidad Católica, Campus San Joaquín, Santiago. 6.- Gabriel Donoso, Viviana Becerra, Mario Paredes, Hamil Uribe. 2020. Sustainability of rice production in Chile through the study of cold tolerance and watert productivity. LXX Congreso Agronómico, Universidad Católica, Campus San Joaquín, Santiago.									

⁹³ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

⁹⁴ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁹⁵ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁹⁶ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁹⁷ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁹⁸ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁹⁹ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

El congreso programado para el 2019 fue suspendido debido al estallido social y realizado en enero de 2020. Anexo 16.3.6, 16.3.7, 16.3.8, 16.3.9, 16.3.10 y 16.3.11.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ¹⁰⁰ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ¹⁰⁶	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹⁰¹	Fórmula de cálculo ¹⁰²	Línea base ¹⁰³	Meta del indicador ¹⁰⁴ (situación final)	Fecha alcance meta programada ¹⁰⁵		
5	11	Realización de 2 publicaciones científicas sobre riego (2 Artículos incluidos en Libro en edición)	Nº de publicaciones	Nº	No existe	2 publicaciones	30 de septiembre de 2020	30 de septiembre de 2020 (escrito en edición periodística)	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Las publicaciones están en proceso de revisión final y se adjunta en los anexos.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 16.3.18

¹⁰⁰ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹⁰¹ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹⁰² Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹⁰³ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

¹⁰⁴ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

¹⁰⁵ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

¹⁰⁶ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ¹⁰⁷ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ¹¹³	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹⁰⁸	Fórmula de cálculo ¹⁰⁹	Línea base ¹¹⁰	Meta del indicador ¹¹¹ (situación final)	Fecha alcance meta programada ¹¹²		
5	12	Realización de 10 capacitaciones	Nº asistentes	Nº de Charlas	No aplica	10 charlas técnicas	Abril de 2020	24 de septiembre de 2019	70

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

- Una capacitación en Parral a agricultores de Profo GTT y asistentes técnicos (hasta junio de 2018).
- Una capacitación a agricultores líderes y asistentes técnicos del cultivo del arroz en Parral el día 15 de noviembre de 2018.
- Una capacitación para asistentes técnicos de INDAP, agricultores y Empresas Molineras involucradas en el proyecto con el fin conocer el uso del sistema de riego por mangas para el cultivo del arroz, donde se contó con la presencia del argentino, Sr. Sebastián Belaustegui, Gerente fundador de la empresa PYR continental.
- Una (1) Capacitación de agricultores arroceros en temas relacionados con el la fertilidad de suelo, control de malezas y uso eficiente del agua en el cultivo del arroz (5 de septiembre de 2019).
- Se realizó dos (2) capacitaciones para agricultores arroceros en diferentes contextos, considerando actividades desarrolladas por diferentes grupos de agricultores asesorados por asistentes técnicos de INDAP.
- Una (1) capacitación de agricultores en alternativas de riego para el cultivo del arroz en Chile. En día de campo organizado por Servicio de Asistencia Técnica de INDAP SAT la Selva a cargo del Sr. Marcelo Ibáñez. La actividad se realizó el 16 de diciembre y contó con la asistencia de 45 personas.

Debido a la pandemia, no se realizaron el resto de las actividades de capacitación comprometidos.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

¹⁰⁷ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹⁰⁸ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹⁰⁹ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹¹⁰ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

¹¹¹ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

¹¹² Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

¹¹³ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ¹¹⁴ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ¹²⁰	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹¹⁵	Fórmula de cálculo ¹¹⁶	Línea base ¹¹⁷	Meta del indicador ¹¹⁸ (situación final)	Fecha alcance meta programada ¹¹⁹		
5	13	Realización de 6 informes	Informe entregado	Nº	No aplica	6	Informe entregado	12 de octubre de 2020	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Finalmente, la cantidad de informes solicitados por FIA son: Cinco informes de avance más un informe final. Los informes de avance se encuentran aprobados y el presente informe corresponde al informe final.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

No aplica

¹¹⁴ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹¹⁵ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹¹⁶ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹¹⁷ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

¹¹⁸ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

¹¹⁹ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

¹²⁰ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado ¹²¹ (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ¹²⁷	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ¹²²	Fórmula de cálculo ¹²³	Línea base ¹²⁴	Meta del indicador ¹²⁵ (situación final)	Fecha alcance meta programada ¹²⁶		
5	14	Realización de Seminario de Lanzamiento y de finalización de proyecto	Nº asistentes		Asistencia de 80 a 150 personas	2 Seminarios realizados	Mayo de 2020	25 de enero de 2018	50
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Se realizó un día de campo en el campo experimental Francisco Jiménez de Parra. Allí se realizó el seminario de lanzamiento del proyecto y además se realizaron charlas relacionadas con el riego para el cultivo del arroz. Esta actividad fue cofinanciada por un proyecto Fondef relacionado con la obtención de la primera variedad de arroz Clearfield de Chile, que lidera Viviana Becerra, y de un proyecto INNOVA Corfo, relacionado con metales pesados en arroz, que lidera el investigador Mario Paredes, lo que permitió contar con presentaciones relacionadas con esos temas. Además se contó con la presencia del experto en riego por mangas Sr. Ricardo Robinson (Financiado por Fondef), quien mostró la tecnología de riego por pulsos a los agricultores. La unión entre estos proyectos permitió realizar una actividad masiva que contó con la asistencia de 170 personas, entre agricultores, asistentes técnicos, Gerentes de empresas molineras e investigadores. El seminario de finalización se debió suspender debido a la pandemia.									
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)									
Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.									
Anexo 16.3.14 y 16.3.19.2									

¹²¹ Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

¹²² Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

¹²³ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

¹²⁴ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

¹²⁵ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

¹²⁶ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

¹²⁷ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

6.2 Análisis de brecha.

Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos.

En el caso de las presentaciones a congresos, no se logró concretar la cantidad comprometida. A pesar de ello, dos de las presentaciones fueron internacionales, una en una conferencia de arroz en Perú (XIII Conferencia Internacional de Arroz) y la otra en la conferencia ITRC en Brasil (7th International Temperate Rice Conference). En el caso del Libro pendiente, se está en proceso de revisión final y solicitud respectiva para extensión de plazo de entrega.

7. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO

Especificar los cambios y/o problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto. Se debe considerar aspectos como: conformación del equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Uso de Herbicida Arrat® (Tritosulfurón 25% más Dicamba-sodio 55%) para mejorar control de malezas de hoja ancha.	Positivo: Mejoró el control de malezas que no era posible eliminar con otros herbicidas como ambrosia, duraznillo y sanguinaria.	Este herbicida se utilizó en los ensayos establecidos en San Carlos, donde el nivel de infestación de malezas fue mucho mayor que en Parral.
Cambio de las actividades presenciales del último año (días de campo y capacitaciones) por edición de Libro y las actividades de difusión se reemplazaron por seminario online de riego para el arroz con 9 charlas.	Negativo: No se pudo realizar las actividades de cierre del proyecto. Positivo: Se concretó la realización de cuatro webinars con presentaciones relacionadas con el proyecto y presentaciones asociadas a riego de colegas de Brasil, Uruguay y Argentina. Positivo: Se logró incluir la publicación de un libro, el cual contiene la información relacionada del proyecto y además otros aspectos	Se realizó la re-itemización respectiva.

	relacionados con el cultivo.	
Cambio de la realización de manual por la edición de Libro.	Positivo: Se logró incluir la publicación de un libro, el cual contiene la información relacionada del proyecto y además otros aspectos relacionados con el cultivo.	Se realizó la re-itemización respectiva.

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

Gran parte de las actividades comprometidas en el proyecto fueron desarrolladas como: Evaluaciones de diferentes sistemas de riego en campos experimentales y campos de agricultores, selección de línea experimental con mayor tolerancia al menor riego, Actividades de difusión (Cursos, seminarios, charlas, capacitaciones, webinars, publicaciones divulgativas y días de campo), uso de diferentes tipos de herbicidas en riego por aspersión y evaluación económica de la implementación de la mejor solución encontrada.

8.2 Actividades programadas y no realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

De las actividades realizadas solamente queda pendiente la edición periodística e impresión del libro comprometido.

8.3 Analizar las brechas entre las actividades programadas y realizadas durante el período de ejecución del proyecto.

En el caso del uso de agua, es complejo disminuir el uso de agua de riego en Chile a menos de 10.000 m³/ha. Eso genera, bajas en los rendimientos como fue observado en los ensayos de riego por aspersión. Por ello, la meta planteada de 8500 m³/ha, puede ser aplicable a países con abundantes precipitaciones en periodos de mayor crecimiento de la planta. En el caso de las actividades presenciales programadas para el final del proyecto, no se logró realizar la totalidad. Esto fue, reemplazado por la edición del libro (pendiente) y la realización de cuatro webinars.

9. POTENCIAL IMPACTO

9.1 Resultados intermedios y finales del proyecto.

Descripción y cuantificación de los resultados obtenidos al final del proyecto, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias; ventas y/o anuales (\$), nivel de empleo anual (JH), número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios; nuevos empleos generados por efecto del proyecto, nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas.

Resultados futuros:

1. La utilización de aforadores Parshall en los campos arroceros, permitirá cuantificar el uso del agua por parte de los agricultores. Con ello, se podrá plantear en el futuro el establecimiento de políticas públicas respecto al uso de agua en el sector arrocero, con el fin de evitar el desarrollo de este cultivo en sectores que requieran un elevado uso de agua ($>25.000 \text{ m}^3/\text{ha}$). Además podrá asegurar el uso de agua del agricultor, asociado a las acciones correspondientes a su predio. La implementación de esta solución tecnológica permite el uso manual y/o digital del instrumento, a través del uso de sensores automáticos de nivel. Para aprovechar la tecnología desarrollada y adquirida en el proyecto, se continuará realizando mediciones en los campos de agricultores que tienen instalados los aforadores.
2. El uso de mangas de riego, fue considerado en general por los agricultores arroceros como una ventaja al momento de realizar riego con mayor rapidez y mejor control. La tecnología necesaria para la implementación de este nuevo sistema de riego, está disponible en el sector arrocero y su uso dependerá del interés de los agricultores, y de la ayuda de los asistentes técnicos de INDAP, quienes ya están capacitados para la utilización de esta tecnología. Por otro lado, posterior al proyecto, se continuará trabajando con los agricultores interesados que cuentan con los materiales entregados por el proyecto, con el fin de continuar con la validación del sistema de riego. Esto es un paso muy importante en la adopción de nuevas tecnologías, que normalmente requiere de cinco años.
3. Los resultados relacionados con la selección de genotipos con tolerancia superior a las variedades comerciales chilenas, es el primer paso para el desarrollo de material genético permitirá el menor uso de agua el cultivo de nuestro país. Es importante destacar que el material con mayores niveles de tolerancia al estrés hídrico, es de origen extranjero y se adapta bien a las condiciones climáticas de nuestro país.

10. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno que afectaron la ejecución del proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo y otros, y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

El efecto de la pandemia, generó dificultades en la finalización del proyecto, debido a que no se pudieron realizar las actividades presenciales. Las medidas que se tomaron fueron solicitar una extensión del plazo de cierre del proyecto de mayo a septiembre, destinar los recursos inicialmente destinados a actividades presenciales a la edición de un libro en reemplazo de un manual de riego y la realización de cuatro webinars.

11. DIFUSIÓN

Describa las actividades de difusión realizadas durante la ejecución del proyecto. Considere como anexos el material de difusión preparado y/o distribuido, las charlas, presentaciones y otras actividades similares.

	Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
1	31/05/2017	INACAP, Talca	Charla técnica sobre el proyecto FIA PYT-2017-0190 en Convocatoria Nacional Temática 2017 "Proyectos de Innovación Adaptación al cambio climático a través de una agricultura sustentable".	45	Presentación realizada
2	21/09/2017	INIA Quilamapu, Chillan	Presentación de detalle metodológico a Comité estratégico de proyecto FIA PYT-2017-0190.	7	Presentación realizada
3	13/11/2017	Plaza de armas de Talca	Charla técnica sobre el proyecto FIA PYT-2017-0190, en Talca, en Feria Tecnológica de Instituto Santo Tomás	40	Presentación realizada
4	25 de enero de 2018	Parral	Seminario de inicio de proyecto	170	Fotografías y lista de asistentes.
5	23 de enero de 2018	Longaví	Charla técnica para agricultores: "Nuevas tecnología de riego para el	200	Fotografías y noticia en página web de INIA.

			cultivo del arroz”, en campo de agricultor, Sr. José Pérez, en día de campo de arroz en Longaví		
6	25 de marzo de 2018	Parral	Charla técnica para agricultores en día de campo: “Avances en la implementación de nuevas tecnología de riego para el cultivo del arroz”, organizado por empresas Tucapel S.A., Parral	170	Fotografías y listado de asistentes.
7	13 de marzo de 2018	Chillán	Charla técnica en el contexto de visita de investigadores especialistas en control de malezas Dr. Francesco Vidotto (Italia) y Dr. Aldo Merotto (Brasil) en Parral	10	Fotografía y noticia en página web de INIA.
8	20 de marzo de 2018	Parral	Charla técnica para agricultores en día de campo: “Nuevas tecnologías para riego en el cultivo del arroz”, Parral	60	Fotografía
9	27 de marzo de 2018	Parral	Charla técnica a agricultores de Profo GTT: “Condiciones de riego en el cultivo del arroz”, Parral	12	Fotografía y noticia en página web de INIA.
10	10 de mayo de 2018	Talca	Charla técnica a público en	30	Fotografía

			general en IFT Agro: "Presentación de proyecto FIA: 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", Talca		
11	14-19 de mayo de 2018	Piura /Perú	Poster en Conferencia Científica: "Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en Chile", XIII Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe, Piura, Perú	600	Fotografía
12	24 de mayo de 2018	Parral	Charla técnica (capacitación) a agricultores de Profo GTT: "Uso de alternativas para el riego en el cultivo del arroz en Chile", Parral	12	Fotografía
13	15 de noviembre de 2018	Hotel Brescia, Parral	Capacitación de agricultores líderes y Asistentes técnicos de	30	Listado de asistentes y noticia en página web de INIA

			arroz.		
14	16 de noviembre de 2018	Parcela experimental, Km 20 camino a Cauquenes.	Día de campo para agricultores y asistentes técnicos de arroz.	30	Listado asistentes y noticia en página web de INIA
15	6 de diciembre de 2018	Asociación de regantes del Digua, Parral	Seminario de Innovación organizado por: ODEPA.	40	Sin documentación generada. Invitación desde ODEPA.
16	28 de noviembre de 2018	INIA Carillanca de Temuco	Curso de capacitación para personal del SAG a nivel nacional.	23	Sin Documentación Generada. Invitación desde INIA Carillanca.
17	21 de marzo	Parral	Día de campo	121	Listado de participantes y noticia. Anexo 14.3 y 14.5.
18	2 de abril	Parral	Charla técnica y capacitación	13	Listado de participantes Anexo 14.6
19	9 de mayo	Talca	IFT Talca 2019	30	Sin documentación
			Total participantes	1246	

12. PRODUCTORES PARTICIPANTES

Complete los siguientes cuadros con la información de los productores participantes del proyecto.

12.1 Antecedentes globales de participación de productores

Debe indicar el número de productores para cada Región de ejecución del proyecto.

Región	Tipo productor	N° de mujeres	N° de hombres	Etnia (Si corresponde, indicar el N° de productores por etnia)	Totales
Maule	Productores pequeños	0	6	0	6
	Productores medianos-grandes	0	0	0	0
Ñuble	Productores pequeños	0	2	0	2
	Productores medianos-grandes	0	1	0	1
Totales		0	9	0	

12.2 Antecedentes específicos de participación de productores

Nombre	Ubicación Predio			Superficie há.	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		
Ovidio Morales	Maule	Parral		11	2018-2019
Enrique Campino	Maule	Parral		13	2018-2019
José Pérez	Maule	Longaví		4,5	2018-2019
Manuel Jaidar	Maule	Parral		44	2018-2019
Juan Norambuena	Maule	Parral		2,5; 1,2; 2,7; 2,7	2018-2019
Nelso Badilla	Ñuble	San Carlos		7,5	2019-2020
Nelso Badilla	Ñuble	San Carlos		7	2019-2020
Jorge Romero	Maule	Parral		10	2019-2018
Segundo Maureira	Maule	Longaví		3,2	2019-2020

13. CONSIDERACIONES GENERALES

13.1 ¿Considera que los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto?

Los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto:

“Desarrollar un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile”. Lo anterior, debido a que se encontró que el sistema de riego por mangas para el cultivo del arroz permite realizar un riego con mayor velocidad, llegando eficientemente a todos los sectores del campo, permitiendo un mayor control del riego por parte del encargado del riego del campo, disminuyendo el consumo de agua y en algunos casos incrementando los rendimientos en grano. Sin embargo, es necesario considerar que para el correcto funcionamiento de este sistema de riego, se requiere de caudales mínimos y una altura de la fuente de agua superior a la del nivel del campo (>40cm).

13.2 ¿Cómo fue el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

La relación ha sido expedita en cuanto a la comunicación y solicitudes realizadas. Los asociados del proyecto, Tucapel S.A., Carozzi S.A., asociaciones gremiales de agricultores y miembros del comité estratégico del proyecto, han colaborado activamente en la difusión del proyecto, logrando una buena convocatoria en las actividades realizadas.

13.3 A su juicio, ¿Cuál fue la innovación más importante alcanzada por el proyecto?

La generación de un paquete tecnológico que integra el uso de aforadores Parshall de medición de caudal, más el uso de mangas de riego. Este sistema, es fácil es versátil, fácil de implementar y ayuda a la realización de un riego tecnificado.

Por otro lado, la utilización de riego por aspersión a nivel de ensayos (3 años) y campo de agricultor (1 año), es por ahora un sistema complejo de abordar en el corto plazo. Esto debido a que, considera elevados costos por concepto de riego e implementación, y bajos retornos debido a la disminución del rendimiento en grano y elevado gasto en herbicida.

13.4 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

No existen otros aspectos relevantes para informar.

14. CONCLUSIONES

Realice un análisis global de las principales conclusiones obtenidas luego de la ejecución del proyecto.

- 1.- Se considera al riego por mangas como un sistema de riego eficiente y que permite mejorar la sustentabilidad del cultivo, incrementando el rendimiento en grano, disminuyendo el uso de agua y facilitando el trabajo del agricultor.
- 2.- El sistema de riego por aspersión requiere mayor desarrollo para poder ser utilizado en el cultivo del arroz, debido a los bajos rendimientos, el alto consumo de agua por la ausencia de precipitaciones en el periodo de mayor necesidad hídrica por parte del cultivo en Chile y al alto costo del uso de mayor cantidad de herbicidas y del bombeo del agua.
- 3.- La selección de una línea experimental con mayores niveles de tolerancia al estrés hídrico, permite a futuro pensar en un menor uso de agua. Sin embargo, es importante considerar la línea experimental como potencial padre donador de genes y se podría evaluar la posibilidad de realizar cruzamientos con las variedades comerciales de nuestro país.
- 4.- Finalmente, considerando que más de 80% del sector arrocero continúa utilizando la metodología de siembra con arroz pre-germinado, los resultados positivos en términos agronómicos y económicos, demuestran que el uso del sistema de riego por mangas puede ser considerado como una alternativa para los agricultores arroceros de Chile. Por otro lado, el uso de este sistema para siembra directa, a pesar de no significar un beneficio económico para el agricultor, permite una mejor utilización del recurso hídrico el cual es cada vez más escaso.

15. RECOMENDACIONES

Señale si tiene sugerencias en relación a lo trabajado durante el proyecto (considere aspectos técnicos, financieros, administrativos u otro).

En primer lugar, es conveniente que los proyectos similares a estos que tengan aceptación por la mayoría de los agricultores, debieran ser considerados en una convocatoria especial para la implementación de estas tecnologías. Se debe considerar en este punto, la formación de capacidades asociada a agricultores arroceros, asistentes técnicos de INDAP y de las empresas asociadas, quienes pueden aplicar las tecnologías que tuvieron éxito en este proyecto sin mayor dificultad.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el apoyo internacional es vital en el desarrollo de este tipo de propuestas. Por ello, a través de este proyecto se logró asistir a dos congresos internacionales, no contemplados en el proyecto, gracias a la gestión de FIA. Los contactos realizados en los congresos internacionales permitieron la ejecución de una serie de cuatro webinars internacionales, que le otorgaron una mayor sustentabilidad al proyecto, a través de la exposición de experiencias chilenas y extranjeras. Sin embargo, actualmente no existe la posibilidad de invitar expertos extranjeros (pasajes, viáticos), lo que sin duda es clave en este tipo de proyecto de implementación de tecnologías experimentados en el extranjero, en nuestro país.

Administrativamente, sería importante considerar que los montos asignados a las instituciones sean entregados a una cuenta corriente especial para cada proyecto FIA. Esta experiencia la realizan otras fuentes de financiamiento con bastante éxito.

Otro aspecto que podría mejorarse, es que las instituciones que realizan aporte pecuniario, entreguen los fondos al ejecutor, con el fin de que ellos ejecuten y rindan el gasto. Esto permite facilitar el proceso de compra y pago de lo comprometido en el proyecto.

En la medida de lo posible, este tipo de proyecto debiera considerar montos de dinero para alumnos tesis y en práctica. Ello permitiría incrementar la generación de capacidades y aumentar el personal necesario para realizar labores de muestreo y análisis, que en muchos casos se ven dificultadas por la falta de personal de base en las instituciones.

16 ANEXOS

16.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS ENSAYOS

16.1.1. CAMPO EXPERIMENTAL

16.1.1.1 ESTABLECIMIENTO DE ENSAYOS EN CAMPO.



Figura 1. Uso de sembradora de ensayos para la siembra directa de arroz en los campos experimentales de San Carlos y Parral. A. Superficie de campo experimental en la localidad de San Carlos destinada a ensayos del proyecto. B. Superficie de campo experimental de la localidad de Parral destinada a ensayos del proyecto. C y D. Máquina sembradora de ensayos, utilizada para siembra directa en campos experimentales de San Carlos y Parral.

16.1.1.2 RIEGO GRAVITACIONAL EN CAMPO EXPERIMENTAL



Figura 2. A la izquierda riego convencional y a la derecha Riego por mangas en Parral. El riego por mangas logro un llenado mucho más rápido y uniforme del cuadro (1 h 30 min) a diferencia del cuadro regado de manera convencional (5 h aproximadamente).



Figura 3. A la izquierda riego convencional y a la derecha Riego por mangas en Parral. Cuadros al estado de pleno llenado.



Figura 4. Canaleta Parshall operativa instalada en campo experimental de Parral. Esta canaleta está instalada en 4 ensayos en las localidades de San Carlos y Parral. Cada canaleta tiene un Sensor HOBO U20 para la medición automática y almacenaje de datos de nivel de agua, para el cálculo del caudal.

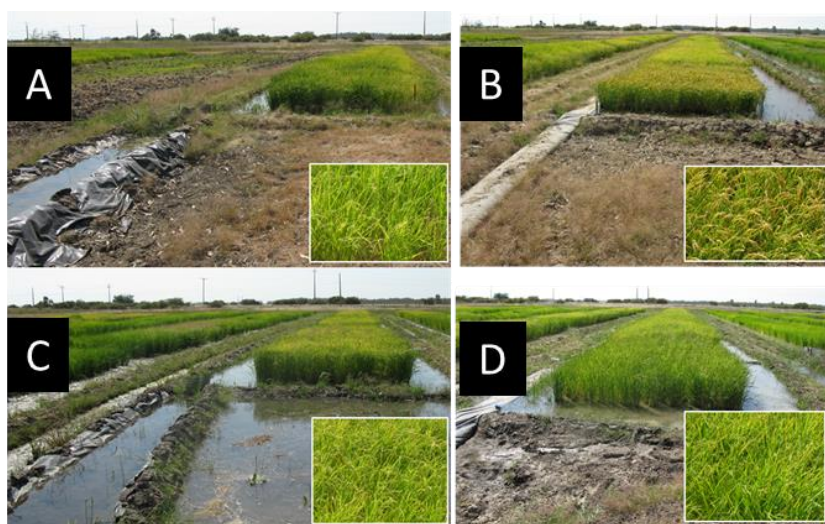


Figura 5. Diferentes sistemas de siembra y riego en campo experimental de Parral. A, Riego convencional en siembra con arroz pre-germinado; B, riego por mangas en siembra con arroz pre-germinado; C, riego convencional en siembra en seco de arroz; D, riego por mangas en siembra de arroz en seco. Se aprecia un buen desarrollo de las plantas las cuales se encuentran en etapa de madurez.

16.1.1.3 ESTABLECIMIENTO DE EVALUACIÓN DE GENOTIPOS TOLERANTES AL ESTRÉS HÍDRICO.



Figura 6. Ensayo para evaluar 100 genotipos de arroz en condiciones de estrés hídrico. Estos genotipos serán regados desde etapa de macolla hasta llenado de grano con sistema de riego por aspersión. Posterior al estado de macolla, se mantuvo una humedad de volumétrica en el suelo entre 30 a 40 %, hasta el final del experimento. Diseño de bloques al Azar con tres repeticiones.



Figura 7. Ensayo de los 10 mejores genotipos evaluados la temporada anterior. Estos genotipos serán regados desde etapa de macolla hasta llenado de grano con sistema de riego por aspersión. Posterior al estado de macolla, se mantuvo una humedad de volumétrica en el suelo entre 30 a 40 %, hasta el final del experimento. Diseño de bloques al Azar con tres repeticiones.

16.1.1.4 RIEGO POR ASPERSIÓN EN CAMPO EXPERIMENTAL



Figura 8. Sistema de riego por aspersión en ensayo de San Carlos. Inicio del establecimiento de las plantas de arroz.



Figura 9. Arroz en estado de madurez en sistema de siembra en seco con riego por aspersión en campo experimental. Esto indica que el cultivo se pudo establecer y llegó a madurez al utilizar este sistema de riego.



Figura 10. Foto aérea de siembra de arroz en seco con posterior riego mediante línea de aspersión en campo experimental. Etapa de madurez.



Figura 11. Siembra de arroz bajo riego por aspersión en campo experimental Francisco Jiménez, Parral. Etapa de madurez.

16.1.1.5 CONTROL DE MALEZAS EN RIEGO POR ASPERSIÓN.



Figura 12. Malezas presentes en riego por aspersión en ensayo experimental de San Carlos. Esto no logró ser controlado por los herbicidas utilizados convencionalmente, el uso de Arrat® permitió controlar una mayor parte de la malezas presentes.



Figura 13. Resultado del control de malezas con el herbicida Arrat®. Las malezas fueron afectadas por el herbicida aplicado. Por otro lado, el arroz no fue afectado.



Figura 14. Plantas de arroz establecidas bajo riego por pivote en campo experimental de arroz en Parral. No hubo gran problema de presencia de malezas y preventivamente se aplicaron los herbicidas convencionales Ricer® y Clincher®.

16.1.2 CAMPO DE AGRICULTOR

16.1.2.1 INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EN CAMPO DE AGRICULTOR

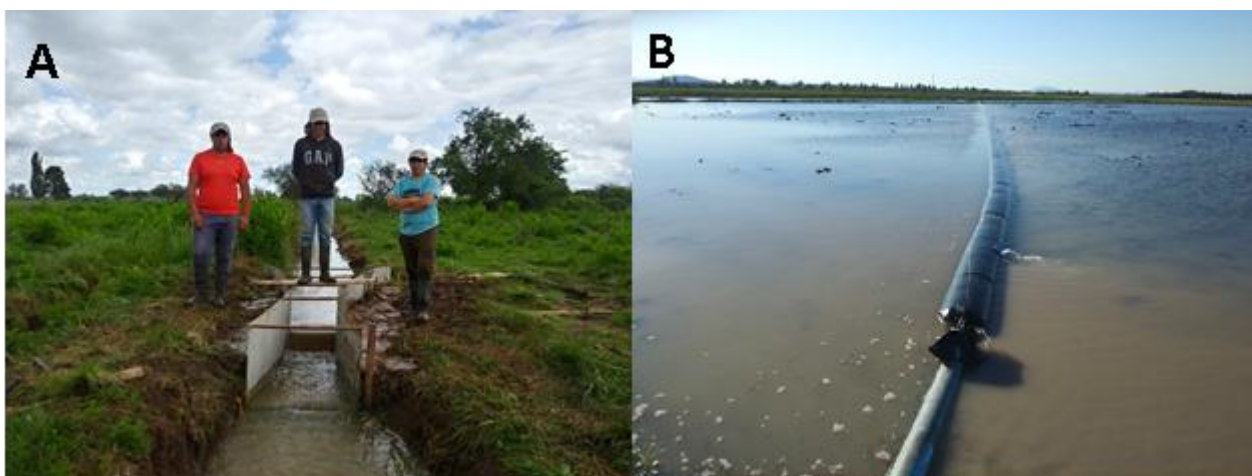


Figura 15. Ejemplo de instalación de sistemas de medición y riego en campo de agricultores. Riego convencional utilizando Canoa Parshall para medición de caudal en Informe técnico final
V 2018-06-29

campo de agricultor Sr. Ovidio Morales de Parral (A) y Riego por Mangas en campo de agricultor Sr. Manuel Jaidar de Parral (B).



Figura 16. Campo agricultor Sr. Ovidio Morales. Predio de 11 ha con control del riego a través de canaleta Parshall instalada. El agricultor utilizó $21.787 \text{ m}^3/\text{ha}$ de agua desde siembra a cosecha. Obtuvo un rendimiento de 7.4 t/ha y una productividad de agua de 0.34 kg/ m^3 . Fecha de siembra 5 de noviembre.



Figura 17. Campo agricultor Sr. Manuel Jaidar. Campo de 44 ha regado con sistema de manga de riego con agua proveniente de pozo profundo. El agricultor utilizó 11.128 m³/ha, desde la siembra hasta la cosecha. Obtuvo un rendimiento de 4.1 t/ha y una productividad de agua de 0.37 kg/ m³. Fecha de siembra 16 de noviembre.

Agricultor a cargo de Servicio de Asistencia Técnica de INDAP (SAT) de Sr. Nelso Badilla.

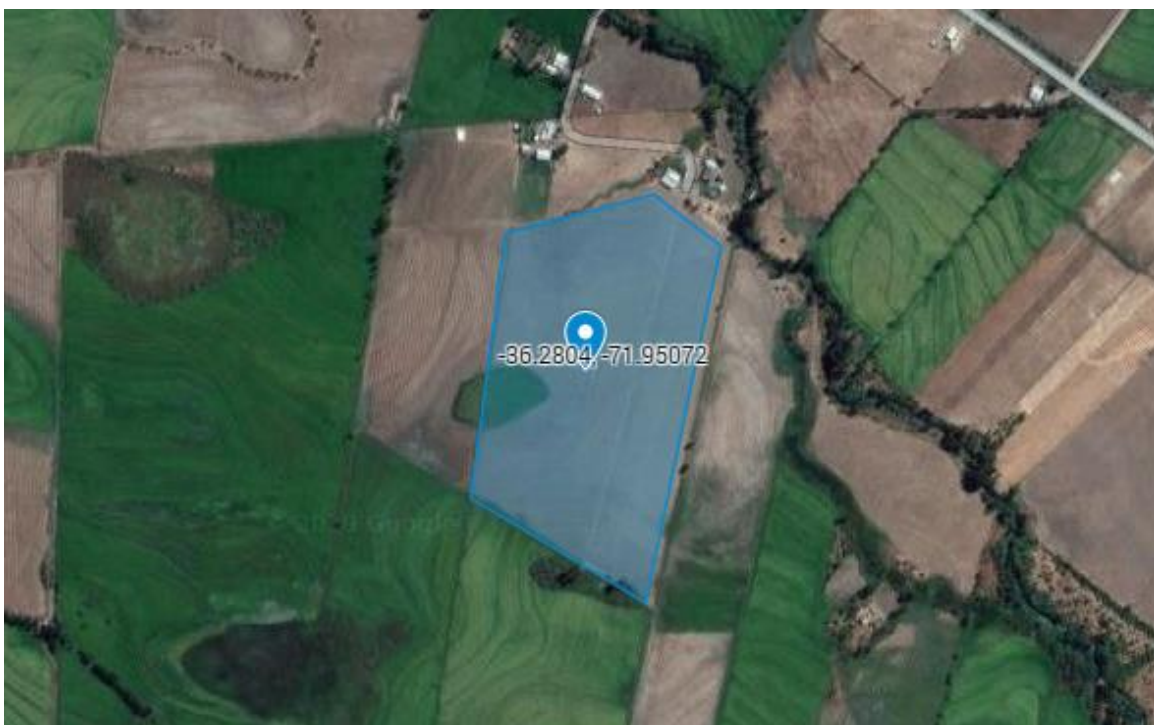


Figura 18. Campo de agricultor asesorado por Asistente técnico de INDAP, Sr. Nelso Badilla. El campo fue sembrado con siembra directa de arroz. En el predio se instaló una manga de riego con múltiples compuertas. La superficie del campo es de cerca de 7 ha y está ubicado en la comuna de Ñiquén.

Agricultor a cargo de SAT de Sr. Nelso Badilla.

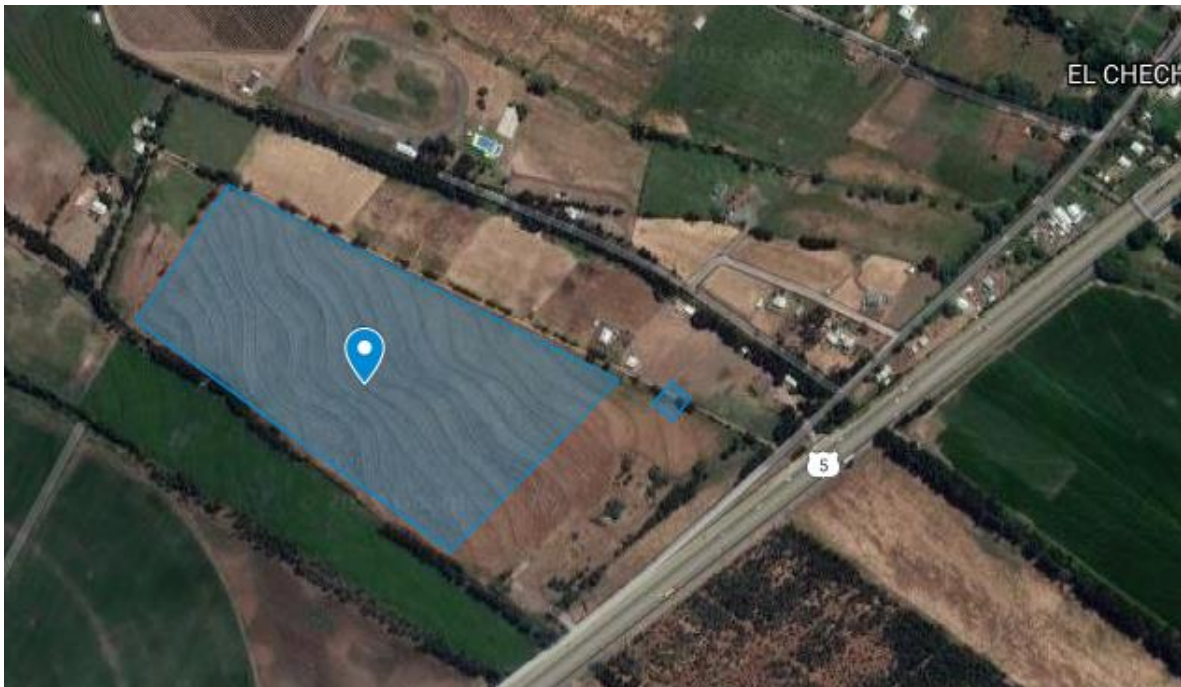


Figura 19. Campo de agricultor asesorado por Asistente técnico de INDAP, Sr. Nelso Badilla. La siembra fue realizada mediante la metodología de siembra directa y en el campo se instaló una canoa Parshall para medir el uso del agua por parte del agricultor. El campo tiene una superficie de aproximadamente 9 ha y está ubicado en la comuna de San Carlos.



Figura 20. Instalación de canoa Parshall. Agricultor Sr. Jorge Romero.



Figura 21. Superficie regada con manga con múltiples compuertas instalada en Parral. El arroz fue sembrado mediante siembra directa y la extensión de riego corresponde a 5 ha aproximadamente.



Figura 22. Instalación de sistema de riego por mangas a agricultor Sr. Jorge Romero en Parral.

Agricultor Ovidio Morales.

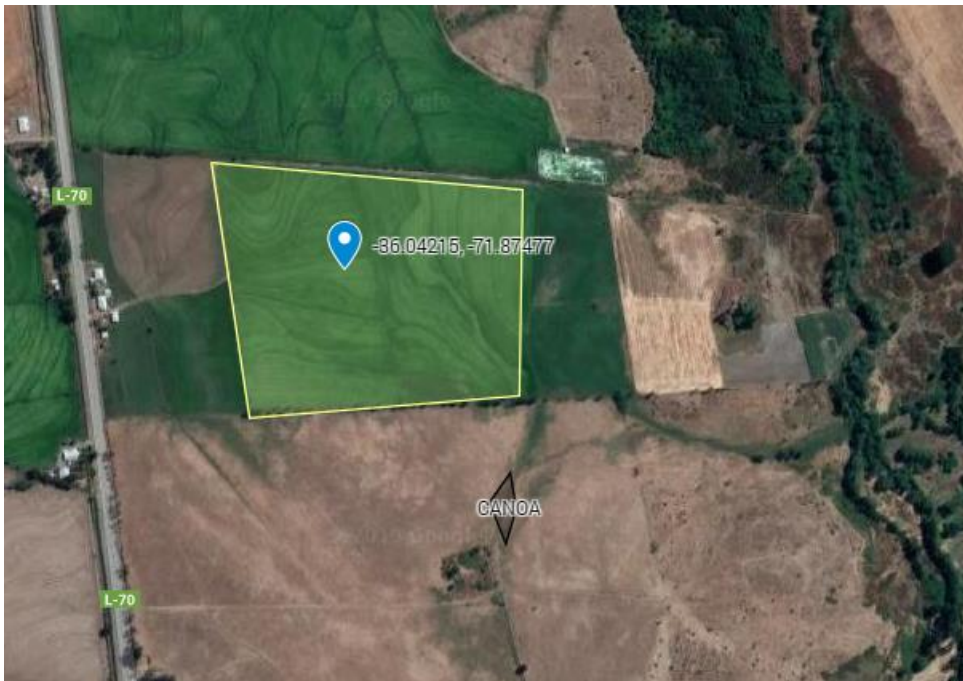


Figura 23. Siembra con arroz pre-germinado en campo del agricultor Sr. Ovidio Morales en Parral. El campo cuenta desde al año pasado con una canoa Parshall para medición de caudal.

Agricultor a cargo de SAT de INDAP, Sr. Juan Ibáñez.

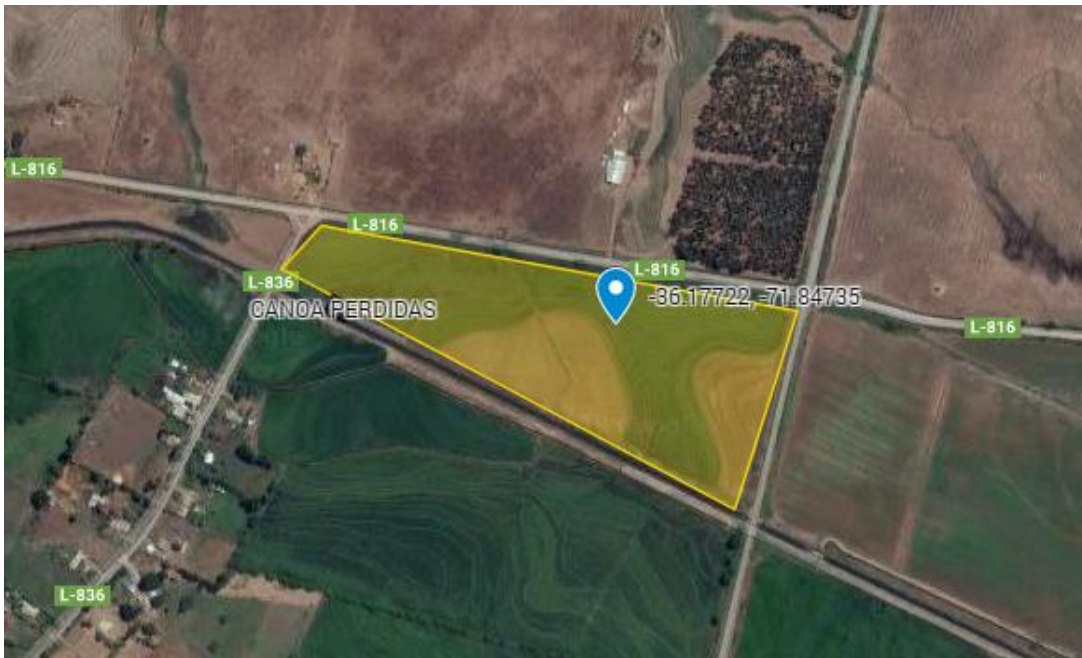


Figura 24. Siembra directa en campo de Agricultor perteneciente a Servicio de Asistencia Técnica de Juan Ibáñez (SAT La Selva) en Parral. El agricultor cuenta con un sistema de riego mediante motobomba y se instaló un sistema de riego por mangas con múltiples compuertas y una válvula de riego por pulsos.



Figura 25. Instalación de la manga de riego con múltiples compuertas en uno de los sectores del campo bajo riego con motobomba.

Agricultor a cargo de SAT de INDAP, Sr. Joel Escalona.



Figura 26. Siembra directa de arroz con sistema de riego por mangas y cuantificación del riego mediante canoa Parshall. El predio es de aproximadamente 4 ha.



Figura 27. Instalación de canoa Parshall.

Agricultor a cargo de SAT de INDAP, Sr. Joel Escalona.

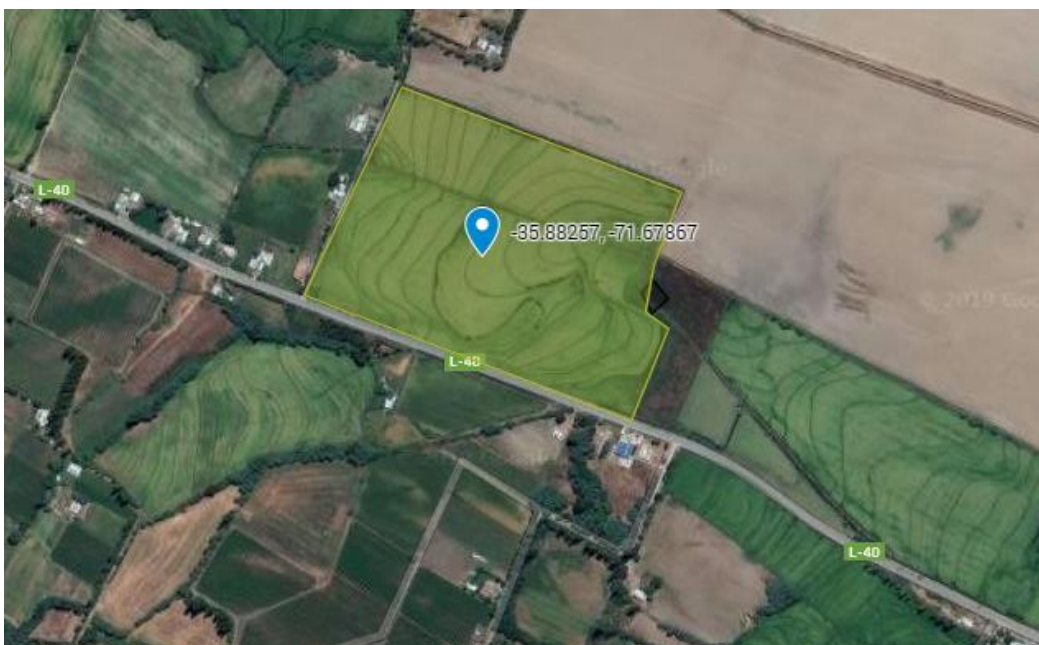


Figura 28. Siembra con arroz pregerminado de Agricultor arrocero en Linares. EL agricultor cuenta con una canoa Parshall para la medición de caudal, con registros cada 10 minutos. El predio es de aproximadamente 10 ha.



Figura 29. Instalación de la canoa Parshall.

16.1.3 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN PIVOTE CENTRAL



Figura 30. Siembra de arroz bajo pivote de riego por aspersión. Dosis de semilla de 140 kg/ha en 12 ha. La semilla fue desinfectada con funguicida Celest® y posteriormente se han aplicado los herbicidas: Commad®, Facet®, Arrat® y Clincher®.



Figura 31. Riego por aspersión con pivote central en campo de agricultor. Arroz emergido en etapa de plántula.



Figura 32. Arroz establecido con riego bajo pivote central en campo de agricultor.

Riego por aspersión con Pivote central en campo de agricultor

Informe técnico final
V 2018-06-29



Figura 33. Superficie sembrada de arroz bajo riego por aspersión en Parral. Borde de siembra en etapa de llenado de grano. En total se utilizaron cerca de 1000 mm (10.000 m³/ha) de agua en toda la temporada con un rendimiento que fue inferior a 30 qq/ha.



Figura 34. Superficie sembrada de arroz bajo riego por aspersión en Parral. Etapa de llenado de grano. Presencia de Hualcacho blanco.



Figura 35. Siembra bajo riego por aspersión en campo de agricultor en Parral. Arroz en condiciones para ser cosechado.

16.2 RESULTADOS

16.2.1 RESULTADOS EN CAMPO EXPERIMENTAL

16.2.1.1 RESULTADOS RIEGO GRAVITACIONAL

Se evaluó el rendimiento en grano en utilizando diferentes sistemas tecnología de riego en las localidades de San Carlos y Parral, las temporadas 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020 (Figura 1 A-F). Se comparó el sistema de riego por mangas en utilizando sistema de siembra directa y siembra pre-germinado. En la temporada 2017-2018 el sistema de riego mediante mangas de riego se relacionó con un incremento en los rendimientos en grano en 2 t ha^{-1} en el sistema de siembra pre-germinado en la localidad de Parral (Figura 36 A). Sin embargo en la localidad de San Carlos, no se observaron diferencias (Figura 36 D). Durante la temporada 2018-2019, no se observó diferencias en los rendimientos entre los tratamientos en la localidad de Parral (Figura 36 B). Además, se observó una importante disminución en los rendimientos respecto a la temporada anterior, cercana a un 20%. En la misma temporada, en la localidad de San Carlos, los rendimientos en grano fueron superiores a 7 t/ha , a excepción del ensayo con siembra pre-germinado con riego convencional, con un rendimiento en grano cercano a 5 t/ha (Figura 36 E). En la temporada final (2019-2020), en la localidad de Parral, se repitió el fenómeno observado el primer año en la siembra con arroz pre-germinado (Figura 36 C). Allí el riego por mangas mostró un incremento de alrededor de 2 t ha^{-1} , en el rendimiento en grano, respecto al sistema de riego convencional. No se observaron diferencias en el uso de la tecnología al usar siembra directa. Por otro lado, en la localidad de San Carlos no se observaron diferencias entre los tratamientos (Figura 36 F). Incluso se observó una disminución general en los rendimientos, probablemente debido a la escasez de agua de riego presente durante los meses de enero y febrero del año 2020.

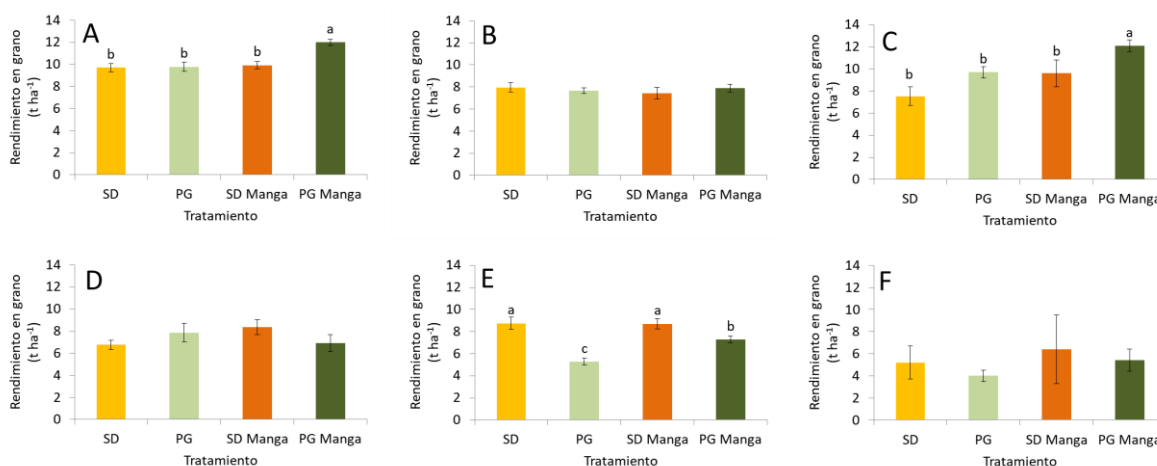


Figura 36. Efecto del riego y sistema de siembra en el rendimiento en grano de arroz en diferentes condiciones de riego y sistemas de siembra. A, B y C, Parral temporada 2017-2018, 2018-2019, y 2019-2020, respectivamente. C, D, y E, corresponden a San Carlos, temporada 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020, respectivamente. Los ensayos fueron sembrados el 30 de octubre con una dosis de semilla de 140 kg ha⁻¹. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05; Test LSD Fisher). Sólo se observaron diferencias cuando se regó con mangas la siembra de arroz pre-germinado, con un incremento en el rendimiento de 2 toneladas por hectárea. No se observaron diferencias entre las variedades evaluadas (Zafiro-INIA, Platino-INIA y Cuarzo-INIA).

PRODUCTIVIDAD DE AGUA

Respecto a la productividad de agua se observó que el sistema más eficiente para el cultivo del arroz fue la siembra directa con riego a través de mangas de riego con una producción de 0,49 a 1,02 kg de arroz por m³ de agua utilizada en el riego durante toda la temporada (Cuadro 1). El sistema menos eficiente fue la siembra con arroz pre-germinado con riego convencional, con una productividad de agua entre 0,27 a 0,59 kg de arroz por m³ de agua utilizada en el riego.

Cuadro 1. Productividad de agua en los ensayos de dos temporadas en localidad de San Carlos y Parral

	Tratamiento	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Parral	SD	0,78	0,58	0,56
	PG	0,59	0,44	0,58
	SD Manga	1,02	0,67	0,78
	PG Manga	0,79	0,53	0,77
San Carlos	SD	0,34	0,52	0,38
	PG	0,37	0,27	0,26
	SD Manga	0,51	0,61	0,49
	PG Manga	0,37	0,42	0,37

16.2.1.2 RESULTADOS RIEGO POR ASPERSIÓN

Por otro lado, se analizó la segunda temporada de riego por aspersión (Figura 37), donde los rendimientos fueron inferiores a los sistemas que mantienen inundación permanente. En la temporada 2017-2018, se determinó que este sistema permite lograr rendimientos inferiores a las 6 t/ha independiente de la ubicación de la planta dentro de la línea de aspersión. En cambio durante la temporada 2018-2019, se observó un incremento en las expectativas de rendimientos en la localidad de Parral, obteniéndose rendimientos cercanos a las 8 t ha⁻¹, a diferencia de lo observado en San Carlos, donde los rendimientos fueron inferiores a 6 t ha⁻¹. Finalmente, la temporada 2019-2020, sólo evidenció aún más la fragilidad del uso de esta tecnología, con rendimientos cercanos a 4 t ha⁻¹. Los bajos rendimientos obtenidos en los estudios realizados, muestran la necesidad de generar un nuevo sistema de manejo del cultivo del arroz bajo riego por aspersión, que incluye: variedades adaptadas a un menor uso de agua, uso de nuevos herbicidas (debido a dificultades en el control de malezas cuando se utiliza menos agua), uso de fertilizantes foliares, mayor tolerancia a frío en etapa reproductiva (agua fría proveniente del riego por aspersión puede afectar la fertilidad del polen), etc.

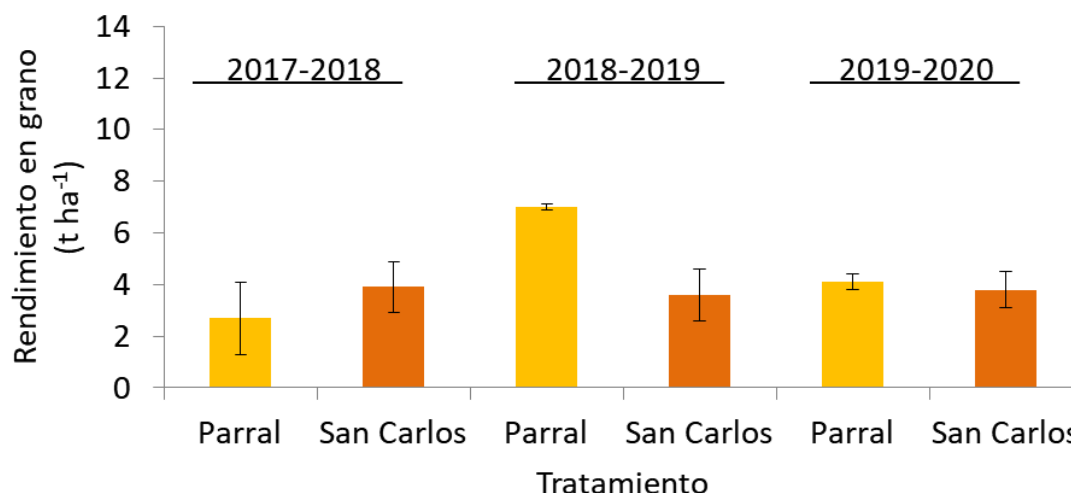


Figura 37. Rendimiento de arroz bajo riego por aspersión. Parral y San Carlos, temporadas: 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020. La información corresponde al promedio de los rendimientos de tres variedades utilizadas (Zafiro-INIA, Cuarzo-INIA y Platino-INIA), debido a que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades evaluadas.

16.2.1.3 ESTUDIO DE COSTOS DEL USO DE RIEGO POR MANGAS

Análisis económicos del uso de la tecnología de riego por mangas, muestran que el uso de un sistema de riego basado en manga plástica para el cultivo del arroz, tiene un costo anual cercano a \$50.000 ha-1, lo cual corresponde a inversiones amortizadas (González, 2019). Considerando un año de ensayo de riego por mangas, se determinó que su uso en combinación con el sistema de siembra pre-germinado, incrementó en casi 2 t ha-1 el rendimiento en grano. Lo anterior implica un comportamiento promisorio para este sistema de riego, considerando una relación beneficio/costo de 1,76, lo que fue superior a lo observado en siembra pregerminado sin mangas (1,52).

Posterior al análisis económico realizado, basándose en la unidad productiva referencial de una (1) hectárea, con los rendimientos obtenidos en los ensayos (8 - 10 t ha-1), los costos de la implementación de la tecnología (\$ 50.000 ha-1), el costo operacional del establecimiento del cultivo (\$950.000 – \$1.000.000 ha-1) y el precio promedio actual entregado al productor (\$230 kg-1), se determinó que la realización de una inversión en riego en base a mangas con compuertas mostró tener mejores indicadores en comparación con los sistemas convencionales. Según el análisis permite una mayor rentabilidad con una recuperación de la inversión realizada el mismo año considerando un incremento en el rendimiento debido al uso de este sistema de riego, el cual demostró incrementar los rendimientos en al menos 1 t ha-1, cuando este se utiliza en siembras de arroz pre-germinado. En este caso el valor presente neto (VAN al 12%) a 10 años, generó una ganancia de \$ 2.076.724 ha-1, lo que fue casi un 32% superior a lo determinado en un manejo del cultivo con un sistema de riego convencional (\$1.399.823 ha-1). En el caso de la rentabilidad, el TIR calculado para el sistema de riego con mangas en sistema de siembra pre-geminado fue de 57% en comparación con el mismo sistema de siembra sin la utilización de la tecnología, lo que correspondió a 49%. Por otro lado, el uso de la tecnología en el sistema de siembra directa, no mostró una mayor rentabilidad en comparación con el sistema convencional. Con el uso de la tecnología, en indicador VAN al 12%, mostró una ganancia a 10 años de \$1.884.071 y un TIR de 49%, lo que fue inferior cuando se considera el uso de siembra directa sin el no uso de la tecnología (VAN al 12%: 2.076.724; TIR 54%).

Si bien los resultados muestran un desarrollo rentable para el cultivo del arroz especialmente cuando se utilice el sistema de riego por mangas en sistema de siembra de arroz pre-germinado, se debe considerar que el análisis no garantiza completamente que el resultado se cumpla completamente. Esto debido a que el cultivo del arroz está sujeto a una serie de restricciones agroclimáticas y económicas como:

Agromclimática:

- 1) Altas o bajas temperaturas en periodos críticos del cultivo (etapa reproductiva) que puedan causar una disminución en los rendimientos en grano.
- 2) Falta de agua para riego en periodo crítico para el cultivo (etapa reproductiva), lo que puede provocar una fuerte disminución en los rendimientos en grano.

Económicas:

- 1) Incremento en el valor de los insumos necesarios para el desarrollo del cultivo como fertilizantes y herbicidas.
- 2) Disminución del precio a pagar por la producción debido a fluctuaciones del dólar.
- 3) Incremento en el valor de los insumos relacionados con el riego por mangas.

Por este motivo es muy necesario considerar la mayor cantidad de factores posibles que tengan relación con el éxito de la inversión a realizar.

Finalmente, considerando que más de 80% del sector arrocerero continúa utilizando la metodología de siembra con arroz pre-germinado, los resultados positivos en términos agronómicos y económicos, demuestran que el uso del sistema de riego por mangas puede ser considerado como una alternativa para los agricultores arroceros de Chile. Por otro lado, el uso de este sistema para siembra directa, a pesar de no significar un beneficio económico para el agricultor, permite una mejor utilización del recurso hídrico el cual es cada vez más escaso.

16.2.1.4 SELECCIÓN DE GENOTIPOS TOLERANTES AL ESTRÉS HÍDRICO

Posterior a la realización de un ranking basado en la producción de grano posterior a un tratamiento de estrés hídrico en condiciones de campos de 100 genotipos de arroz, se seleccionó los 11 mejores genotipos. Estos fueron nuevamente evaluados la siguiente temporada y se determinó un índice de tolerancia basado en el peso de los granos por panícula, respecto a su testigo sin ser sometido al estrés. Finalmente, se seleccionó a tres genotipos: G47, G92 y G27.

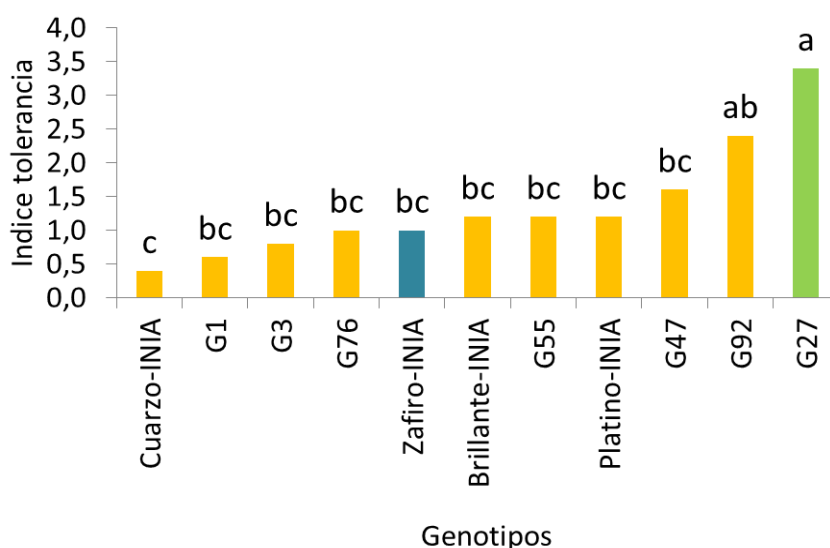


Figura 38. Selección de los mejores genotipos tolerantes al estrés hídrico. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre los genotipos evaluados.

16.2.2 SISTEMAS DE RIEGO EN CAMPO DE AGRICULTOR

En general, se debe destacar que los ensayos realizados en campos de agricultores permitieron determinar que los volúmenes de agua utilizados varían dependiendo principalmente de la disponibilidad que este tiene del recurso hídrico. Se determinó que en el caso de agricultores que realizan siembra directa (7 agricultores) lograron los mejores rendimientos con un promedio superior a los $10,1 \pm 1,8 \text{ t ha}^{-1}$. En el caso del riego con siembra con arroz pre-germinado los agricultores (6 agricultores) lograron un promedio de $7,1 \pm 1,9 \text{ t ha}^{-1}$. En el caso de del uso de riego por mangas, los agricultores que utilizaron este sistema obtuvieron rendimientos similares a los que no utilizaron el sistema de riego por mangas con un rendimiento promedio de $10,1 \pm 2 \text{ t ha}^{-1}$. En el caso de la siembra con arroz pre-germinado los rendimientos de los que utilizaron el sistema de riego por mangas fue de $8,5 \pm 0,3 \text{ t ha}^{-1}$ en comparación con un promedio de $7,7 \pm 0,6 \text{ t ha}^{-1}$ de los agricultores que no utilizaron este sistema. Esto significa un incremento en cerca de $1,0 \text{ t ha}^{-1}$. En la literatura está reportado que este sistema de riego puede tener incrementos en los rendimiento en un rango de 3 a 13 % dependiendo de las diferentes variables ambientales. Respecto a la productividad de agua, que corresponde a la cantidad de agua necesaria para producir un kg de arroz, en el caso de la siembra directa se logró un promedio de $0,77 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ con uso de manga de riego y de $0,7 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ sin manga de riego. Por otro lado, en el caso del sistema sin mangas el promedio fue de $0,43 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ en comparación con $0,3 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ en el caso del riego sin utilización de mangas de riego. Según lo que se esperaba la cantidad de agua necesaria para la producción de 1 kg de arroz es mucho mayor en el sistema pre-germinado y el uso de la tecnología de riego por mangas mejora la productividad del agua. Sin embargo, para que la tecnología sea introducida de manera adecuada en el sector arrocero de Chile, es necesario que los asistentes técnicos continúen realizando evaluaciones en campo de agricultores que tengan variadas

condiciones de suelo con el fin de ajustar la técnica a diferentes condiciones. Además, se debe considerar que este sistema es ideal para el caso de agricultores que requieran el uso de un pozo profundo para el riego o utilicen bombas que funcionen con energía solar. Finalmente, si bien el sistema es sencillo de operar, tiene restricciones de caudal mínimo ($3\text{-}4 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), que se deben considerar antes de implementar el sistema. Respecto al sistema de riego asociado al uso de la válvula de riego por pulsos, los rendimientos obtenidos en los dos sectores donde esta fue utilizada fueron de 8.58 t ha^{-1} y 8.72 t ha^{-1} . Ambos rendimientos estuvieron muy por encima de la media de rendimiento en grano para el arroz en el país (6.4 t ha^{-1} ; INE, 2020). Sin embargo, no se observó diferencias con el sistema asociado a mangas de riego sin el uso de esta válvula. Las principales ventajas de este sistema son la automatización del riego, que le permitió al agricultor contar con tiempo para preocuparse por otras labores de campo monitoreando el sistema solamente una vez al día.

16.3 DIFUSIÓN

16.3.1 SEMINARIO DE LANZAMIENTO

Informe técnico final
V 2018-06-29



Figura 39. Charla de experto en riego por mangas y riego por pulsos Sr. Ricardo Robinson (Pyr Continental S.A.) en día de campo en Parral. El experto destacó la importancia de regar por pulsos para disminuir el uso del agua en el cultivo y la mano de obra.



Figura 40. Charla de sistemas de Riego en día de campo en Parral. Esta se realizó el 25 de enero de 2018 en el campo experimental de Parral (Francisco Jiménez).

16.3.2 OTRAS ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN

Informe técnico final
V 2018-06-29



Figura 41. Charla sobre proyecto FIA en día de campo de Longaví. Fuente: <http://www.inia.cl/blog/2018/03/22/productores-de-longavi-asistieron-a-gran-dia-de-campo-de-arroz-inia/>



Figura 42. Visita de Profo GTT a ensayos de riego y otros ensayos desarrollados por el grupo de investigación.



Figura 43. Visita de expertos en control de Malezas Dr. Francesco Vidotto y Dr. Aldo Merotto. Los expertos recorrieron los ensayos de riego del proyecto y del agricultor que regó su arroz bajo pivote centras, analizando las mejoras en los paquetes agronómicos, para evitar problemas futuros en el control de malezas al regar con este tipo de tecnologías.



Figura 44. Actividad de difusión del proyecto FIA, en IFT Agro 2018, Talca. Esta Charla corresponde a una invitación por parte de FIA a exponer el proyecto en desarrollo con algunos resultados preliminares.

16.3.3 PRESENTACIÓN EN CONFERENCIA DE ARROZ PIURA, PERÚ, MAYO 2018.



Figura 45. Participación en la Conferencia internacional de Piura en Perú. Fuente: Diario San Carlos online, <https://www.sancarlosonline.cl/index.php/agricola/item/556-investigadores-del-inia-participaron-en-conferencia-internacional-del-arroz>.

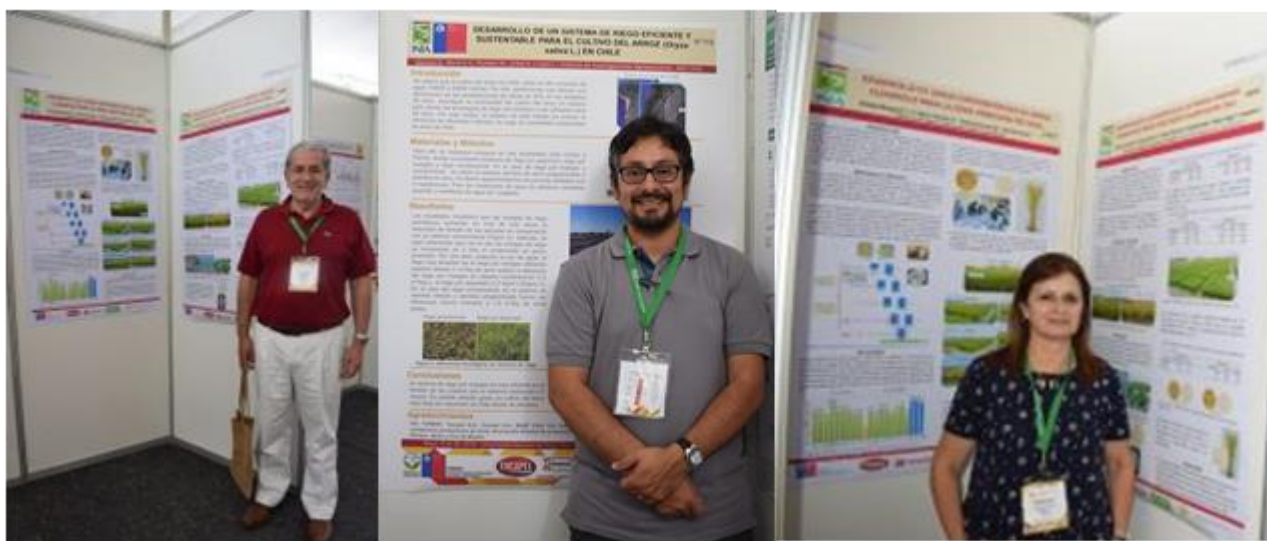


Figura 46. Prestación de Poster en Conferencia Internacional de Arroz e Piura, Perú. Se presentaron resultados preliminares obtenidos con el proyecto FIA con el fin de

validar ante los pares y mejorar la implementación de estos sistemas en los campos de los agricultores.

16.3.4 CAPACITACIÓN



Figura 48. Actividad de capacitación de grupo Profo GTT de arroz a cargo del Sr. Ramón Henríquez. La actividad se desarrolló en Parral y en la fotografía se muestran alguno de los asistentes. Financiamiento: Profo GTT

16.3.5 ACTIVIDAD DE CAPACITACIÓN



Seminario internacional y día de campo en Parral, se desarrollaron en el marco de proyecto que financia el Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), con el apoyo del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (Fontagro) y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). La subdirectora de INIA, Marta Alfaro, fue una de las expositoras del seminario con el tema “Gases de Efecto Invernadero y su relevancia en América Latina”. También se presentaron la especialista del centro de investigación en agricultura de Brasil (Embrapa) Walkyria Bueno, quien expuso respecto de las tecnologías de gestión en el cultivo y manejo de agua y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero en Brasil; mientras que el investigador japonés Yasuhito Shirato mostró los resultados en estudios de mitigación en el sistema de arroz de riego en Asia. Las charlas prosiguieron con el investigador de INIA Quilamapu Gabriel Donoso, quien mostró el trabajo realizado desde 2011 en tolerancia del cultivo del arroz a bajas temperaturas y gestión del agua, como resultado de la ejecución de los proyectos FONDEF y FIA que desarrolla INIA en Chillán. Viviana Becerra, investigadora de INIA Quilamapu. Luego, la también investigadora de INIA Quilamapu, Viviana Becerra, se refirió a la sustentabilidad del arroz en Chile, proporcionando información alusiva al control de malezas (variedad clearfield) y metales pesados. Además, como encargada técnica del proyecto Fontagro en Chile, Becerra se refirió al proyecto “Más arroz con menos emisiones y menor consumo de agua” que ejecutan Colombia, Chile y Perú, y donde participan los especialistas de INIA Gabriel Donoso, Marta Alfaro, Sara Hube, Luis Ramírez, Hamil Uribe y Jorge González, además del consultor privado, Mario Paredes.

El Seminario culminó con la presentación de la investigadora de INIA Remehue, Sara Hube, quien dio a conocer los estudios preliminares en emisiones de gases de efecto invernadero en arroz obtenidos entre 2013-2015. Este trabajo realizado por investigadores de INIA en Chillán y Osorno, permitió obtener y definir protocolos aceptados internacionalmente. Durante la segunda jornada, las actividades se trasladaron al campo experimental del Digua, también en la comuna de Parral, donde Gabriel Donoso y Viviana Becerra dieron a conocer el trabajo realizado en los ensayos de investigación del proyecto Fontagro. Asimismo, la investigadora de INIA Remehue, Sara Hube, mostró a los asistentes, en forma práctica la técnica de toma de muestras de los gases de efecto invernadero en el cultivo del arroz.



Una segunda estación técnica se realizó en los ensayos del proyecto FIA “Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile” que lidera Gabriel Donoso y que se trabaja conjuntamente con las empresas Tucapel S.A. y Carozzi S.A., y el apoyo de las organizaciones gremiales y comités campesinos de agricultores arroceros de las regiones del Maule y Ñuble. En este punto, los investigadores de INIA mostraron, de manera preliminar, germoplasma de arroz con mayor eficiencia del agua. También se refirieron a diferentes métodos y tecnologías de riego en arroz, como el uso mangas de riego y el riego por aspersión asociados a diferentes tecnologías (sensores con registro de datos, canaletas Parshall, medidores de agua y compuertas para riego por mangas) que permiten cuantificar, en tiempo real, el uso del agua diferentes estados de desarrollo de este cultivo.

16.3.6 POSTER PRESENTADO EN CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ARROZ.

Introducción

Se estima que el cultivo del arroz en Chile, tiene un alto consumo de agua (14000 a 20000 m³/ha). Por ello, predicciones que indican una disminución en las precipitaciones de hasta un 40% en los próximos 30 años, amenazan la continuidad del cultivo del arroz en nuestro país, donde las tecnologías de riego son similares a las utilizadas hace 50 años. Por este motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar la eficiencia de diferentes métodos de riego en variedades comerciales de arroz de Chile.



Materiales y Métodos

Para ello se realizaron ensayos en dos localidades (San Carlos y Parral), donde se probaron sistemas de riego por aspersión, riego por mangas y riego convencional. En el caso de riego por mangas y riego convencional, se utilizó el sistema siembra de arroz pregerminado y siembra en seco. El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Para las mediciones de agua se utilizaron canaletas Parshall y medidores de agua de 1 pulgada.



Resultados

Los resultados mostraron que las mangas de riego permitieron aumentar en más de tres veces la velocidad de llenado de las parcelas en comparación con el sistema convencional (Figura 2). Además, se logró determinar que con el uso de mangas de riego se incrementó en 2 t/ha el rendimiento en grano promedio. Por otro lado, respecto al uso de agua, el riego más eficiente fue el riego por mangas utilizando siembra directa (1 m³/kg de arroz paddy) a diferencia del riego por mangas en sistema convencional (1,2 m³/kg) y el riego por aspersión (1,7 kg/m³) (Figura 3). En el caso del riego convencional, en el sistema de siembra directa y siembra pregerminado, las eficiencias fueron menores a 1,8 m³/kg de arroz paddy.



Figura 2. Llenado de las parcelas experimentales



Figura 1. Diferencias fenológicas en sistemas de riego

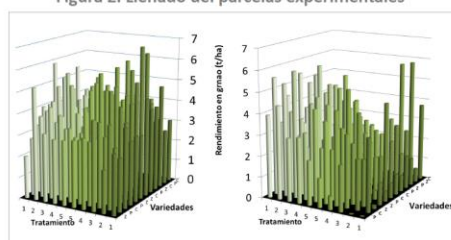


Figura 3. Riego por aspersión en dos localidades

Conclusiones

El sistema de riego por mangas es más eficiente en el llenado de los cuadros que el sistema tradicional (>3 veces). Además, es posible obtener grano en cultivo del arroz bajo riego por aspersión en Chile (fecha de siembra).

Sin embargo, es necesario mejorar el protocolo de riego por aspersión para incrementar los rendimientos en las siguientes temporadas.

Finalmente, el sistema más eficiente de riego fue el riego por mangas asociado a una siembra en seco.

Agradecimientos

FIA; FONDEF; Tucapel S.A.; Carozzi S.A.; BASF Chile S.A. Comité campesino el Crucero de Buli; Comité de jóvenes campesinos productores de arroz; Asociación Gremial de Arroceros de Unicavén; Comité campesino Denominado Arroceros Otingue, Belén y Flor de Niquén.

Mayo 15 al 18, 2018 - Universidad Nacional de Piura, Perú

16.3.7 EXTRACTO DE LIBRO DE RESÚMENES ENVIADO LXIX CONGRESO AGRONÓMICO DE CHILE EN PUNTA ARENAS REALIZADO LOS DÍAS 14, 15 Y 16 DE NOVIEMBRE 2018.

AGRICULTURA EN ZONAS CRÍTICAS

TENSIONES Y DESAFÍOS EN EL CAMBIO DE USO SUELO EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Estrella Garrido¹, Francisco Carrasco¹, Pedro Severino¹ y Enrique Mislé¹.

¹ Departamento de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule. | Curicó, Región del Maule, Chile.

En la zona central de Chile el crecimiento urbano se ha producido mayoritariamente, sobre suelos agrícolas, afectando la producción de alimentos toda vez que, la actividad agrícola se ve desplazada de los suelos de mayor potencial productivo. El desarrollo inmobiliario que se observa en la mayoría de las regiones, ha impulsado la expansión de las principales ciudades del país. Aunque el crecimiento poblacional no muestra un incremento acelerado, otros sectores de la economía que aportan mayores ingresos al PIB que la agricultura, compiten por el uso del recurso suelo en zonas tradicionalmente agrícola. El objetivo del presente estudio fue analizar las causas y efectos que provoca la pérdida de suelo agrícola debido al cambio de uso de suelo en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, periodo 2000-2010. Para tal efecto se recopiló información de los organismos estatales que intervienen en la aprobación de los CUS, tales como SAG, MINVU, SEREMI Agricultura, además se empleó Base de datos de Sistema de Información Geográfica (SIG) de la región de O'Higgins, manejado por CONAF. Los resultados indican que un total de 4.121,5 ha cambió su uso de agrícola a habitacional o industrial, afectando los suelos agrícolas capacidad de uso II y III ubicados en el valle central. La ausencia de una legislación robusta que impida los CUS y regule el ordenamiento territorial se encuentra entre las causas, pero, además, la forma en que las empresas desarrollan su modelo de negocio. La actividad minera ejerce una presión indirecta sobre el uso del suelo, lo que se traduce en incremento de viviendas debido a las migraciones poblacionales. La reducción de la superficie agrícola, implica la realización de una agricultura más intensiva.

Palabras clave: Pérdida suelos agrícolas, cambio uso del suelo, expansión urbana.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANGAS DE RIEGO PARA EL CULTIVO DEL ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) EN CHILE. ESTUDIO PRELIMINAR.

Jorge González Urbina, Gabriel Donoso Nanculao, Viviana Becerra Velasquez, Mario Paredes Cárcamo, Hamil Uribe Cifuentes

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación Quilamapu.

Chillán, Chile

El arroz es el cultivo con la tercera mayor superficie de siembras a nivel mundial. En Chile la superficie fluctúa alrededor 22.000 hectáreas en las regiones del Maule (sur) y Ñuble, mayoritariamente en pequeños productores. La tecnología usada difiere según el tipo, así el uso del agua no ha tenido mejoramientos relevantes en décadas, siendo una limitante para obtener mejores rendimiento y rentabilidad. El consumo actual de agua es elevado alcanzando entre 15.000 m³/ha y 18.000 m³/ha mil. Una forma de abordar la problemática es incorporar tecnología de riego, evaluando su factibilidad económica. Se establecieron ensayos agronómicos en la localidad de Parral, estudiando el riego con mangas plásticas en sistemas de siembra directa y convencional pregerminado. Los ensayos generaron información preliminar de manejo técnico, costo operacional, inversiones y rendimiento de grano. El análisis económico se realizó construyendo estándares técnico/económicos de las alternativas, determinando indicadores económicos de riqueza (ingreso y margen bruto), competitividad (costo unitario), eficiencia económica (relación B/C) y Sensibilización de Hertz. El uso de mangas generó mayor rendimiento, pero solo en convencional pregerminado la diferencia fue destacada (18 qqm/ha). El ingreso y el costo operacional generan una nueva riqueza -Margen Bruto- con cifras entre \$450.000/ha-\$500.000/ha, con excepción de convencional pregerminado con manga, cuyo margen superó \$750.000/ha. La competitividad -Costo Unitario- se mantuvo, aunque destaca el riego con mangas en convencional pregerminado con reducción del costo \$1.600/qqm (14%). La eficiencia económica -B/C- es estable en 1,5 salvo riego con manga convencional pregerminado que aumenta a 1,76. El análisis indica un comportamiento económico promisorio al uso de mangas, con mayores diferencias en sistema convencional pregerminado. La incorporación de información de temporadas sucesivas y más localidades, darán mayor solidez a las tendencias observadas.

*Los autores desean expresar su agradecimiento a la Fundación para la Innovación Agraria FIA por el financiamiento realizado en el presente trabajo.

16.3.8 PRESENTACIÓN EN LXX CONGRESO AGRONÓMICO DE CHILE

Informe técnico final

V 2018-06-29

Introducción

Se estima que el cultivo del arroz en Chile, tiene un alto consumo de agua (14000 a 36000 m³/ha). Por ello, predicciones que indican una disminución en las precipitaciones de hasta un 40% en los próximos 30 años, amenazan la continuidad del cultivo del arroz en nuestro país, donde las tecnologías de riego son similares a las utilizadas hace 50 años. Por este motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar el uso de un sistema de riego presurizado para el cultivo del arroz en Chile.



Figura 1. Zona arrocerá de Chile.

Materiales y Métodos

Para ello, se realizaron ensayos en las localidades de San Carlos y Parral, durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019. Los ensayos consistieron en la realización de riego presurizado mediante aspersores VYR 35, utilizando de tres variedades de arroz comerciales de Chile (Zafiro INIA, Cuarzo INIA y Platino INIA), desde la siembra hasta la floración, con una dosis de semilla de 140 kg/ha. ANOVA. Separación de medias, test LSD-Fisher (P≤0.05).



Figura 2. Instalación de sistema de riego en San Carlos.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que en la temporada 2017-2018, el sistema de riego presurizado no permitió obtener rendimientos en grano superiores a 6 t/ha (promedio nacional), en ambas localidades. Por otro lado, durante la temporada 2018-2019, se observó un incremento en los rendimientos en la localidad de Parral (~7 t/ha), a diferencia de lo observado en San Carlos, donde los rendimientos fueron inferiores a 5 t/ha. Los menores rendimientos observados en la localidad de San Carlos, se pueden deber principalmente al tipo de suelos (Alfisol) el cual tiene una baja retención de humedad a diferencia del suelo presente en la zona de Parral (Vertisol). Cabe destacar que en estas condiciones la temporada 2017-2018, la variedad Cuarzo presentó un comportamiento consistentemente mejor respecto al rendimiento, que las otras variedades, llegando a rendimiento cercanos a 4 t/ha. En general, los bajos rendimientos observados con este sistema de riego son también descritos por otros autores (Parfitt et al., 2017). La cantidad de agua que se aplicó estuvo entre 1000 - 1100 mm, durante la temporada, en San Carlos y Parral, respectivamente. Finalmente, la productividad de agua fue mucho mayor en la localidad de Parral, con un máximo de 0,7 kg/m³ en contraste con la localidad de San Carlos donde fue 0,4 kg/m³.

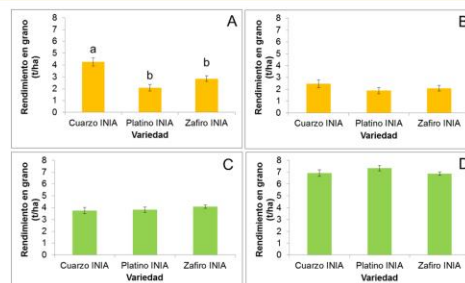


Figura 3. Rendimiento en grano de las variedades de arroz evaluadas. A y B, corresponde a la localidad de San Carlos durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. C y D, corresponde a la localidad de Parral durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente.

Conclusiones

- Es posible el desarrollo de las variedades comerciales de arroz chilenas bajo riego presurizado.
- Considerando que el uso de agua en los sistemas de riego convencionales para el cultivo del arroz, utilizan entre 14.000 hasta 36.000 m³ /ha, El uso de riego presurizado disminuye el uso de agua considerando un uso total de hasta 11.000 m³ /ha.
- Los rendimientos observados en la localidad de San Carlos, muestran que es muy complejo el desarrollo del arroz en suelos con baja retención de humedad (Alfisol) en comparación con un suelo con mayor retención de humedad como el de Parral (Vertisol).

Referencias

José Parfitt, Germani Concenço, Walkyria Bueno Scivittaro, André Andres, Jaqueline Trombetta da Silva and Marília Alves Brito Pinto (March 15th 2017). Soil and Water Management for Sprinkler Irrigated Rice in Southern Brazil, Advances in International Rice Research, Jinquan Li, IntechOpen.

Agradecimientos

- Proyecto FIA: PYT-2017-0190.
- Tucapel S.A.
- Carozzi S.A.
- Comité campesino el Crucero de Buli.
- Comité de jóvenes campesinos productores de arroz.
- Asociación Gremial de arroceros de Unicavén.
- Comité campesino Denominado Arroceros Otingue, Belén y Flor de Ñiquén.



16.3.9 PRESENTACIÓN EN LXX CONGRESO AGRONÓMICO DE CHILE





MEJORAS EN LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN EL CULTIVO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN CHILE



Donoso, G.^{1*}, Becerra, V.¹, Uribe, H.¹

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Introducción

El arroz es una fuente de alimentación muy importante para gran parte de la población mundial. El agua es una de las principales restricciones para el cultivo del arroz en Chile. En Chile el consumo de agua por este cultivo es de 14000 a 36000 m³/ha. Actualmente, en Chile no se utilizan tecnologías de riego. Además, la actual falta de agua es una gran amenaza para la continuidad de este cultivo en nuestro país. Como alternativa, el riego por mangas es una buena solución, de fácil implementación y bajo costo que permitiría ahorrar sobre un 10% del agua (Massey et al 2014; Bandeira et al., 2015), y podría ser implementado en nuestro país, para un mejor uso de este recurso. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile.



Figura 1. Zona arrocerá de Chile.

Materiales y Métodos

Se establecieron dos ensayos en las localidades de San Carlos y Parral, en las temporadas 2017-2018 y 2018-2019, utilizando dos sistemas de siembra que actualmente son utilizados en el cultivo del arroz (Siembra en seco y con semilla pregerminada), utilizando el sistema de riego convencional utilizado en Chile y se comparó con riego por mangas, con una dosis de semilla de 140 kg/ha. La variedad comercial utilizada fue Zafiro INIA. El análisis estadístico fue una ANOVA y la separación de medias se realizó mediante un test LSD-Fisher ($P \leq 0.05$).



Figura 2. Implementación de campo para la instalación de los ensayos.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron un mayor rendimiento durante la temporada 2017-2018. Es probable que las bajas temperaturas ocurridas durante la primera semana de enero de 2019 (etapa reproductiva), hayan afectado el rendimiento de esa temporada en la localidad de Parral. Durante la primera temporada, en la localidad de Parral se observó un significativo incremento en el rendimiento al utilizar el riego por mangas en sistema pregerminado. Sin embargo este fenómeno no se observó la temporada 2018-2019. Por otro lado en la localidad de San Carlos, los rendimientos fueron en general mas bajos y el uso de mangas no generó un efecto positivo en el rendimiento. Sin embargo, es importante destacar que el uso de la tecnología permitió un menor uso de agua el cual fue significativamente menor con el uso del sistema de riego con mangas lo cual quedó reflejado en la productividad de agua calculado, llegando a ser 1kg/m³, lo que fue similar a lo observado en otras investigaciones (Massey et al., 2014). En este escenario el sistema mas eficiente fue el siembra en seco regado con mangas y el menos eficiente fue el sistema de riego convencional con siembra con semilla pregerminada.

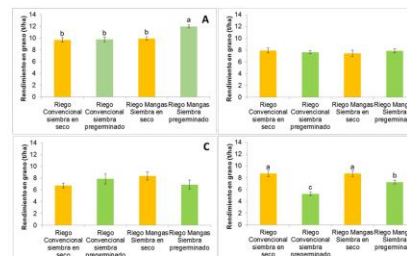


Figura 3. Rendimiento en grano de las variedades de arroz evaluadas. A y B, corresponde a la localidad de Parral durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. C y D, corresponde a la localidad de San Carlos durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente.

Conclusiones

- El sistema de riego por mangas podría tener un efecto positivo en los rendimientos lo que no es consistente entre temporadas (faltaría evaluar una tercera temporada).
- El sistema de riego por mangas mejora la productividad de agua logrando un uso eficiente del recurso hídrico para el cultivo del arroz de hasta 1 kg/m³.
- El sistema de siembra con arroz pregerminado debe ser evaluado y mejorado con mayor uso de tecnología para lograr afrontar los actuales desafío de falta de agua en el cultivo del arroz.

Tabla 1. Productividad de agua evaluada en los diferentes ensayos realizados.

Sistema de siembra y riego	Parral		San Carlos	
	2017-2018	2018-2019	2017-2018	2018-2019
	kg/m ³			
Siembra directa con riego por mangas	1,0	0,7	0,9	0,8
Siembra directa con riego convencional	0,8	0,6	0,7	0,6
Siembra pregerminado con riego por mangas	0,8	0,5	0,5	0,5
Siembra pregerminado con riego convencional	0,6	0,4	0,3	0,3

Referencias

- Massey, J. Walker, T., Anders, M., Smith, M. Avila, L. 2014. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. Agricultural Water Management. 146: 297–304.
- Bandeira S. y Böcking B. Riego de arroz por mangas; 2015. Disponible en: <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Inform>.

Agradecimientos

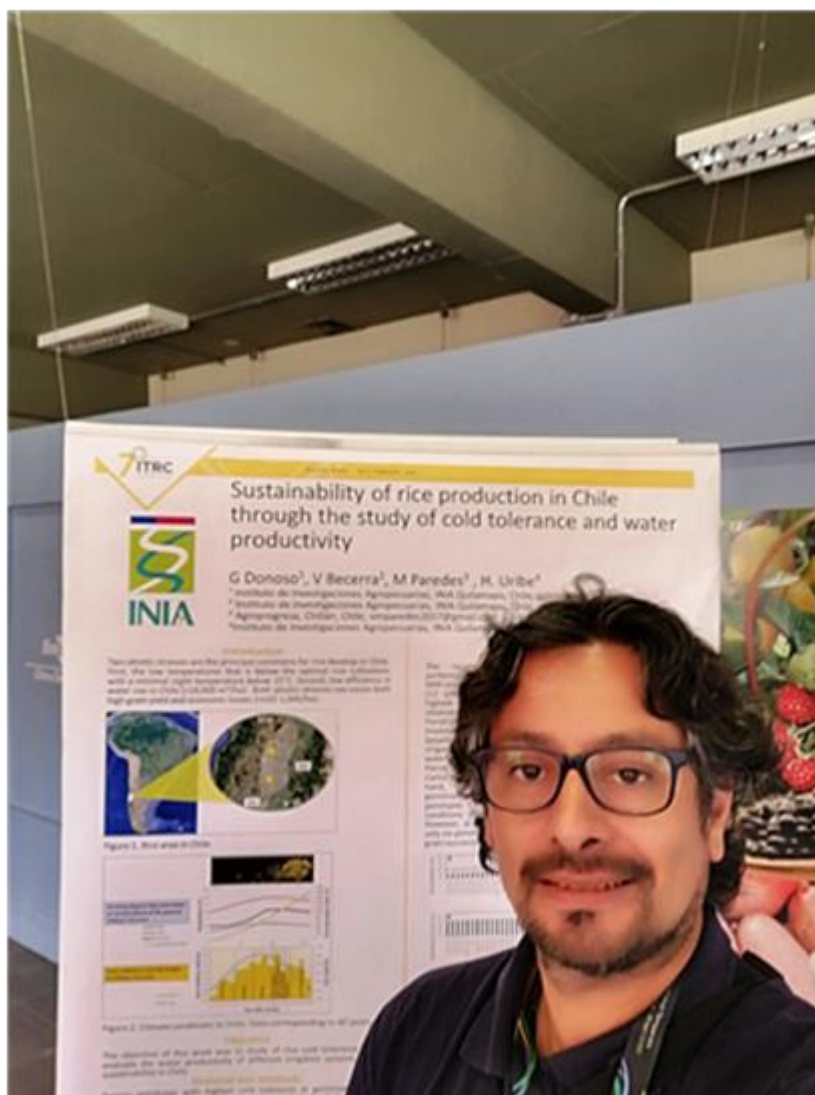
- Proyecto FIA: PYT-2017-0190.
- Tucapel S.A.
- Carozzi S.A.
- Comité campesino el Crucero de Buli.
- Comité de jóvenes campesinos productores de arroz.
- Asociación Gremial de arroceros de Unicavén.
- Comité campesino Denominado Arroceros Otingue, Belén y Flor de Ñiquén.



16.3.10 PRESENTACIÓN EN 7th INTERNATIONAL TEMPERATE RICE CONFERENCE (ITRC), 2020. Fotografía con encargada de la organización del evento Dra. Walkyria Scivittaro.



16.3.11 PRESENTACIÓN EN 7th INTERNATIONAL TEMPERATE RICE CONFERENCE (ITRC), 2020.



16.3.12 VIDEO EDUCATIVO SOBRE TECNOOGÍA DE RIEGO POR MANGAS

Informe técnico final
V 2018-06-29



16.3.13 ARTÍCULO DIVULGATIVO PUBLICADO EN REVISTA TIERRA ADENTRO.

Link: <http://www.inia.cl/descarga/revista-tierra-adentro-n111-el-agua-como-eje-para-el-desarrollo-de-chile/>

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



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



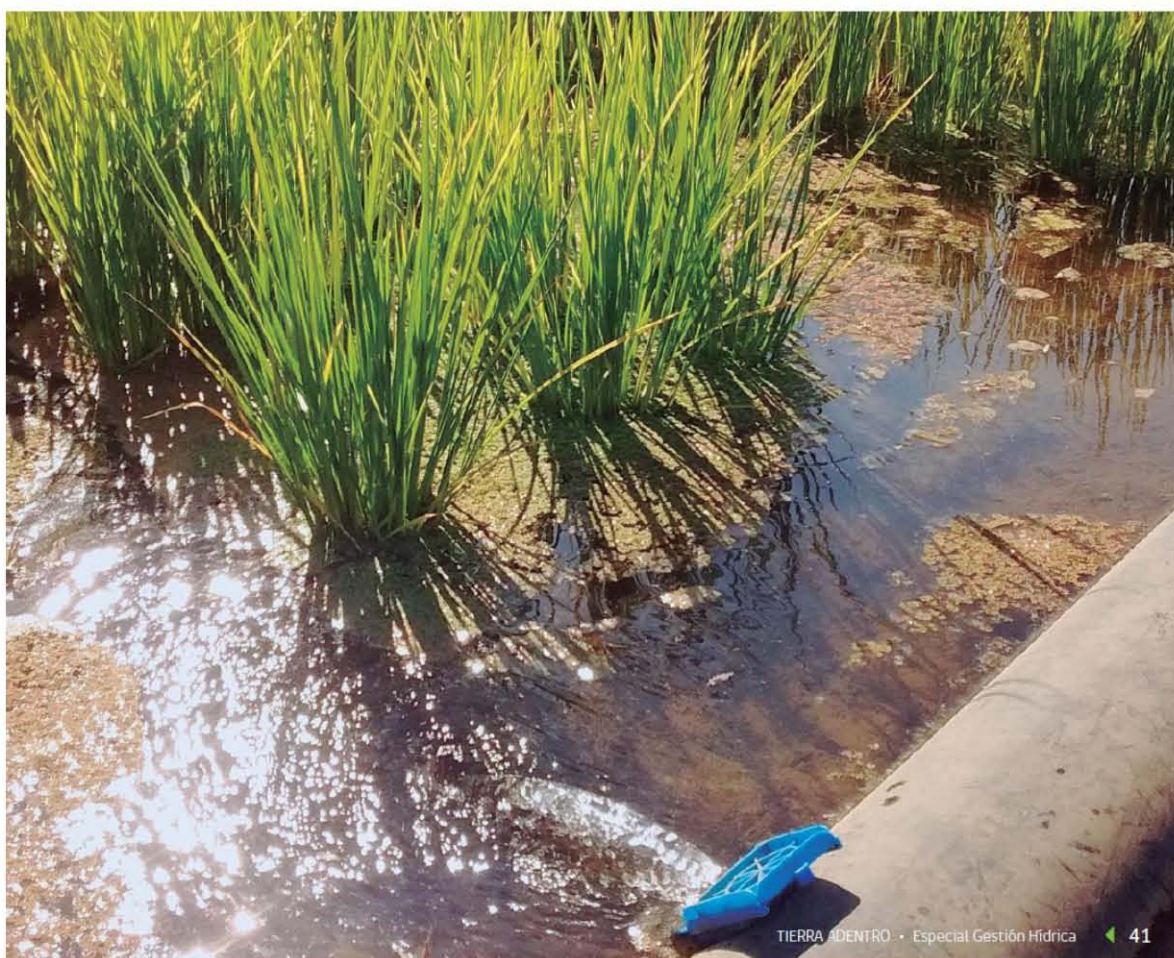
Viviana Becerra V.
Ingeniera Agrónoma,
M. Sc. Genética y Mejoramiento
Investigadora INIA Quilamapu



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.

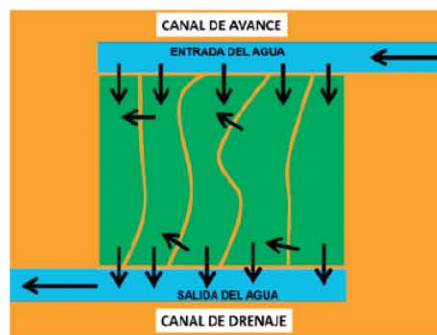


Figura 1. Sistema de riego ideal. Las flechas indican la dirección de la circulación del agua. En color verde se representa el interior de los pretilos.

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 Niquén].

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

16.3.14 NOTICIA EN PÁGINA WEB DE INIA SOBRE DÍA DE CAMPO



16. INIA presentó en Parral avances de investigación que busca mejorar eficiencia de uso del agua en arroz. Día de campo de arroz realizado en el Campo Experimental Francisco Jiménez de Parral, se desarrolló en el marco de proyecto que financia FIA, junto a las empresas Tucapel y Carozzi, y los comités de agricultores arroceros de Ñuble y Maule.



Ante más de 120 asistentes entre productores arroceros, profesionales y técnicos del sector, investigadores de INIA Quilamapu realizaron en Parral un Día de Campo de Arroz, con la finalidad de mostrar los principales avances en tecnologías relacionadas al riego y que forman parte del proyecto de investigación “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”.



Durante la actividad, que fue coorganizada por la consultora Agroparral, se mostraron los beneficios del riego por mangas, incluyendo demostraciones de instalación de compuertas de riego. También se mostraron ensayos de implementación de un sistema de riego por aspersión para el arroz, lo que constituye la primera experiencia de este sistema de riego para este cultivo, toda vez que históricamente se ha hecho por inundación. Adicionalmente, se mostró el uso de un medidor de nivel de agua (que permite conocer de manera instantánea y a gran distancia, la altura de la lámina de agua del cultivo); y el uso de “canaletas Parshall” con sensor de registro de datos de nivel de agua y temperatura (para medir caudal de riego, volumen diario de agua utilizada y/o volumen utilizado durante todo el periodo del cultivo).



Gabriel Donoso, investigador INIA y coordinador del proyecto indicó que se “responde a la necesidad de contar con nuevas tecnologías que permitan hacer un uso eficiente del agua, en un cultivo altamente vulnerable frente al cambio climático global, debido al alto consumo que se estima entre los 14 y 19 mil metros cúbicos por hectárea por temporada”.

Para hacer frente a esta situación, Donoso señaló que el proyecto tiene varios objetivos entre los que se encuentran evaluar la eficiencia de diferentes métodos y estrategias de riego en variedades comerciales de arroz; evaluar la eficiencia en el control de malezas mediante el uso de herbicidas en riego por aspersión; y evaluar líneas experimentales de arroz en condiciones de estrés hídrico en campo.

Tecnología impacta positivamente en el productor

“Preliminarmente hemos determinado que el uso del riego por mangas con múltiples compuertas, permite un ahorro de agua cercano al 17% e incrementa la velocidad de

llenado de los cuadros en al menos tres veces, lo que permite alcanzar riegos más homogéneos y un aumento de los rendimientos en aproximadamente 20 quintales por hectárea”, resaltó el coordinador del proyecto FIA, Gabriel Donoso.



En tanto, el representante macrozonal de FIA para las regiones del Maule y O’Higgins, Robert Giovanetti, destacó que el proyecto “pone a disposición de los agricultores arroceros, diversas herramientas tecnológicas que facilitan el desarrollo de su actividad agrícola”. Agregó que “el uso de sistemas de medición de caudal y la conducción del agua a través de mangas de riego, permitirá cambiar la forma como los agricultores arroceros están regando hasta ahora, aumentando sus expectativas de rendimiento y superficie a utilizar”.

El equipo técnico del proyecto que, se encuentra en su segundo año de desarrollo, es liderado por Gabriel Donoso, e integrado también por los investigadores de INIA Viviana Becerra, Hamil Uribe, Jorge González y Lorenzo León.

16.3.15 CHARLA A PROFO GTT DE PARRAL DIRIGIDO POR RAMÓN HENRÍQUEZ

Tecnologías para el menor uso de agua en el cultivo del arroz en Chile. La actividad se realizó el 30 de Julio de 2019 y contó con la presencia de 60 personas.

16.3.16 CAPACITACIÓN DE AGRICULTORES EN ALTERNATIVAS DE RIEGO PARA EL CULTIVO DEL ARROZ EN CHILE.

En día de campo organizado por Servicio de Asistencia Técnica de INDAP SAT la Selva a cargo del Sr. Marcelo Ibáñez. La actividad se realizó el 16 de diciembre y contó con la asistencia de 45 personas. En la actividad se mostró de manera práctica el funcionamiento de las diferentes alternativas para el riego en el cultivo del arroz lo cual incluye el uso de mangas de riego con múltiples compuertas y el uso de una válvula de riego por pulsos que permite una mayor automatización del riego y eficiencia en el uso del agua.

16.3.17 CHARLA TÉCNICA A DELEGACIÓN CHINA INTEGRADA POR

Dr. Wang Changhua, Senior Researcher, Liaoning Rice Research Institute, (LAAS); Mr. Wang Guohong, Associate Research Fellow, Corn Research Institute, (LAAS); Mr. Shi Puxiang, Associate Research Fellow, Liaoning Peanut Research Institute, (LAAS). Charla:

"Estudio del estrés hídrico y bajas temperaturas en el arroz". INIA Quilamapu, Chillán. 5 asistentes.

16.3.18 ARTÍCULOS COMPROMETIDOS, INCLUIDOS EN LIBRO DE ARROZ

Informe técnico final
V 2018-06-29

ARTÍCULO 1

VISIÓN MUNDIAL DEL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE ARROZ

Gonzalo Carracelas G.¹, Gabriel Donoso Ñ.², Viviana Becerra V.², Mario Paredes C.³, Hamil Uribe ².

¹ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA Tacuarembó, Uruguay.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Quilamapu.

³ Asesor de Proyectos.

Introducción

El agua es un recurso que se vuelve cada vez más escaso a nivel mundial relacionado a temas ambientales, cambio climático, competencia de otros sectores por dicho recurso (Tuong and Bouman, 2003; Gaydon et al., 2010; Mekonnen and Hoekstra, 2016). A nivel mundial, el 96 % del arroz cultivado utiliza riego continuo hasta 7-10 días antes de la cosecha y presenta un requerimiento hídrico mucho mayor que otros cereales (Pimentel et al., 2004; Tuong et al., 2005). Por lo tanto, es importante desarrollar e implementar nuevas técnicas de riego inteligente que sean más eficientes en el uso del agua, sin disminuir significativamente el rendimiento, calidad de grano (Bouman et al., 2007a; Datta et al., 2017). Estas medidas de racionalización del uso del agua pueden ayudar también a lograr otros efectos positivos asociados principalmente con una menor emisión de gases de efecto invernadero (Linguist et al., 2015; Tarlera et al., 2016) y absorción de algunos metales pesados, como el Arsénico entre otros (Linguist et al., 2015; Carrijo et al., 2018; Carracelas et al., 2019c). Una de las principales dificultades agronómicas que lleva la implementación de sistemas que utilizan una menor cantidad de agua es la aparición de mayor cantidad de malezas, producto de la disminución de la lámina de agua, eventuales problemas operativos de uniformidad del riego y pérdida de rendimientos de grano (Datta et al., 2017).

La presencia de la lámina de agua en el cultivo de arroz cumple un rol muy importante en el control de malezas, sin afectar el crecimiento de arroz, ya que esta planta de arroz posee estructuras especializadas, denominadas aerénquimas, que le permiten sobrevivir en medio acuático (Nishiuchi et al., 2012). Por ello, el sistema de manejo sin inundación reduce el impacto en el control de malezas, lo que afecta finalmente el rendimiento del cultivo (Stevens et al., 2012). Para contrarrestar este problema, en USA se ha recomendado un mayor uso de herbicidas residuales y herbicidas de hoja ancha. En resumen, los principales beneficios de la inundación continua en el cultivo de arroz están relacionados con el control más efectivo de las malezas (Marchesi y Chauhan., 2019), aumento en la disponibilidad de nutrientes (Dunn y Gaydon, 2011), menor incidencia de enfermedades (Cartwright y Lee, 2001) y protección contra el frío durante la etapa de microesporogénesis (William y Angus, 1994).

Otro problema a considerar en la reducción del uso del agua en el cultivo del arroz es la etapa fenológica del cultivo más sensible al déficit hídrico, por su mayor impacto en el rendimiento. En este sentido, la falta de agua de riego durante el periodo reproductivo, disminuye la fertilidad de la espiga, mermando la producción de grano hasta en un 30 % (Garrity and Otoole, 1994; Praba et al., 2009).

Consumo de agua en el cultivo del arroz

En general, el arroz es cultivado en condiciones de continua inundación hasta 7-10 días antes de la cosecha (RKB, 2020), bajo esas condiciones se requieren 1.432 litros de agua para producir un kilogramo de arroz en condiciones de riego. Además, se estima que este cultivo utiliza entre 34 a 43 % del total de agua para riego a nivel mundial y alrededor de un 24 a 30% de los recursos mundiales de agua dulce (FAO, 2015). La cantidad de agua utilizada en campos de arroz varía de 4.000 m³ ha⁻¹ en suelos arcillosos con napas freáticas superficiales a 20.000 m³ ha⁻¹ en suelos francos o arenosos con napas freáticas profundas. En general alrededor de 13.000 a 15.000 m³ ha⁻¹ es la cantidad necesario para regar el cultivo del arroz en Asia.

Balance hídrico en el cultivo del arroz

El balance hídrico es el equilibrio entre los aportes de todos los recursos hídricos y las salidas de esos aportes del sistema (Kool et al., 2014). Los principales aportes son el riego (R, mm) y las precipitaciones (P, mm), mientras que las salidas corresponden a la evapotranspiración del cultivo (ETc, mm), escurrimiento superficial (E, mm), la percolación profunda (Pe, mm) y el cambio en el almacenaje agua del suelo (ΔS , mm) (Bouman et al. 2007, Grassi et al., 2009, Kool et al., 2014).

Esto se puede describir de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P + I = E + Pe + \Delta S + ET$$

Sin embargo, el cultivo de arroz presenta diferentes aportes y salidas del balance hídrico general, por lo que un arreglo a la ecuación anterior debe ser realizada (Bouman et al., 2007, Herrera-Puebla et al., 2019).

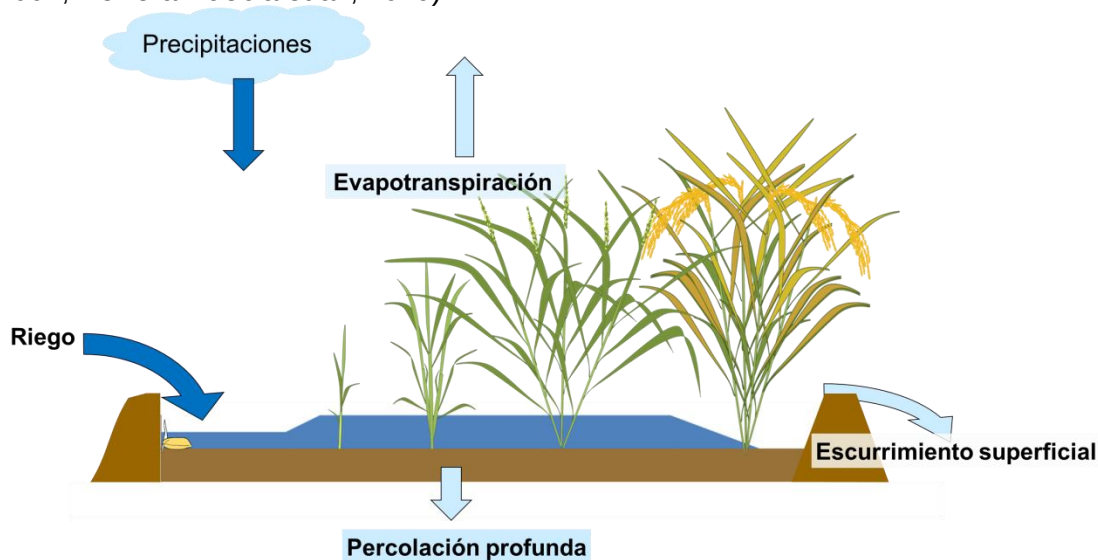


Figura 1. Balance hídrico en el cultivo del arroz (Modificado de Bouman et al 2017).

El concepto de escurrimiento superficial debe ser reemplazado por desborde de los pretilos (O, mm) y flujo lateral (S, mm). Así, la nueva ecuación puede ser descrita como sigue:

$$P + I = (O + S) + Pe + \Delta S + ET$$

Se estima que las salidas de agua debido a la percolación durante la preparación de suelo para el cultivo del arroz, pueden ser de hasta 25 mm d⁻¹ (Toung et al., 1996). Otras estimaciones de percolación profunda en suelos pesados, realizadas durante el periodo de crecimiento de las plantas, pueden alcanzar valores entre 1 a 5 mm d⁻¹ y 25 a 30 mm d⁻¹, en suelo más arenosos (Datta et al., 2017). Estimaciones de evapotranspiración en algunos países de Asia alcanzan entre 4 a 7 mm d⁻¹ y la evapotranspiración asociada a n óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo, pueden fluctuar entre 4.000 a 7.000 m³ ha⁻¹ (Tabbal et al., 2002, Bouman et al., 2007b, Massey et al., 2014, Carracelas et al., 2019b).

Otras estimaciones de uso de agua, en suelos arcillosos con napas poco profundas puede llegar a solo 4.000 m³ ha⁻¹ de agua durante la temporada, comparado a 20.000 m³ ha⁻¹ observado en suelos arenosos con napas profundas (Cabangon et al., 2004). En Uruguay, el agua de riego usada en sistemas tradicionales continuo dependiendo de las condiciones adafa-topo-climáticas va desde 11.000 a 14.000 m³ ha⁻¹ con un valor promedio de 12.500 m³ ha⁻¹ (Battello et al., 2009). Estas informaciones concuerdan con datos obtenidos en Uruguay, donde determinaron un uso del agua en el cultivo del arroz de 13.300 m³ ha⁻¹, con una evapotranspiración del cultivo cercana a un 45 %, es decir 6.000-7.000 m³ ha⁻¹, pérdidas asociadas al sistema de riego de 13 %, escurrimiento superficial y pérdidas laterales de 35 % y percolación de 7 % del total de agua utilizada (Blanco et al., 1984). De toda el agua que ingresa al campo de arroz, la fracción que se pierde debido a la transpiración de la planta, es la única que incide directamente en el rendimiento en grano y el resto del agua utilizada tiene sólo la función de reponer el agua perdida por percolación profunda, escorrentía y evaporación.

Efectos del estrés hídrico en la planta de arroz

El cultivo de arroz es muy sensible al estrés hídrico debido a su sistema radicular poco profundo (Tuong et al., 2005, Bouman et al., 2007b, Parent et al., 2010). El estrés hídrico en el período reproductivo, reduce el rendimiento a través de un menor número de espiguillas, peso de grano, mayor esterilidad y una disminución del número de granos llenos por panícula (Bouman y Tuong, 2001). Los efectos del estrés hídrico se hacen presentes en la planta de arroz cuando el suelo se encuentra bajo el punto de saturación. Frente a esta condición la planta de arroz responde cerrando las estomas y disminuyendo la división celular y en la elongación de las células lo cual tiene como consecuencia directa la reducción del crecimiento foliar y la tasa de transpiración y fotosíntesis (Bouman and Toung, 2001; Bouman et al., 2007b; Luo, 2010). Además, el estrés hídrico induce senescencia foliar, disminución de altura de la planta, número de macollas y enrollamiento de la hoja, lo que contribuye a la reducir la captación de radiación solar, atrasando la floración e incrementando el crecimiento de las raíces en número y su profundidad de enraizamiento.

Productividad del Agua.

El concepto de productividad del agua es importante debido a que al optimizar el uso del agua, se puede redestinar este recurso para sembrar una mayor superficie de arroz u otros cultivos, reducir el costo de riego y mano de obra, la huella del agua del cultivo, el impacto ambiental y abrir nuevas posibilidades de mercados para la exportación de arroz. La productividad de Agua corresponde a la cantidad en kilos de arroz producido por m³ de agua utilizada. De acuerdo con Bouman et al. (2007b) existen diferentes formas de determinar la productividad del agua de acuerdo con el tipo de agua utilizada que incluye la productividad asociada a: agua transpirada (WP_T), agua de riego evapotranspirada (WP_{ET}), agua de riego (WP_I), agua de riego más lluvia (WP_{IR}) y la productividad total de agua (WP_{TOT}).

$WP_T = (\text{Kg de arroz ha}^{-1}) / (\text{m}^3 \text{ de agua transpirada})$

$WP_I = (\text{Kg de arroz ha}^{-1}) / (\text{m}^3 \text{ de agua evapotranspirada})$

$WP_{ET} = (\text{Kg de arroz ha}^{-1}) / (\text{m}^3 \text{ de agua de riego})$

$WP_{IR} = (\text{Kg de arroz ha}^{-1}) / (\text{m}^3 \text{ de agua de riego} + \text{m}^3 \text{ agua lluvia})$

$WP_{TOT} = (\text{Kg de arroz ha}^{-1}) / (\text{m}^3 \text{ de agua de riego} + \text{m}^3 \text{ agua lluvia} + \text{agua capilar})$

La productividad del agua se puede mejorar a través de: a) sistemas de riego con déficit controlado (lámina variable-intermitente), sistematización del riego en el campo, reducción del periodo de riego – inundación – retiro del agua, uso de mangas o politubos, construcción de taipas o pretilos con anticipación, realización de las labores del campo con anticipación (verano), reduciendo las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación; b) uso de variedades de ciclo corto o que posean una estructura que le permita utilizar de mejor forma el agua disponible; c) mejoramiento y sistematización de los sistemas de conducción de agua hacia el campo.

17. Sistemas de riego en el cultivo de arroz en el mundo.

El uso del agua en el cultivo del arroz depende del sistema productivo en el cual se desarrolla la planta (Seck et al., 2012; Boumann et al., 2007). A nivel mundial se han reportado distintas formas de producir arroz: 1) Arroz de riego, el cual representa cerca del 75 % de la producción mundial de arroz, con medias de rendimiento de 5,4 t ha⁻¹; 2) Arroz de secano de tierras bajas, el cual corresponde a un 56 % de la producción de Asia con rendimientos de 1,0 a 2,5 t ha⁻¹; 3) Arroz de secano de tierras altas, el cual es cerca del 1 % de la producción de Asia y tiene rendimientos cercanos a 1,0 t ha⁻¹ y 4) Arroz flotante, el cual crece bajo inundación de un metro de agua y corresponde a variedades especialmente adaptadas para esas condiciones. Dentro de este contexto, diferentes países han implementado diversas estrategias de manejo de riego con el fin de mejorar la productividad del agua de manera de sostener o aumentar el nivel de producción del cultivo, utilizando una menor cantidad de agua.

Experiencia y recomendaciones de manejo del riego y uso del agua a nivel global

El Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI) ha desarrollado diversas prácticas de manejo y recomendaciones que permiten aumentar la productividad del agua en el cultivo de arroz (RKB, 2020). Para asegurar rendimientos máximos y un uso efectivo y eficiente del agua recomiendan el uso de algunas prácticas agronómicas como: a) contar con canales de avance dentro del campo que permitan controlar la entrada del agua al campo en varios sectores a la vez. Esta situación, favorece la velocidad de llenado de los

cuadros y las labores de control de malezas, b) preparar el suelo con el objetivo de minimizar las pérdidas de agua evitando romper el pie de arado ubicado bajo el suelo utilizable ya que se pueden producir grandes pérdidas de agua producto de la presencia de grietas bajo la zona donde están las raíces; c) preparar el suelo seco ya que permite un importante uso de agua, la preparación de suelo húmedo puede llegar a consumir hasta un tercio del total de agua requerida para el crecimiento del arroz, en un sistema de arroz irrigado. En el caso de la preparación de suelo húmedo, puede que sea necesario incluir un segundo rastraje, este se debería realizar manteniendo el agua el campo para definir las áreas altas y bajas, preocupándose de la construcción de pretilos y/o taipas, reparando fracturas y orificios; d) revisando la nivelación, ya que un suelo mal nivelado requiere entre 80 a 100 mm más de agua, lo que equivale a un 10 % del total de agua utilizado en el cultivo; e) considerar una altura de agua de 3 cm al momento del trasplante el cual se debe incrementar entre 5-10 cm en la medida que el cultivo aumenta su altura; f) realizar la inundación una vez que las plantas tienen 3-4 hojas, en el caso de realizar siembra directa y g) mantener un nivel del agua al menos 5 cm entre la excrescencia de la panícula y la floración, ya que la planta de arroz es muy sensible a la falta de agua (bajo saturación) en la etapa de floración, lo que se puede traducir en considerables pérdidas en el rendimiento por un aumento en la esterilidad floral.

En el caso que el agricultor no tenga una buena disponibilidad de agua en su predio, una manera de enfrentar este fenómeno podría ser la utilización de métodos de riego intermitente (Alternating wetting and drying; AWD), combinado con el sistema de siembra directa. Este sistema permite que el nivel del agua llegue hasta 15 cm bajo la superficie del suelo lo cual se puede medir mediante un piezómetro. Una vez que esto sucede se re-inunda a una profundidad entre 5 a 10 cm sobre el nivel del suelo para posteriormente permitir nuevamente el nivel del agua disminuir 15 cm bajo el nivel del suelo. Este procedimiento se repite hasta antes de la floración.

En el caso de aparición de muchas malezas, se puede suprimir el sistema por dos a tres semanas para utilizar un control químico. En el caso de la siembra directa el sistema AWD de riego se puede aplicar desde la aparición de tercera y cuarta hoja.

China

China es el mayor productor de arroz en el mundo, con un 28 % de la producción global (FAO 2017). Existe una gran variedad de sistemas productivos y climas (Sub-tropical cálidos a templados). La cantidad media de agua de riego utilizada por agricultores arroceros de China es de 1026 (zona norte) a 736 mm (Zona sur) (He et al., 2020). En China se han implementado soluciones relacionadas con la mejora en el uso del agua a través del riego intermitente, debido a la disminución del recurso hídrico por competencia con otros usos. La agricultura en China es intensiva con baja disponibilidad hídrica. La agricultura depende en gran parte del riego, y es la que garantiza la seguridad alimentaria. China es pionero en la implementación de políticas asociadas a un menor uso de agua. La investigación de técnicas asociadas al ahorro de agua comenzó en 1985 (Li y Baker, 2004). Como resultado de estas investigaciones se determinó que se podía ahorrar agua en el cultivo del arroz, sin disminuir los rendimientos, manteniendo un contenido de agua a nivel radicular entre un 70 y 80 % del contenido con humedad saturado. Por ello, China es uno de los pioneros en los estudios relacionados con riego intermitente. El año 2002 cerca del 40% de la producción de arroz de China (12 millones de ha), fueron regadas mediante riego intermitente, con un incremento en los rendimientos que van desde 5 a un 25%.

El cultivo del arroz en China se desarrolla en tres fechas diferentes: temprano desde abril, posteriormente, media que corresponde a mayo y finalmente tardía que corresponde a Julio. La principal forma de establecimiento del cultivo en China es a través de trasplante manual y mecánico (Nie and Peng, 2017). Sin embargo, el sistema de siembra directa ha incrementado su superficie, debido a que requiere menos cantidad de labores y personal.

India

En la India, se estima que el área regada para el cultivo del arroz es de 25,1 millones de ha. Mayoritariamente, el arroz en la India se siembra mediante el trasplante. Se considera que en promedio se necesitar 2500 L de agua para producir 1 kg de arroz, lo que corresponde de 2 a tres veces más de lo requerido por otros cultivos. En India, la cantidad de agua necesaria para producir arroz es entre 15660 m³ a 22620 m³ en la mayoría de los casos. Para intentar reducir la cantidad de agua utilizada, el uso de técnicas como el riego intermitente y el sistema de intensificación de arroz (SRI) han sido explorados y usados. Además se ha desarrollado la micro irrigación que corresponde a 11,4 millones de ha, lo cual se reparte entre riego por aspersión (5,3 millones de ha) y riego por goteo (6,1 millones de ha). En el caso del riego por cinta de goteo los rendimientos han estado entre 7,3 t a 8 t, con un uso de agua de 8220 m³ ha⁻¹, en contraste, el sistema convencional obtuvo rendimientos entre 6,6 a 7,6 t ha⁻¹ con un uso de agua de 14550 m³ ha⁻¹. Esto implica un ahorro de agua cercano al 40-42 % respecto al sistema tradicional (Govindan y Grace, 2012; Vanitha y Mohandass, 2014). En el caso de riego sub superficial los rendimientos fueron de 5,5 t ha⁻¹ con un uso de 6316 m³ ha⁻¹ en contraste con 5,5 t ha⁻¹ en riego tradicional con un consumo de agua de 8420 m³ ha⁻¹ (Rao et al., 2017).

Colombia

En el caso de Colombia, la agricultura ocupa aproximadamente el 54% del agua y de ese porcentaje aproximadamente el 22% (4.185.000 m³) utiliza el cultivo del arroz (Becerra et al., 2019; González et al, 2014). La alta demanda de agua en la agricultura en Colombia se debe fundamentalmente a la poca adopción de tecnología, deficiencias en los sistemas de riego utilizados, la variabilidad climática, degradación de las cuencas de los distritos de riego, malas prácticas culturales y ausencia de sistemas eficientes de drenaje en los distritos. El sistema de adopción masiva de tecnología (AMTEC) (FEDEARROZ, 2012), ha promovido un uso racional del agua, lo que permitió generar una disminución entre 15 y 39 % en la huella del agua, en comparación con el sistema tradicional (MADR y CIAT, 2015). Sin embargo, este porcentaje de adopción de esta tecnología, por área sembrada, es baja y varía en valores cercanos al 15 % en el Bajo Cauca, 40 % en la Zona Centro, 25 % en la Costa Norte, 15 % en la Zona de los Llanos y 5 % en Santander (Dane-Fedearroz, 2017).

Australia

El arroz en Australia depende completamente del riego y tiene una capacidad para producir cerca de un millón de toneladas de arroz por año (RGA, 2020). El cultivo del arroz es regulado por Murrumbidgee Irrigation Limited, Murray Irrigation Limited and Coleambally Irrigation Cooperative Limited, y se autoriza solamente en suelos con baja infiltración. En este país, se han registrado gastos de agua de riego de 12.000 – 15.000 m³ ha⁻¹, con valores de productividad muy altos, debido a los buenos rendimientos logrados en el cultivo donde los productores de punta obtienen 14 - 15 t ha⁻¹, mejoras en la eficiencia del uso del

agua, uso de variedades de alto potencial de rendimiento y de ciclos más cortos y prácticas de manejo.

El 80 % del arroz que produce Australia es de grano medio tipo *japónica*, variedades de tamaño largo ancho como “Amaroo”, “Millin” y “Langi” y variedades de tamaño corto como Koshihikari, para el mercado japonés. Para mejorar el uso del agua, los agricultores australianos han seguido estrictamente las regulaciones asociadas al crecimiento del cultivo del arroz, planificación predial, geo-nivelación del suelo con pendiente controlada que facilitan el riego y drenaje, el cultivo de variedades de ciclo corto, uso de otros cultivos que utilicen la humedad de suelo posterior a la cosecha, retraso del momento de inundación permanente del cultivo, grupos de discusión para discutir el uso de nuevas tecnologías y mantener las buenas prácticas, y la planificación de manejo de suelo y el agua. Asociado a estas medidas, existen sistemas de detección de áreas con bajas permeabilidad que permite generar políticas de nuevo uso de suelo y así limitar el cultivo a sólo zonas de baja infiltración de agua (Beecher et al., 2002; Humphreys y Robinson 2003).

Proyecciones negativas basadas en un escenario A1 (IPCC, 2000), indican una reducción del caudal en la cuenca Murray-Darling, de hasta un 48 % el 2100 (Beare y Heaney, 2002), lo que ha llevado a desarrollar tecnologías que permiten mantener los niveles de producción, disminuyendo la cantidad de agua utilizada (Gaydon et al., 2010). Una de las mejoras realizadas, se relaciona con la disminución del tiempo en que el cultivo está inundado. El periodo ideal para implementar esta tecnología es, desde que la planta tiene tres hojas hasta cuando esta cubre completamente la canopia.

Otras tecnologías alternativas utilizadas han sido el riego intermitente, el uso del suelo saturado, uso del arroz aeróbico y el riego por aspersión como una manera de disminuir el uso del agua (Kato 2009; Muirhead 1989; Humphreys et al., 2005). Sin embargo, una de las principales restricciones en el uso de estas tecnologías han sido los incrementos de los costos del riego, fertilidad y control de malezas.

Durante la etapa reproductiva el cultivo, se recomienda mantener el cultivo con una lámina de agua de 20 a 25 cm (Humphreys et al., 2005) ya que la planta requiere protección de las bajas temperaturas y el potencial de evapotranspiración que demanda el cultivo en este periodo es muy alto. Experiencias de riego basadas en la evapotranspiración de referencia, hasta el inicio de formación de panícula, se han generado ahorros de uso de agua entre un 15 a un 22 %, con una disminución del rendimiento cercano a 10 % (Dunn y Gaydon, 2011). Sin embargo, el uso de estas tecnologías necesita, la realización de siembras más tempranas para asegurar que el desarrollo de la microspora temprana ocurra en periodos con menor probabilidad de pérdidas por bajas temperaturas.

Actualmente, se están desarrollando diversos proyectos relacionados con la automatización del riego, uso de sensores que permiten monitorear las condiciones del suelo, planta y meteorológicas que permiten determinar las necesidades de la planta y la altura de la lámina de agua para proteger al cultivo de las bajas temperaturas, todo lo cual podría contribuir a un mayor ahorro en el uso de agua, en años con temperaturas sobre el valor crítico para la planta.

Estados Unidos

Informe técnico final
V 2018-06-29

En Estados Unidos existen sistemas de riego de arroz con entrada múltiple (MIRI – Multiple Inlet Rice Irrigation) que permiten que el agua de riego ingrese a todas las cuadros simultáneamente, con mangas de riego instaladas perpendicularmente a las taipas (Massey et al., 2014). El uso de las taipas rectas permitieron un ahorro de agua del 17 % ($9.650 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) mientras que MIRI usado a su vez con taipas rectas determinaron una reducción aún mayor, de un 30 % ($7.830 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Por otro lado, la nivelación a cota cero permitió también un ahorro importante de agua, con una reducción de un 55 % ($5.008 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en relación con los campos sistematizados con taipas siguiendo las curvas de nivel ($11.170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Smith et al., 2007).

Otras experiencias realizadas para mejorar el uso del agua en el cultivo, han permitido el uso de riego por surcos en siembra directa, lo que permitió la infiltración del agua a través de los surcos (Stevens et al., 2018). Para establecer este sistema, es necesario construir los surcos antes de la siembra, siguiendo la pendiente del campo. El espaciamiento de los surcos debiera ser de aproximadamente 76 cm, dependiendo de las propiedades del suelo, y el arroz es sembrado a una distancia de 19 cm entre hileras. Este sistema de manejo agronómico muestra una reducción en el rendimiento entre 11 % y 48 %, en comparación con el sistema completamente inundado y los rendimientos en grano fluctuaron entre 6,1 a 11 t ha^{-1} , dependiendo de la variedad de arroz utilizada. Para poder realizar este riego se utiliza manga de riego de 30 cm de diámetro, la cual puede transportar cerca de 3.785 L m^{-1} y soportar 90 milibares de presión. La manga es perforada en base a información de software PHAUCET desarrollado por USDA (Natural Resources Conservation Service). Debido a que la presión es difícil de mantener en sectores amplios, las mangas se dividen en secciones donde las compuertas se abren o cierran dependiendo del tiempo necesario para el riego. Este sistema se puede automatizar a través del uso de una válvula de riego por pulsos, que permite riegos con diferentes frecuencias.

En este sistema la monitorización de la evapotranspiración del cultivo es fundamental para programar el riego y no generar problemas de estrés en las plantas. Este monitoreo se puede realizar mediante programas computacionales comunicados con estaciones meteorológicas. En este sentido, la Universidad de Missouri desarrolló el software llamado “Crop Water Use”, que permite regular la frecuencia de riego. Finalmente, el uso de mangas de riego es un sistema eficiente, de fácil implementación que, a escala comercial puede incrementar los rendimientos y restablecer la lámina de agua, con mayor velocidad que los sistemas convencionales.

Uruguay

Actualmente, en Uruguay el área cultivada de arroz es de aproximadamente 145.000 ha y una producción total de 1,2 millones de toneladas, donde más del 90 % es exportado (DIEA MGAP, 2019). El arroz en Uruguay se cultiva en tres zonas principalmente: Norte, Centro y Este.

En la zona norte se cultiva el 20 % del total del área arrocería, la cual corresponde a la Cuenca del río Cuareim y del Uruguay. En esta zona las pendientes son más pronunciadas y el mayor porcentaje del agua de riego proviene de represas. En la zona centro, el área cultivada alcanza el 9% y corresponde a la que se ubica en la cuenca de río Negro y requiere de represas para el abastecimiento del agua para el riego. Finalmente, la zona este es la de mayor superficie sembrada (71 %) y abarca las planicies de la Laguna Merín

y del Atlántico. La topografía en general es muy plana y cuenta con abundantes fuentes de agua (DIEA MGAP, 2019). El laboreo, nivelación, sistematización, siembra, primer herbicida y primera fertilización de N, se realizan sobre suelo seco.

La totalidad del área cultivada en Uruguay es regada. El 45 % del riego se realiza con bombeo eléctrico y un 45 % es riego por gravedad (DIEA MGAP, 2019). Las represas construidas con fines de riego son la principal fuente de agua. El riego gravitacional es responsable de 80.000 ha y la electricidad de cerca de 65.000 ha, ya que el riego con diesel no es viable desde el punto de vista económico (DIEA MGAP, 2019). El sector arrocerero en Uruguay se caracteriza por tener una muy buena integración con la cadena agroindustrial entre las distintas instituciones vinculadas al sector: Asociación de Cultivadores (ACA), Gremial de Molinos Arroceros (GMA), Investigación (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria - INIA) y Gobierno (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - MGAP). Esta integración ha favorecido la transferencia de tecnologías disponibles para el cultivo.

Los rendimientos en Uruguay han aumentado a una de las tasas más altas a nivel mundial ($14 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ desde 2000-2017) (Carracelas et al., 2017). Los niveles de rendimiento actuales en Uruguay se encuentran sobre las $8,3 \text{ t ha}^{-1}$, lo que representa el 57 % del potencial de rendimiento estimado (14 t ha^{-1}), e indica que es posible aumentar aún más los rendimientos actuales y continuar reduciendo las brechas de rendimiento ($3,1 \text{ t ha}^{-1}$) (Carracelas et al., 2019a). La tasa de aumento de los rendimientos de arroz en Uruguay se explica principalmente por la alta adopción tecnológica, la incorporación de nuevas variedades y la implementación de prácticas integradas de manejo de cultivos. El manejo del riego juega un rol fundamental en permitir el logro del potencial productivo de las variedades disponibles a nivel comercial. El riego de inundación temprana y su alta uniformidad han sido los manejos claves para el logro de los altos rendimientos en el cultivo de arroz. La sistematización a un menor intervalo vertical, sistema de múltiples taipas, cambio de la forma de la taipa, disminución de la altura de taipa, uso de mangas de riego y canales secundarios, regueras con pendiente controlada que son plantadas con arroz, han facilitado la velocidad y uniformidad del riego y del cultivo.

La inundación se realiza a partir del estado fenológico V3 (15-35 después de la emergencia) (Counce et al., 2000). La finalización del riego es de, 10 a 20 días previo a la cosecha la cual se realiza sobre suelo seco. Las ventajas de cosecha en suelo seco son relacionadas a un menor costo por menor desgaste de maquinaria, menor gasto de gasoil y se mantiene la estructura del suelo y sistematización para los próximos cultivos.

Otros cambios tecnológicos registrados en los últimos años son: siembra de variedades de alto rendimiento resistentes a enfermedades, alto uso de semilla certificada, sistematización, nivelación, laboreo de verano, reducción de laboreo, mayor proporción del área sembrada en periodo óptimo (octubre), manejo eficiente de fertilización nitrogenada, uso eficiente de fungicidas, y control de malezas temprano con menores dosis, han logrado una mayor eficiencia y un menor impacto ambiental.

Finalmente, la incorporación de otros cultivos como soja y la integración con ganadería ha contribuido favorablemente en el logro de altos rendimientos y en la sustentabilidad del sector. La rotación típica en los sistemas arroceros en Uruguay es de dos años de arroz seguido por la siembra de pasturas perennes (3 años). Nuevas rotaciones han incluido la

siembra de otros cultivos como soja, los cuales han tenido un impacto favorable en los rendimientos logrados durante el cultivo de arroz.

Chile

En Chile, el sistema de siembra mayoritariamente utilizado es el inundado con uso de semilla pre-germinada. La semilla pre-germinada es distribuida al voleo sobre una lámina de agua de 5 cm. Esta labor se realiza manualmente (sobre animales de carga), por avión o a través de un trompo de aplicación de fertilizantes. La dosis de semilla utilizada fluctúa entre 140-200 kg ha⁻¹ en siembra manual y 120 kg ha⁻¹ en el caso de siembra por avión.

Posterior a la siembra el cultivo requiere un incremento de la lámina de agua > 10 cm en etapa de plántula (V3 a V4), hasta la madurez fisiológica. Datos preliminares muestran que este sistema de siembra requiere sobre los 18.000 m³ ha⁻¹, durante la temporada que se extiende por aproximadamente 160 d entre octubre y marzo (Quezada et al., 2011; Henríquez et al., 2018; Donoso et al., 2019).

El otro sistema de siembra utilizado es la siembra directa, la cual permite ahorrar agua principalmente durante la etapa vegetativa de la planta, mejor la eficiencia del proceso de la siembra, fertilización y aplicación de herbicidas (Henríquez et al., 2018). Este sistema de siembra ha ido aumentando y en la actualidad cubre aproximadamente un 20 % del cultivo del arroz (Paredes y Becerra, 2015; Henríquez et al., 2018). Este sistema requiere de una preparación de suelo a cota cero (0) o micronivelación láser (Henríquez et al., 2018), buena preparación de suelo y la siembra se realiza con una máquina sembradora de cereales, ubicando las semillas a tres centímetros de profundidad. La dosis de semilla fluctúa entre 100 y 120 kg ha⁻¹. Este sistema sólo requiere mantener la humedad del suelo para iniciar la germinación de la semilla hasta V3-V4, y luego se inunda con una lámina de agua de 5 a 10 cm, hasta la madurez fisiológica (Henríquez et al., 2018). Según estudios realizados en Chile, la siembra directa permite ahorrar alrededor de un 20 % en el agua de riego en comparación con la siembra con arroz pre-germinado en suelo inundado (Henríquez et al., 2018).

18. Manejos alternativos de riego en el cultivo del arroz

Existen diversas prácticas de manejo de riego y tecnologías que permiten mejorar la eficiencia del riego en el cultivo del arroz. Algunas de ellas ya están siendo utilizadas en otros países y nos podrían permitir mejorar la productividad del agua, ahorrando un volumen importante del recurso hídrico y mejorando su distribución en el campo.

Riego intermitente

En el manejo intermitente del riego, el suelo siempre se mantiene en condiciones de saturación, nunca se seca, lo que varía es la altura de la lámina de agua hasta llegar a una situación de “barro líquido”. Diversos autores señalan que la reducción en el uso de agua al implementar manejos alternativos de riego como el intermitente, estaban asociadas con un aumento en la captura de agua de lluvia (Massey et al., 2014; de Avila et al., 2015; Massey et al., 2018).

El riego intermitente combinado con un sistema de riego de arroz de entrada múltiple mediante el uso de mangas (MIRI) en USA, permitió una reducción importante en el agua utilizada (4.990 m³ ha⁻¹) y determinó un efecto positivo en el rendimiento de grano en

relación con las inundaciones continuas (Massey et al., 2014). La clave de éxito de estos manejos en los predios comerciales radica en contar con un sistema de riego confiable con amplia capacidad de suministro de agua de riego que permita una rápida y uniforme re-inundación del campo, asegurando que el estrés hídrico no limite la producción del cultivo. La experiencia en el uso de los sistemas de múltiple entrada (MIRI) asociados a un programa de manejo integrado del cultivo (malezas, fertilización y enfermedades) son fundamentales para adaptar e implementar el riego intermitente en cultivos comerciales.

Estudios de investigación realizados en Uruguay donde se evaluaron diferentes manejos de riego: inundación continua temprana (C), riego restringido con secados hasta primordio (AWD), inundación intermitente hasta primordio (IP) e inundación intermitente durante todo el período de crecimiento del cultivo (I) permitió señalar que el riego intermitente (IP, I) registró ahorros significativos en el gasto de agua en las regiones Norte y Centro (en promedio 35 % o $3.986 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en relación con el manejo tradicional.

La productividad del agua considerando el agua de riego solamente se incrementó en un 23 % en IP y 62 % en I, en relación con el control (C). El porcentaje de granos enteros se redujo significativamente en el tratamiento de riego intermitente (I) en la región Norte. Las técnicas que mantuvieron el suelo en condiciones saturadas (inundaciones intermitentes), permitieron una reducción del gasto de agua sin efectos significativos en el rendimiento de grano, lo que condujo a un aumento significativo en la productividad del agua de riego. La técnica de riego intermitente hasta el inicio de primordio permitió un ahorro importante del gasto de agua y un aumento significativo en la productividad del agua de riego, sin afectar el rendimiento de arroz y la calidad industrial del grano (Carracelas et al., 2019b).

El riego intermitente al mejorar significativamente la productividad del agua en el cultivo del arroz en Uruguay, se convierte en una excelente alternativa frente a fenómenos de escasez hídrica. Aumentar los rendimientos y mantener la calidad industrial del grano de arroz, mientras se reduce el gasto de agua podrían determinar una mejora en el resultado económico de la actividad por un ahorro en los costos asociados al riego (mano de obra, costos de bombeo). Es importante considerar que el ahorro de agua se justifica cuando su aplicación permite obtener al menos rendimientos similares o superiores a los sistemas convencionales de riego y si está asociado a un ahorro en los costos asociados al riego. Otra consideración es contar con sistemas de medición de agua que permitan realizar una cuantificación efectiva del riego para promover sistemas de riego más eficientes.

Riego de periodos Alternados de suelo saturado e insaturado (AWD).

Esta técnica de manejo de riego consiste en alternar las condiciones del suelo de saturado a insaturado, modificando los intervalos de riego, permitiendo que el agua del suelo se resuma hasta que el suelo alcance un estado aeróbico antes de que el campo se vuelva a inundar.

Este tipo de manejo puede estar asociado a diferentes niveles de estrés hídrico para las plantas de arroz asociado al nivel de secado, duración y momento fenológico en el que se realiza. El AWD es una tecnología ampliamente usada en diversos países asiáticos como Filipinas, entre otros. Estudios realizados en estos países han determinado ahorros importantes en el gasto de agua de riego (15-30%) sin afectar negativamente el rendimiento de arroz en relación con el riego continuo tradicional (Lampayan et al.,

2003; Lampayan et al., 2005). La técnica conocida como "safe" AWD permite una reducción importante en el agua utilizada sin penalizar el rendimiento del grano de arroz. Esta técnica consiste en dejar resumir el agua hasta una profundidad de hasta 15 cm por debajo de la superficie del suelo de manera que las raíces de la planta de arroz aún tengan acceso al agua, luego el campo se vuelve a inundar nuevamente con una lámina de agua de 5 cm (IRRI, 2019; Lampayan et al., 2009; Carrijo et al., 2018), sin penalización de rendimiento cuando el potencial de agua del suelo fue mayor a - 20 kPa (Carrijo et al., 2017).

Otros estudios realizados a nivel mundial reportaron una pérdida importante en el rendimiento con este manejo de riego (AWD) en relación con el riego tradicional, presentándose una gran variabilidad en su impacto dependiendo del tipo de suelo y de los diferentes niveles de estrés hídricos establecidos (Bouman and Tuong, 2001). Resultados obtenidos en Uruguay con el manejo AWD, donde el periodo de secado se realizó durante la etapa vegetativa, permitiendo un agotamiento del 50% del agua disponible a nivel del suelo, estuvieron asociados a una reducción en el rendimiento cercana al 15 % en relación con el riego continuo tradicional (Carracelas et al., 2019ab). El riego restringido AWD permitió un 29 % (- 2.067 m³ ha⁻¹) de ahorro en agua de riego en relación con el riego tradicional continuo, pero determinó una pérdida de rendimiento significativa de alrededor de un 15%, equivalente a 1.339 kg de arroz ha⁻¹ (Carracelas et al., 2019a). Cuando el suelo se seca aún en la etapa vegetativa, el rendimiento fue afectado negativamente. Sin embargo, esta técnica puede reducir la acumulación de Arsénico inorgánico en el grano de arroz en ciertos tipos de suelos (Carrijo et al., 2018; Carracelas et al., 2019c).

Sistema de Intensificación del Cultivo Arrocero (SRI; System of Rice Intensification)

El Sistema de Intensificación del Cultivo Arrocero (SRI; De Laulanie, 1993), es una metodología agroecológica para el incremento de la productividad del arroz y otros cultivos. Este sistema se basa en un fácil y rápido establecimiento de las plantas mediante trasplante, una reducida densidad de plantas, enriquecimiento del suelo a través del uso de materia orgánica y una reducción y control en el uso del agua. Según los resultados obtenidos en los países donde se ha implementado esta metodología, se ha logrado incrementar el índice de área foliar y el peso seco de las plantas (Lin et al. 2011), utilizar menos cantidad de agua (Choi et al. 2013), fertilizantes sintéticos, menor dosis de semilla (Ferichani y Prasetya 2011) y aumentar los rendimientos (Ferichani y Prasetya 2011; Rao 2011). En general, se considera que esta tecnología puede beneficiar a pequeños agricultores y de bajos ingresos que cultivan el arroz para autoconsumo (Ramesh et al., 2019).

19. Tecnologías disponibles que facilitan la implementación de manejos alternativos de riego

Existen diferentes tecnologías de riego disponibles a nivel global para poder implementar las técnicas de riego alternativas al sistema tradicional. Estas tecnologías permiten la re-inundación rápida de la humedad del suelo, una vez interrumpido el riego, campos de arroz nivelados uniformemente que permiten que el suelo permanezca siempre saturado y con niveles de humedad disponible en el suelo y que no afecten el rendimiento del cultivo de arroz.

Riego por Mangas o politubos

El riego por mangas es una tecnología ampliamente utilizada en USA, Argentina y Uruguay, que permite mejorar la eficiencia del uso del agua.

Las principales ventajas se asocian con una reducción de pérdidas por evaporación directa como ocurre en los canales de avance, la cuantificación del uso del agua y un incremento en el número de hectáreas regadas por persona (~120 ha) (Böcking y Bandería, 2014). En estos casos las mangas se colocan a una distancia de 200 m unas de otras y las compuertas cada 50 m. El uso de mangas de riego permite un ahorro de agua en el riego cercano al 13% ($1.900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) lográndose incrementos en el rendimiento cercanos a $1.000 \text{ kg arroz ha}^{-1}$. El uso de mangas facilita la implementación de manejos de riego alternativos como riego intermitente; riego por surcos; de entradas múltiples de agua (MIRI) con reducciones importantes de agua de riego y aumentos de rendimientos en grano en relación con las inundaciones continuas (Massey et al., 2014).

El uso de mangas de riego permite en campos comerciales, una mayor velocidad de inundación y uniformidad del riego, lo cual facilita la implementación de manejos alternativos (Carracelas et al., 2017). Otras ventajas identificadas por productores que usan esta tecnología en Uruguay es el posible uso de personal no calificado, menores problemas de erosión, mejor control del agua y una mayor eficiencia en el uso del agua.

Riego automatizado por telemetría

La implementación de sistemas de riego automatizados permite asegurar un uso racional del recurso hídrico y medir el volumen de agua, elementos esenciales para hacer un uso más eficiente del agua. Sin embargo, la automatización tiene un alto costo, lo cual impide un uso masivo de estas tecnologías (Niblack y Sánchez, 2008; Dassanayake et al., 2010; Shahidian y Serralheiro, 2012).

Existen sistemas automatizados, como los creados en Australia, FarmConnect® (Rubicon Water, 2020) y Aquator (GM Poly, 2018). FarmConnect®, es un sistema integrado y más accesible que permite controlar compuertas y válvulas de riego, en base a la información de sensores y medidores que monitorean el nivel del agua, y los contenidos de humedad del suelo y son capaces de medir el flujo del agua superficial. Este sistema posee, además una interfaz web que permite revisar en tiempo real el sistema de riego, notificar de posibles problemas en el riego y almacenar la información actual e histórica del riego.

Ensayos preliminares de Koech et al. (2014), han demostrado que estos sistemas son efectivos para mejorar la eficiencia en el uso del agua (Smith et al., 2016). Este sistema se ha adoptado masivamente en el sur de Australia y en California (USA) (Gillies et al., 2010). Algunos autores han reportado eficiencias de aplicación de agua de hasta un 90% (Smith et al., 2016). Por ejemplo, en el caso del riego por surcos en Australia (Raine y Bakker, 1996; Smith et al., 2005) encontraron eficiencias de aplicación para riegos de surcos individuales con un promedio de aproximadamente 50 %, y una eficiencia de aplicación promedio de aproximadamente el 75 % en algodón utilizando la tecnología de automatización del riego (Smith et al., 2005).

La primera experiencia en el uso de estas tecnologías para el arroz en Italia (Masseroni et al., 2018), logró demostrar una mejora sustancial en la eficiencia del tiempo que los trabajadores dedican al riego y un manejo del agua completamente controlado y eficiente.

Nivelación.

Sistemas con pendientes variables

En USA la nivelación fue reportada como la técnica que más impacto tiene en el ahorro del gasto de agua sin afectar el rendimiento de arroz (Massey et al., 2014). Sin embargo, su implementación está limitada por los altos costos que esta tecnología implica. Existen nuevas técnicas de nivelación de precisión con pendiente variable, las cuales están siendo evaluadas en Uruguay (Bueno et al., 2020), se indica que permitiría disminuir los costos, realizar menos taipas y más rectas, lo que facilitaría la implementación de esta tecnología en cultivos comerciales. Estas técnicas permitirían regar en forma más eficiente y uniforme el cultivo de arroz y facilitaría la implementación de manejos alternativos de riego.

Monitoreo de riego con Imágenes satelitales y drones.

El uso de drones en campos de arroz permite obtener información de alta calidad a un bajo costo, facilita la detección rápida de zonas con problemas de riego, enfermedades y/o fertilización, facilitando la toma de decisiones de manejo que permitirán finalmente mejorar los rendimientos (Carracelas et al., 2017). Actualmente, existen programas disponibles que permiten la automatización de los vuelos (DeoneDeploy, Micasense Atlas Flight) y el monitoreo de los campos de arroz. El uso de cámaras multispectrales y termales en drones puede ser utilizado a su vez para el monitoreo del riego y fertilización nitrogenada; existen también muchas plataformas satelitales que permiten la obtención de imágenes satelitales sin o a un bajo costo, que pueden también ser utilizadas para monitorear el manejo del riego en el cultivo de arroz (Hornbuckle y Carracelas, 2019).

Riego presurizado para el cultivo del arroz

El riego por aspersión es una de las técnicas de riego que permiten lograr importantes ahorros de agua en comparación con las técnicas actuales de riego por inundación (Stevens et al., 2012). Sin embargo, muchos agricultores que intentaron implementar este sistema para el cultivo del arroz han fracasado debido a dificultades relacionadas con la mayor frecuencia de enfermedades en el cultivo, mayor presencia de malezas y problemas asociados con el avance del equipo en suelos pesados saturados de agua.

El costo de la energía eléctrica puede llegar a ser otra limitante considerar la incorporación esta tecnología para el riego del arroz (Stone 2006). En Estados Unidos (Stevens et al., 2012; Vories et al., 2013) como en Brasil (Crusciol et al., 2012) y Pakistán (Kahlow et al., 2007), la utilización de riego por aspersión mediante Pivote ha mostrado tener buenos resultados, con rendimiento en grano de arroz similares al cultivo bajo inundación. En Brasil, se han obtenido rendimiento de 8 t ha^{-1} , lo que corresponde a un 87 % de la productividad observada en condiciones de inundación, con un ahorro importante en el uso de agua (5.340 m^3). Sin embargo, en este caso se debe tener en consideración que la presencia de precipitaciones en la etapa reproductiva suplementa cerca de un 40% de la demanda hídrica.

Una experiencia realizada en Japón, manteniendo el cultivo durante todas sus etapas de desarrollo en condiciones aeróbicas y con riego de 30-40 mm cuando la tensión en el suelo a 20 cm era menor a -60 kPa, no mostró mayores diferencias en los rendimientos respecto al cultivo mantenido en condiciones de inundación, obteniéndose un rendimiento promedio

entre 7,5 a 9,4 t ha⁻¹ (Kato et al., 2009). Por otro lado, ensayos realizados en la India, muestran una disminución en los rendimientos de un 24,6 % en comparación con el riego convencional. Los autores reportaron un ahorro de agua de un 20 % aproximadamente. Las disminuciones en el rendimiento informadas, se debieron a la disminución de número de granos por panícula y no a un incremento en la esterilidad floral o disminución del peso de los mil granos.

Respecto a la productividad de agua, se observó una gran diferencia entre el sistema convencional de riego por inundación respecto al riego aeróbico, donde se observó entre 0,75 a 0,96 kg m⁻³, lo cual fue casi cuatro veces mayor a lo observado en el riego convencional. Finalmente, el sistema de riego por aspersión es una alternativa de riego más para el cultivo del arroz que puede ser implementada tomando en cuenta las condiciones climáticas del sitio donde se quiere implementar, el tipo de suelo y las variedades comerciales disponibles, con el fin de lograr un resultado óptimo.

20. Consideraciones finales

Considerando que el agua es un bien escaso, es necesario contar con técnicas de riego que permitan un ahorro significativo de este recurso cada vez más escaso. A nivel mundial las técnicas de riego más eficientes para el cultivo del arroz son el riego por aspersión seguido por el riego por mangas o politubos asociado al riego intermitente. Para Chile la adopción de estas tecnologías permitirán lograr un salto importante en el mejor uso de agua, lo que podría reflejarse en beneficios ambientales y productivos.

*Las referencias del artículo se encuentran al final del informe.

ARTÍCULO 2

MANEJO DEL AGUA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ARROZ EN CHILE

Gabriel Donoso Ñ.¹, Viviana Becerra V.¹, Mario Paredes C.², Hamil Uribe C.¹, Gonzalo Carracelas G.³.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Quilamapu.

² Asesor de Proyectos.

³ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA Tacuarembó, Uruguay.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los alimentos principales a nivel mundial con una producción de 509,2 millones de toneladas (FAO, 2020) y se obtiene, mayoritariamente, en países de Asia como China e India. Debido al incremento en la población mundial, que alcanzará los 8 billones para el año 2030 (OECD/FAO, 2016), se estima un incremento de la demanda por este cereal en un 40 % (Bernier et al., 2008). Estudios realizados en diversos países arroceros, incluidos en el atlas mundial (Global Yield Gap Atlas), indican que es posible continuar aumentando los rendimientos, en las mismas áreas productoras de arroz, para satisfacer esta creciente demanda (Carracelas et al., 2017a). La producción actual, relativa al rendimiento potencial del cultivo de arroz, se encuentra en el 60 % (Carracelas et al., 2019b; GYGA, 2019). Además, los rendimientos promedios de los campos arroceros a menudo comienzan a estabilizarse cuando alcanzan los 75 a 85 % del potencial de rendimiento (Cassman et al., 2003; Lobell et al., 2009). Sin embargo, la

disponibilidad del recurso hídrico para el cultivo podría ser insuficiente en India, Tailandia y Australia, entre otros, lo cual limitaría los aumentos de producción estimados, donde la optimización del uso del agua de riego juega un rol clave (Tuong y Bouman, 2003; Gaydon et al., 2010; Dunn y Gaydon, 2011). La reducción potencial estimada de los rendimientos a nivel mundial, debido a la menor disponibilidad de agua para riego, podría en promedio alcanzar los 18 millones de toneladas anuales de arroz (O'Toole, 2004). Por ello, la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico es un gran desafío para la producción de arroz, donde se necesita contar con alternativas de manejo del agua de riego que permitan lograr una mejora en la optimización y uso del agua sin disminuir significativamente la producción de grano (Dunn y Gaydon, 2011; Tuong, 2004).

En Chile, el uso de agua para la agricultura es del 72 % (Fundación Chile, 2018; Valdés-Pineda et al., 2014), con un consumo del sector agropecuario de un 82 %. Específicamente, en la región del Maule, el consumo agrícola corresponde a un 96,4 % y el pecuario a un 0,1 % del total del recurso hídrico disponible. Por otro lado, en ambas regiones de Ñuble y Bío Bío juntas, se estima que el consumo agrícola del agua corresponde a un 41,9% y el pecuario de 0,1 % (DGA, 2017).

En este contexto, aunque la superficie sembrada de arroz en el país es reducida, el agua desempeña un papel importante en la producción de grano. Actualmente, un 80 % de la superficie de arroz se cultiva bajo condiciones de inundación continua desde la siembra hasta madurez fisiológica, utilizando grandes volúmenes de agua que supera los 14.000 m³ ha⁻¹ (Hernaíz y Alvarado, 2007). En el cultivo del arroz se deben considerar las pérdidas de agua debido a la evapotranspiración de la planta, infiltración y percolación en el suelo, y a prácticas específicas de manejo del agua, como la preparación de suelo inicial y el drenaje del terreno antes del macollaje (Renault, 2004; Bouman et al., 2007). Así, el cultivo de arroz es altamente demandante del recurso hídrico.

La inundación del cultivo permite un control más efectivo de las malezas, aumento de la disponibilidad de nutrientes, menor incidencia de enfermedades y protección contra el frío. Por ejemplo, el incremento progresivo de la lámina de agua desde 15 cm hasta 25 cm, protege al cultivo de las bajas temperaturas durante las etapas fenológicas de inicio de panícula hasta la microporogénesis. Lo anterior es debido al efecto de amortiguador térmico que tiene el agua, debido a su alto calor específico. Esta práctica agronómica es recomendada en Australia (Williams y Angus, 1994; Lacy et al., 2002; Humphreys et al., 2006).

Antecedentes históricos del manejo del agua en el cultivo del arroz

La introducción del cultivo de arroz fue en el año 1920 y realizó en la zona de Valparaíso y La Serena. Sin embargo, a pesar de las buenas temperaturas de la zona, la escasa disponibilidad de agua desestimó el cultivo en esas zonas. A pesar de la importancia de dicho recurso, no existe información sobre la utilización y manejo del agua de riego en las primeras siembras realizadas en el país. Los primeros antecedentes relacionados en el manejo del agua en el cultivo de arroz se remontan a principios del año 1930, en una siembra por almácigo-trasplante realizada en el Fundo Quilapán, ubicado en los alrededores de San Fernando. Así, dada la incidencia de la baja temperatura encontrada en el agua causó importantes mermas en el rendimiento de grano, causando pérdidas considerables de plantas en la entrada de todos los cuadros (Anríquez, 1934).

En 1937, existe evidencia que señala una mayor preocupación por el manejo del agua en el cultivo del arroz. En esa época, las principales prácticas de manejo estaban asociadas a la elección de suelos con escasa pendiente que favoreciera una altura de agua uniforme, construcción de pretilos en curvas de nivel, instalación de compuertas de madera que permitieran el paso del agua de un cuadro a otro y permitir un rápido desagüe del campo en el momento de la siega facilitando la entrada de los equipos de cosecha (Silva, 1937).

El manejo del agua recomendado durante el desarrollo del cultivo consistía en realizar el primer riego, cuando las plantas de arroz tuvieran unos 20 cm de altura para favorecer el vigor de las plantas y facilitar el desarrollo normal de la raíz. Posterior a este primer riego, se iniciaba el riego permanente que consistía en abrir las compuertas que alimentaban los cuadros superiores, para dejar que el agua saturara el suelo y alcanzara una altura de 5 cm, y de esta manera permitir el paso del agua al cuadro siguiente, donde se repetía este procedimiento hasta inundar todos los cuadros. Cuando todos los cuadros estaban inundados se procedía a subir la altura del agua hasta los 15 a 20 cm, la que se mantenía constante hasta la aparición de las primeras panículas. En esa etapa se retiraba el agua por espacio de ocho a 12 días, para volver a llenarlos hasta que la panícula se empezaba a doblar por el peso de los granos. En este estado se suspendía la entrada del agua por ocho días para posteriormente proceder al drenaje de los cuadros. Ante la ocurrencia de lluvias, se recomendaba labrar con un arado sobre los pretilos acelerando el drenaje de los cuadros para facilitar la cosecha. El caudal de agua utilizado en el arrozal era muy variable y podía variar entre 1 a 2 L s⁻¹ ha⁻¹ a 5 o más L s⁻¹ ha⁻¹ (Silva, 1937).

La experiencia obtenida en la primera década del cultivo de arroz en el país y el auge de la producción arrocería, permitió determinar que el cultivo del arroz debía contar con un buen abastecimiento de agua. Dada esta situación, la zona productora de arroz del país se estableció al poniente de la zona entre las ciudades de Valparaíso y San Carlos. Esta distribución permitiría explotar suelos “nuevos y con limitaciones” para ser usados por otros cultivos (Sims, 1969). Sin embargo, esta zona presentaría una mayor exposición de la planta a las bajas temperaturas y las lluvias tempranas de otoño, lo que podía afectar el desarrollo normal de la planta y las actividades de cosecha, respectivamente (Villalobos, 1941; Elgueta, 1955; Torrealba, 1956). Este proceso de expansión del cultivo de arroz hacia el sur del país fue acompañado por la construcción de una nueva infraestructura de riego, como el embalse Digua, Bullileo y el canal Melado, entre otros, que apoyaron el desarrollo de la producción de arroz en las zonas de Parral, Talca y Linares (Astorga, 1944; Olate, 1950; Torrealba, 1956).

En la década del 1940, se continuó recomendando evitar el efecto negativo de las bajas temperaturas del agua ya que causaba pérdida de plantas, retraso en el período de desarrollo del cultivo y una mayor producción de granos verdes. Para abordar este problema, se recomendaba mantener un bajo caudal y velocidad del agua de riego o utilizar calentadores de agua. El sistema de riego utilizado continuó siendo similar a la década anterior, es decir, el uso del sistema inter-comunicante, donde el agua de la acequia principal ingresaba a los cuadros superiores directamente, dejando una lámina de agua de alrededor de 5 cm, para pasar por los cuadros siguientes. Cuando las plántulas tenían la segunda hoja, se aumentaba la altura del agua hasta alcanzar 18 a 20 cm, la que se mantenía hasta la macolla, en que se desaguaban los cuadros por cinco días, para permitir el control de las malezas, fortalecer el desarrollo del sistema radicular de la planta y realizar la segunda aplicación de nitrógeno en seco. Posteriormente, se subía el nivel del

agua a una altura de 20-25 cm y cuando el 80 % del arroz estaba maduro, el flujo de agua se detenía completamente. El gasto de agua en el cultivo fluctuaba entre 1 y 3 L s⁻¹ ha⁻¹ (Villalobos, 1941).

A principios de 1970, el manejo del agua se centraba en algunos factores que permitieran un uso más racional y eficiente. Los estudios realizados permitieron establecer que: a) la época de entrega del agua por los ríos y embalses a los agricultores ocurriría los primeros días del mes de octubre, situación que impedía sembrar temprano; b) la presencia de desnivel en los suelos, el exceso de pretilos y la falta de drenaje de los suelos, hacían muy complejo el manejo uniforme del agua; c) el sistema de inundación era superior a las frecuencias de inundación de cada 7 días y 15 días; d) la cantidad de agua utilizada durante el cultivo era alrededor de 18.000 m³ ha⁻¹, de los cuales 1.000 a 1.200 m³ ha⁻¹ se utilizaban a comienzos del llenado de los cuadros; e) la temperatura del agua en el arroz no era uniforme dentro de los cuadros y durante los meses de desarrollo del cultivo. Así, la mayor temperatura del agua se obtenía en el mes de diciembre, alrededor de las 18:00 horas y en la salida del agua del predio. Mientras que las temperaturas más bajas se observaban en las mañanas, en la zona de la entrada del agua y en los meses de octubre y noviembre. Los cambios de temperatura del agua estuvieron más relacionados con la radiación solar que con la temperatura del aire; f) la disponibilidad de agua no era uniforme durante todo el desarrollo del cultivo. La mayor disponibilidad del agua se observaba en primavera, la que iba disminuyendo a inicios del verano, haciéndose crítica en los meses de enero y febrero (Sims y Alvarado, 1972).

En la década de 1980 y 1990, el manejo del agua continuó siendo un tema de preocupación y análisis. Estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), indicaron que la eficiencia y manejo del agua de riego de los agricultores no era la más adecuada y que los caudales utilizados fluctuaban desde 2,1 a 11,2 L s⁻¹ ha⁻¹, lo que significaba un uso de agua de 181 a 968 m³ por hectárea diarios. Por otro lado, las estimaciones de la evapotranspiración señalaban valores entre 6 a 11 mm d⁻¹, dependiendo de la época del año y de las variaciones climáticas, lo que implicaba que un porcentaje importante de agua se perdía por percolación y filtraciones (Alvarado y Hernaíz, 1995). En relación con la altura de agua, entre siembra y floración se recomendaba utilizar 10 cm y desde floración y llenado de grano 20 cm (Maldonado y Alvarado, 1982; Alvarado y Hernaíz, 1995). Por otro lado, el corte del suministro del agua al arrozal se recomendaba que fuera en la etapa de floración, grano lechoso y grano harinoso, manteniendo el agua estancada hasta el consumo total sin afectar negativamente el rendimiento en grano paddy (o con cáscara) ni la calidad industrial (Alvarado y Gallardo, 1994).

En la década del 2000, el mal manejo del agua se señalaba que afectaba directamente los componentes de rendimiento, a través del número de plantas y panículas por hectárea, número de granos por panícula, además de reducir el control de malezas (principalmente del hualcacho y del arroz rojo). Para mejorar esta situación, una buena adecuación del suelo, diseño de los cuadros y canales que permitan conducir y drenar el agua se recomendaba realizar en el cultivo. Además, un estudio del manejo del agua en arroz, señalaba que una altura del agua de 10 cm a inicio de la siembra tenía un mejor control de malezas que una altura de 5 cm. Sin embargo, una altura de agua de 5 cm entre siembra y macolla estimula la formación de un mayor número de macollas y un buen desarrollo de las plantas. La temperatura del agua se debía mantener sobre los 15°C, lo que se logra manejando el volumen y la velocidad del caudal del agua en forma adecuada. La altura de

agua al final del estado fenológico de macolla debía alcanzar 10 cm, mientras que iniciada la elongación de los nudos se debía elevar a una altura máxima de 30 cm. La detención del flujo de agua el período de cosecha dependía de la textura del suelo, donde en suelos arcillosos se podía detener el flujo del agua al final de la floración y si el suelo era más friable, la detención del flujo de agua se podía realizar en la etapa de grano lechoso (Hernaiz y Alvarado, 2007).

Situación actual y perspectivas futuras del agua en las zonas arroceras

Un estudio en la zona Central de Chile fue realizado con el fin de conocer los potenciales impactos en la agricultura chilena frente a los complejos escenarios del cambio climático (Santibáñez et al., 2008). Así, esta zona se encuentra afectada por una larga sequía, que ha significado un importante déficit de las precipitaciones variando entre 20 y 40 % (Garreaud et al., 2019). Esta situación, conocida como “Mega Sequía”, ha sido uno de los eventos más largos registrados en el pasado milenio. El índice regional de precipitaciones (RPI) fue determinado considerando las precipitaciones anuales de seis estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) ubicadas entre las latitudes 32 y 37°S. Así, un evento de sequía se considera cuando el valor del índice PRI es menor o igual al 80%, indicando un déficit de precipitaciones igual o superior a 20% (círculos rojos) (Figura 1). En ese estudio se detectaron nueve años consecutivos de sequía con un RPI entre 55 a 80% desde el año 2010 al 2018. Las proyecciones realizadas por el Instituto de Recursos Hídricos Mundiales (WRI), señaló que nuestro país se encuentra en una gran vulnerabilidad con respecto a la disponibilidad de agua para el año 2040. Además, WRI prevé un incremento importante de la competencia por el recurso hídrico el cual se incrementaría desde 2,67 a 4,41 puntos para el período entre 2010 y 2040 (Hofste et al., 2020) (Figura 1), con una demanda del recurso hídrico igual o superior a un 80 %.

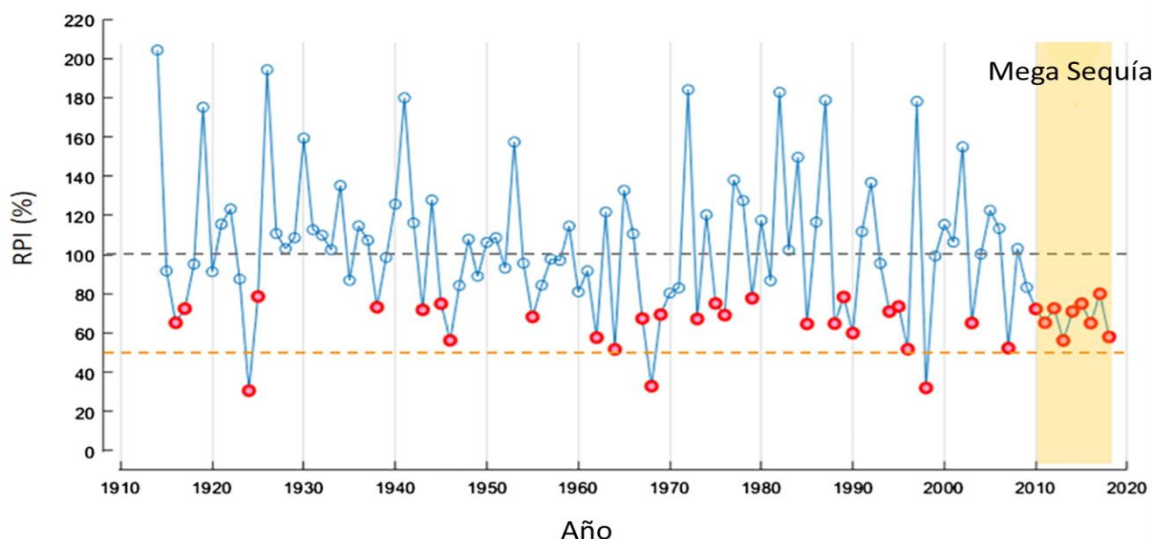


Figura 1. Índice de precipitación regional (RPI) de la zona central de Chile. En círculos azules corresponden a años sin sequía y círculos de color rojo corresponden a años con sequía. Fuente: Garreaud et al., 2019.

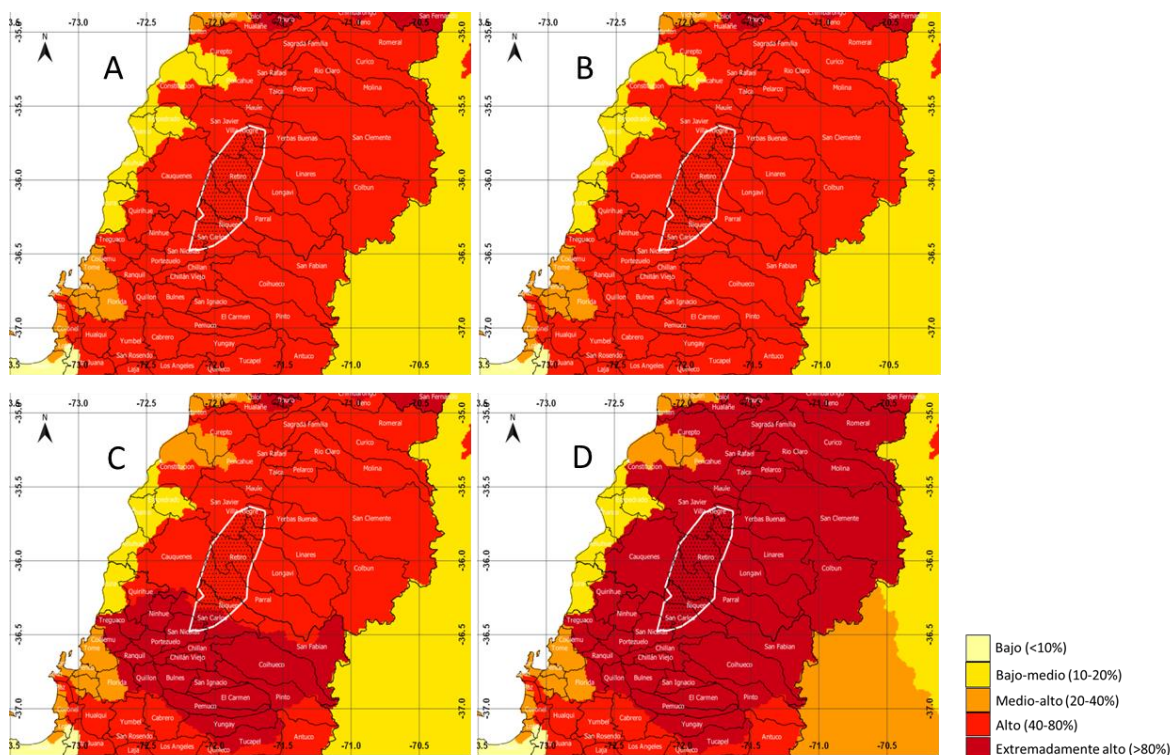


Figura 2. Proyección de vulnerabilidad en disponibilidad de agua de riego para el sector arrocero de Chile. A; escenario optimista a 2030, B; escenario pesimista a 2030, C; escenario optimista a 2040, y D; escenario pesimista a 2040. El polígono de contorno blanco representa el sector arrocero de Chile. Los colores representan el porcentaje de necesidad del recurso hídrico en las diferentes zonas geográficas mostradas en la barra del gráfico. Fuente: Hofste et al., 2019.

Dada esta situación, el gran desafío para el sector arrocero nacional es la optimización y uso eficiente del agua de riego a través de estrategias de gestión hídrica inteligente que compatibilicen el ahorro de agua con mejoras en la producción, bajo condiciones limitadas de agua. Considerando que en los últimos 100 años no se han implementado de manera sistemática métodos eficientes para el riego del arroz en Chile, la Agenda de Innovación Agraria para la Cadena del Arroz planteó la necesidad de la evaluación y validación de tecnologías de manejo productivo que permitan lograr este objetivo (FIA, 2017). Así, el centro regional de INIA Quilamapu ejecuta investigaciones que incluyen la evaluación de diferentes sistemas de riego como: riego intermitente, riego por mangas con compuertas, riego por pulsos a través de válvulas automáticas, riego por aspersión, entre otros. Estas tecnologías están validadas en otros países, mejorando la eficiencia del uso del agua y la sustentabilidad del cultivo.

Situación de la Infraestructura de riego en la zona arrocera

Parte importante del cultivo del arroz en Chile es regado por el sistema de riego Digua, el cual coordina la utilización de los excedentes de los ríos Longaví y Perquillauquén, y tiene una capacidad útil de 225 millones de m^3 (Asociación Digua Perquillauquén, 2018). El sistema Digua permite una seguridad de riego del 85% entregando agua a las comunas de Parral, Retiro (Maule) y Ñiquén (Ñuble). El sistema Digua cuenta con el embalse Digua, el canal alimentador Longaví, el canal alimentador Perquillauquén Cato y el nudo Hidráulico de Remulcao. Para la distribución del agua, este sistema cuenta con tres canales matrices, que son: Digua, Perquillauquén y Ñiquén. El Canal alimentador Longaví posee una longitud de 6 km y una capacidad de $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, permitiendo derivar recursos hídricos desde el río Longaví para el llenado del embalse entre los meses de mayo y septiembre, para abastecer las demandas de la temporada de riego. El canal alimentador Perquillauquén Cato posee una longitud de 12 km y una capacidad de $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ derivando los recursos hídricos excedentes de río Perquillauquén hacia el nudo hidráulico de Remulcao. Por su parte, el nudo hidráulico de Remulcao, está ubicado en el sector de Remulcao y está construido sobre el río Cato. En éste, convergen las aguas del canal alimentador Perquillauquén y las provenientes del Embalse Digua y alimentador Longaví. Desde este lugar, se distribuyen hacia los tres canales matrices de distribución que sirven al sistema. Por otro lado, el canal matriz Perquillauquén es un cauce construido por el Estado de Chile hace más de 90 años e incorporado al sistema Digua en el año 1974. Su captación está en la ribera norte del río Perquillauquén y tiene una longitud de 31,8 km con una capacidad de $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ regando aproximadamente 10.600 ha. El canal matriz Ñiquén fue construido con posterioridad a las obras del proyecto original del Sistema Digua. Su bocatoma se ubica en la ribera sur del río Perquillauquén, en la confluencia de los ríos Cato y Perquillauquén. Tiene una longitud de 11,7 km y riega cerca de 12.000 ha. Este cauce es administrado por la Organización de Usuarios Ñiquén y administrativamente corresponde a la región de Ñuble. A partir de estos canales matrices se desarrolla una red de distribución secundaria que tiene una longitud de aproximadamente 600 km. Actualmente, existen agricultores que riegan utilizando aguas subterráneas extraídas desde acuíferos a través de pozos profundos, drenes o zanjas (Henríquez et al., 2018).

Manejo actual del agua de riego en el cultivo de arroz

a) Siembra pregerminada

El sistema de siembra utilizado en Chile es mayoritariamente con semilla pregerminada. La semilla se mantiene durante 24 a 36 horas sumergida en agua y luego se pone en contacto con el aire para que se inicie la germinación con la aparición del coleóptilo (36 a 48 horas) (Donoso et al., 2019). La semilla pregerminada es distribuida en el campo al voleo sobre una lámina de agua de 5 cm (Figura 3A). Esta labor se puede realizar de forma manual, por avión o a través de un trompo aplicador de fertilizantes. En este último caso, una semilla pregerminada previo a la aparición del coleóptilo debe ser utilizada, para evitar pérdidas por daño mecánico de la estructura antes mencionada. La dosis de semilla utilizada fluctúa entre 140 y 200 kg ha^{-1} en siembra manual y 120 kg ha^{-1} en caso de siembra por avión. Posterior a la siembra, el cultivo requiere un incremento de la lámina de agua de al menos 10 cm a partir del estado de plántula con 3 a 4 hojas (V3 a V4), manteniendo el nivel de agua hasta la etapa de madurez fisiológica. La lámina de agua se debe mantener, especialmente, en la etapa de inicio de primordio (R0), cerrando las entradas de agua en este periodo para evitar el ingreso de agua con baja temperatura en el cuadro. Datos preliminares muestran que este sistema de siembra requiere sobre los

18.000 m³ ha⁻¹ durante la temporada, que se extiende por aproximadamente 160 días (Quezada et al., 2011; Henríquez et al., 2018; Donoso et al., 2019).

b) Siembra Directa

Este tipo de siembra permite ahorrar agua durante la etapa vegetativa del cultivo, mejorar la eficiencia de las actividades de la siembra, fertilización y aplicación de herbicidas (Henríquez et al., 2018). Actualmente, cerca de un 20% del cultivo de arroz se realiza mediante este tipo de siembra (Paredes y Becerra, 2015). Este sistema requiere de una preparación de suelo a cota cero (0) o micro nivelación láser (Henríquez et al., 2018). Para este tipo de siembra, una buena preparación de suelo debe ser realizada. La siembra se puede realizar 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 ha⁻¹. Además, este sistema de siembra solo requiere mantener la humedad del suelo para iniciar la germinación de la semilla hasta que la planta tiene tres a cuatro hojas (V3 a V4), posteriormente, una lámina de agua de alrededor de 5 a 10 cm se debe aplicar, la que se mantiene hasta la etapa de madurez fisiológica de la planta (Henríquez et al., 2018) (Figura 3B). Esta alternativa productiva requiere contar con canales de avance, que permitan llenar rápidamente todos los pretilos de manera independiente y un canal de desagüe. Según estudios realizados en Chile, la siembra directa permite ahorrar más de un 20% en el agua de riego en comparación con la siembra inundada, debido a que no se requiere inundación en los primeros 25 a 30 días del cultivo (Henríquez et al., 2018).

El diseño predial en el caso del cultivo del arroz bajo siembra directa debe considerar entradas y salidas de agua, con canales de avance para el ingreso rápido y homogéneo del agua a los cuadros y drenajes que permitan el desagüe adecuado, para extraer el agua posterior a los riegos iniciales y evitar la pudrición de la semilla. Además, los drenajes permiten un manejo adecuado del predio evitando inundaciones previas a la siembra. Estos canales de drenaje prestan una gran utilidad cuando se debe realizar la aplicación de herbicidas que requieren el retiro de la lámina de agua. Por otro lado, los canales de avance permiten el ingreso rápido a los cuadros, para realizar los riegos, adecuándose a la necesidad fisiológica de la planta y las recomendaciones de reposición de la lámina de agua que realizan los distintos proveedores de herbicidas. El primer riego se realiza aplicando una lámina de agua, que permita humedecer hasta el doble de la profundidad de siembra. La lámina de agua debe permanecer alrededor de dos días, para asegurar la humedad del suelo que permita la imbibición de la semilla. Posteriormente, los excesos de agua se drenan para evitar la pudrición de la semilla (Figura 3B). Un segundo riego se puede realizar en caso de: a) falta de humedad en el suelo durante la aparición del coleóptilo y/o b) aplicación de un herbicida pre emergente, que requiere la aplicación de lámina de agua. En caso de no contar con precipitaciones (< 20 mm) se puede realizar un tercer riego para asegurar el establecimiento de las plantas (Henríquez et al., 2018). Además, una vez alcanzada la altura de la lámina de agua se sugiere que se detenga la salida del flujo de agua para que ésta se caliente durante el día, mejorando el uso del agua de riego y el crecimiento y desarrollo del cultivo. Posterior a la floración, se recomienda mantener el cultivo con una lámina de agua hasta que los granos del tercio superior de la panoja estén duros (Fundación Chile, 2011). Sin embargo, esta decisión es dependiente de la textura del suelo. En caso de que el cultivo esté sembrado en suelos con alta capacidad de retención de agua, como sucede en varias zonas de Parral, se puede dejar de regar y detener la salida del flujo de agua.

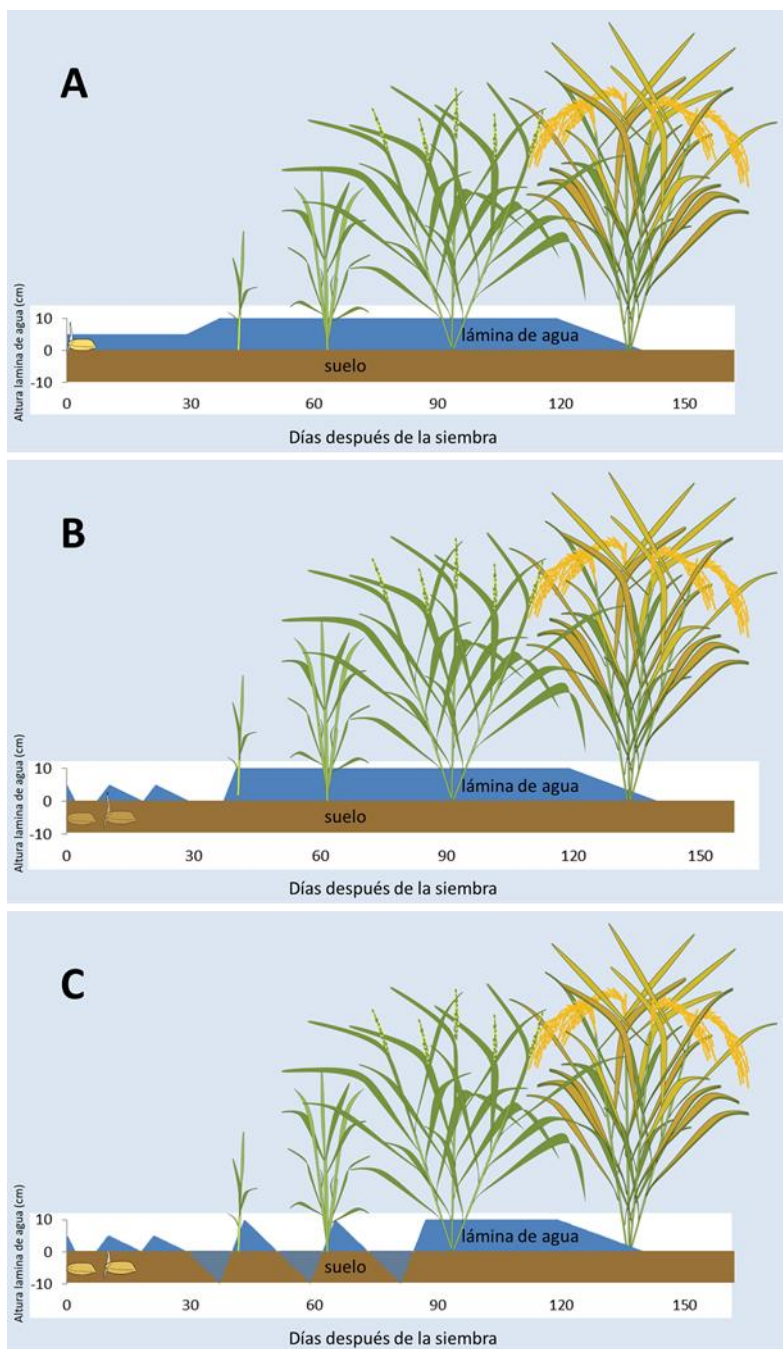


Figura 3. Uso del agua de riego en las diferentes alternativas productivas para el cultivo del arroz. El color azul representa la lámina de agua y el color café el nivel del suelo. Las figuras representan las diferentes etapas del cultivo del arroz considerando la siembra, estado de plántula, macolla, floración y madurez fisiológica. A; sistema de siembra con arroz pre-germinado, B; sistema de siembra directa y C; sistema de siembra directa con aplicación de riego intermitente.

Nuevas alternativas de manejo del riego para el cultivo del arroz

Debido a los pronósticos negativos respecto a la disponibilidad de agua en nuestro país, se requiere la implementación de tecnologías que permitan disminuir el uso de agua de riego sin disminuir los rendimientos en grano. Para ello, existen alternativas como el uso de una menor cantidad de agua en ciertos períodos del cultivo. Estas técnicas de manejo alternativas, presentan ciertos desafíos que se deben abordar como un menor rendimiento en grano, mayor incidencia de malezas y falta de regulación de la temperatura del ambiente cercano al cultivo (Hernaíz y Alvarado, 2007). Numerosos estudios informan de reducciones de rendimiento que pueden llegar hasta un 70% en los tratamientos de riego intermitente, en comparación con la técnica de riego continuo (Bouman y Tuong, 2001). Sin embargo, la reducción importante en el gasto de agua determinó un aumento en la productividad del recurso hídrico (Tabbal et al., 2002). Se ha determinado también que esta técnica de riego intermitente podría aumentar el período de duración del ciclo del cultivo, aumentando el riesgo de daño por frío durante la fase reproductiva (Dunn y Gaydon, 2011). A pesar de esta situación, una gran variabilidad existe en los resultados obtenidos con esta tecnología, dependiendo del estado fenológico de la planta en que se realizan los tratamientos, las variedades, severidad del estrés y del tipo de suelo. Es así que, en algunos experimentos realizados en suelos arcillosos, la implementación del riego intermitente determinó una reducción en el uso del agua utilizada entre 15 y 30%, sin reducir significativamente el rendimiento en grano, en comparación con el riego continuo (Lampayan et al., 2005). El agua disponible en estos tratamientos nunca está por debajo de la zona efectiva de raíces (Lampayan et al., 2009; IRRI 2019) o con un potencial hídrico del suelo superior a -20 kPa (Carrijo et al., 2017).

Medición de caudal

La primera dificultad que se encuentra al momento de querer manejar el agua en el cultivo es contar con el equipamiento que permita la medición del caudal. En primer lugar, técnicas simples y de bajo costo de medición como: a) el método del flotador, el cual tiene una baja precisión (error > 25 %) (Rantz, 1982); b) la metodología de vertedero con mayor precisión (error de 3 a 5 %) (Bello et al, 2000) y c) otras metodologías de mayor costo y precisión como son el uso de aforadores (error <5 %) (Reddy et al 2013) y caudalímetros (error < 2 %) (Macrometer, 2020).

Con el fin de evaluar la utilización de una tecnología de mayor precisión en la medición de caudal en el cultivo de arroz, un proyecto 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” fue desarrollado entre el año 2017 y el año 2020. El proyecto fue cofinanciado por INIA, FIA, Empresa Tucapel, Carozzi y apoyado por varias organizaciones gremiales (Donoso et al., 2018). Dentro de las actividades del proyecto se utilizaron tecnologías para la cuantificación del agua que se utiliza en el cultivo del arroz. Una de las tecnologías utilizadas fue los aforadores Parshall (Parshall, 1936; Foto 1) permite la medición de flujo de agua en un canal abierto. Para un funcionamiento dinámico, la canoa cuenta con un sensor de presión atmosférica (Foto 2), con registro digital de datos, que permite determinar el nivel de agua y su distribución en el tiempo. Estas tecnologías, dadas a conocer a los agricultores, permitieron cuantificar con mayor exactitud el volumen de agua utilizada para el cultivo del arroz en ensayos de campo y en predios de agricultores arroceros.



Foto. Aforador Parshall en campo de agricultor arrocero de la zona de San Carlos, 2020.



Foto 2. Sensor de presión atmosférica.

Riego Intermitente

El riego intermitente consiste en intercalar periodos de inundación y sin inundación de manera intermitente, lo cual según sus siglas en inglés se conoce como AWD (Alternate wetting and drying). Numerosos estudios reportaron reducciones en el uso de agua sin mermar el rendimiento en grano, aumentando significativamente la productividad o eficiencia de uso del agua de riego a nivel mundial (Bouman y Tuong, 2001, Bouman et al., 2007, Massey et al., 2014, Carracelas et al. 2019c). El éxito en la implementación de estos manejos alternativos de riego a escala comercial depende de una adecuada sistematización del predio, del diseño de un sistema de riego que posea una alta capacidad de entrada de caudales de agua que permitan una inundación rápida y uniforme de los cuadros; de un programa integrado de manejo agronómico, control de malezas y fertilización de acuerdo con los nuevos requerimientos de manejo (Massey et al., 2014, Carracelas et al. 2019b). Este tipo de manejo del agua permite, durante este sistema de riego, permite contar con tiempo antes de que el suelo se seque, lo que permite solucionar eventuales problemas, tales como rotura de bombas de riego, entre otros. La intensidad del secado del suelo no debe ser tal, que las raíces no tengan acceso al agua, ya que, el rendimiento y la calidad del arroz se pueden ver afectados negativamente.

La ausencia de una lámina de agua limitaría la implementación de este tipo de manejo en lugares con riesgo de ocurrencia de bajas temperaturas durante el periodo de floración. Una posible solución para evitar los riesgos de daños por frío es atrasar el periodo de inundación continua hasta el inicio de formación del primordio floral (Dunn y Gaydon, 2011), mediante la alternancia de la inundación del cultivo (Khepar et al., 2000), y

reponiendo la lámina de agua cada vez que el suelo llega a saturación (Figura 3C). Sin embargo, este proceso es dependiente del nivel de transpiración del cultivo, la evaporación, la percolación y la filtración lateral en el suelo.

Estudios realizados en Chile, revelan que la utilización de esta metodología hasta etapa de macollamiento, permite un ahorro de agua de un 41%, una disminución en un 30,6% en los rendimientos en grano y un incremento en 14,2% de la calidad del grano medido como porcentaje de grano entero (Quezada et al., 2011). En el riego convencional, la productividad fue de 0,5 kg m⁻³ y en el caso del riego intermitente, fue mayor (0,7 kg m⁻³).

En las zonas de San Carlos y Parral, algunos estudios muestran que el uso de riego intermitente durante todo el periodo del cultivo tiene un efecto importante en el rendimiento en grano, grano entero, floración y altura (Figura 4) (Paredes et al., 2015). Específicamente en San Carlos, una disminución del rendimiento fue observado entre 1,3 y 5,8 t ha⁻¹ en los genotipos Quila 241610 y Quila 242803, respectivamente (Figura 4A). Se observó también que el rendimiento industrial (% de grano entero) tuvo un comportamiento variable, disminuyendo o aumentando, dependiendo de los genotipos. Así, una mayor disminución del grano entero fue observada en el genotipo Quila 216202 con un (-3,3 %) y el mayor incremento en Quila 242207 con un 4,9 % (Figura 4B). El período de siembra a floración se incrementó en todos los genotipos, entre 8 y 17 días en los genotipos RQuila 412 y Quila 242207, respectivamente (Figura 4C). Finalmente, la altura de la plantase afectó debido al riego intermitente, disminuyendo entre 8 y 22 cm en los genotipos Quila 241610 y Diamante-INIA, respectivamente (Figura 4D).

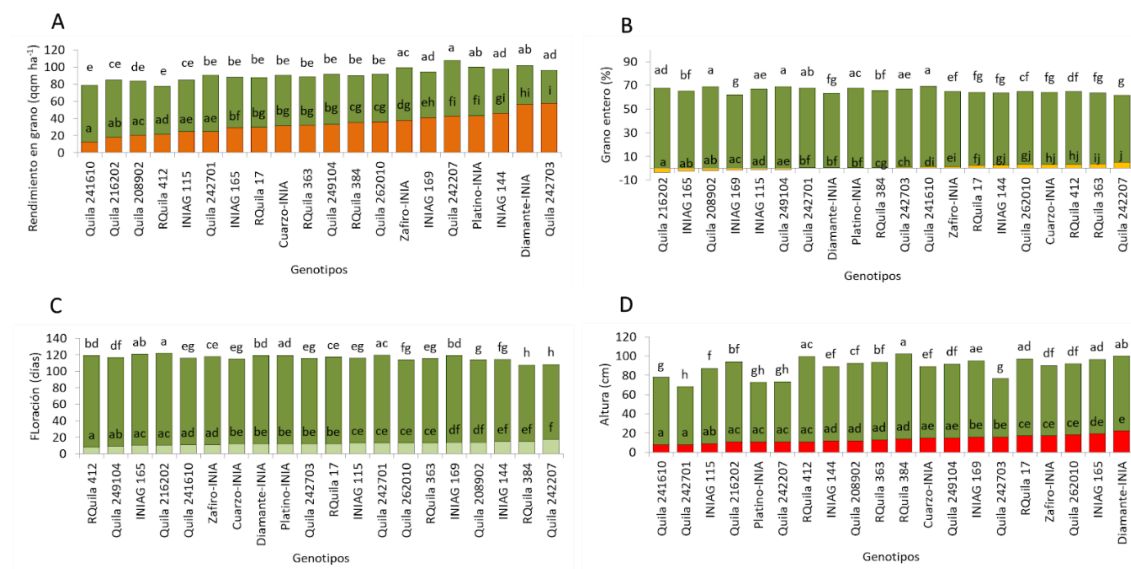


Figura 4. Riego intermitente en San Carlos temporada 2014-2015. A, Rendimiento en grano en condición control (■) y disminución del rendimiento bajo riego intermitente (■); B, grano entero (%) en condición control (■) e incremento o disminución de grano entero (%) bajo riego intermitente (■); C, días a floración en condición control (■) e incremento de los días a floración bajo riego intermitente (■); D, Altura de la planta en condición control (■) y disminución de la altura bajo riego intermitente (■). Fuente: Paredes et al., 2015.

En el caso de Parral, una disminución del rendimiento en grano se observó entre 2,6 y 6,7 t ha⁻¹ para los genotipos Quila 241610 y Quila 242803, respectivamente (Figura 5A). Se observó, que el comportamiento del grano entero fue genotipo dependiente, ya que en algunos casos disminuyó y en otros casos se observó un aumento (Figura 5B). Es así como la mayor disminución del grano entero fue observada en el genotipo Quila 216202 con un -4,7% y el mayor incremento se observó en el genotipo Quila 242207 con un 10,6%. El período de tiempo entre siembra y floración se incrementó en todos los genotipos (Figura 5C), por ejemplo, entre 10 y 19 días en los genotipos RQuila 412 y Quila 242207, respectivamente. Finalmente, la altura de la planta disminuyó entre 8 a 24 cm en los genotipos Quila 241610 y Diamante-INIA, respectivamente (Figura 5D).

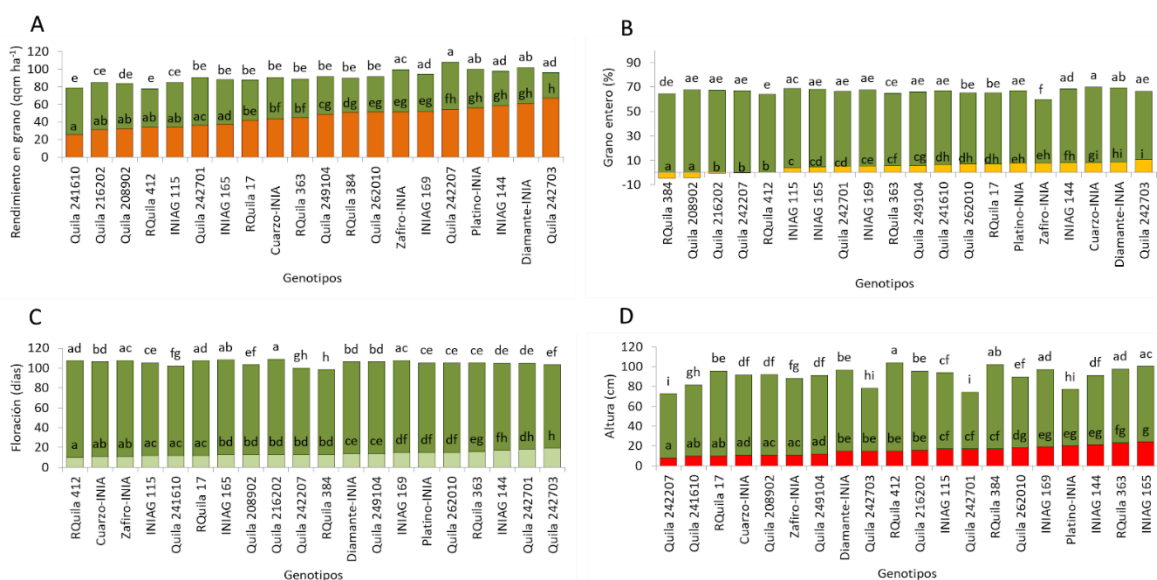


Figura 5. Riego intermitente en Parral temporada 2014-2015. A, Rendimiento en grano en condición control (■) y disminución del rendimiento bajo riego intermitente (■); B, grano entero (%) en condición control (■) e incremento o disminución de grano entero (%) bajo riego intermitente (■); C, días a floración en condición control (■) e incremento de los días a floración bajo riego intermitente (■); D, Altura de la planta en condición control (■) y disminución de la altura bajo riego intermitente (■). Fuente: Paredes et al., 2015.

En la localidad de Parral, otros estudios utilizando riego intermitente con diferentes intensidades (entre siembra hasta inicio de panícula; temporada 2018-2019), han permitido conocer de mejor manera el manejo más adecuado de este tipo de riego. La comparación entre los rendimientos en grano del testigo con inundación permanente y el tratamiento de riego intermitente con reposición de la lámina de agua cuando el nivel de la lámina se encontraba a 5 cm bajo el nivel del suelo, no mostró diferencias significativas. Sin embargo, en el tratamiento donde la reposición de la lámina de agua se realizó cuando la lámina de agua estaba 10 cm bajo el nivel del suelo, se observó una disminución significativa en los rendimientos en grano de 27%. Respecto al uso de agua, la mayor productividad de agua se observó en el tratamiento con una disminución de lámina de agua bajo los 5 cm (0,89 kg m⁻³) en comparación con el testigo (0,73 kg m⁻³) y el tratamiento con lámina de agua bajo los 10 cm (0,53 kg m⁻³) (Gutiérrez y Becerra, 2019).

En general, el menor uso de agua puede afectar los rendimientos en grano. Este fenómeno ha sido observado en varios estudios internacionales (Tabbal et al., 2002; Dunn y Gaydon, 2011), como también el aumento del período de siembra a floración y la reducción de la altura de la planta. Sin embargo, un adecuado manejo de la lámina de agua, no inferior a los 5 cm bajo el nivel del suelo, y su aplicación entre siembra hasta inicio de panícula, puede minimizar los efectos negativos del riego intermitente. Otro aspecto importante a considerar al momento de utilizar esta práctica, es sembrar temprano con el fin de evitar que la etapa de formación del polen se traslade a fechas en las cuales se puedan presentar bajas temperaturas nocturnas (Dunn y Gaydon, 2011).

Finalmente, un problema complejo para la implementación de estas tecnologías representa la determinación precisa del nivel de agua en el campo. Para ello, se fabricó un instrumento que permite revisar a gran distancia la altura de la lámina de agua, con el fin de controlar los ciclos de inundación y saturación propuestos en los sistemas de riego intermitente (Figura 6 y Foto 3). En la figura 6, se representa un esquema del uso del sistema de flotación (flotador de PVC) y en la Fotografía 3, se representa un prototipo instalado en condiciones de campo.

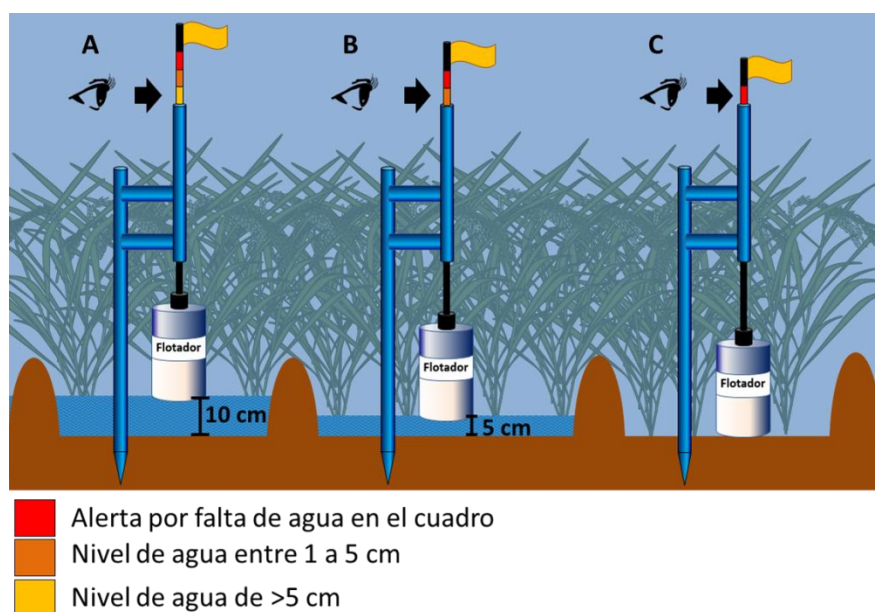


Figura 6. Representación de medidor de nivel de agua. A, nivel de agua de 10 cm (■), B, nivel de agua de 5 cm (■) y C, sin lámina de agua (■).



Foto 3. Medidor de nivel de agua en condiciones de campo.

Riego por mangas

Otra de las tecnologías utilizadas por primera vez en el país en el cultivo de arroz, fue el riego por mangas, técnica ampliamente utilizada en Estados Unidos, Argentina, Brasil y Uruguay. Las ventajas de esta tecnología son: bajo costo, mejor la eficiencia de uso del agua de riego, ya que reduce las pérdidas de agua por distribución y mejora la uniformidad del riego gravitacional convencional, incrementa el número de hectáreas regadas por persona (hasta 120 ha) y facilita el la velocidad del establecimiento de la lámina de agua en el predio. Esta tecnología permite la implementación de manejos de riego alternativos como el riego intermitente en campos comerciales (Massey et al., 2014; Carracelas et al., 2017b). El proyecto apoyado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), permitió instalar mangas de riego en los campos experimentales de arroz y en campos de agricultores para evaluar su viabilidad, efectividad y difundir su uso en el cultivo del arroz en Chile (Foto 4).



Foto 4. Utilización de mangas de riego por agricultor de la zona de Parral.

Junto al sistema de riego por mangas, se implementó por primera vez en Chile, el uso del sistema de riego por pulsos en el predio de un agricultor arrocero (Foto 5).



Foto 5. Válvula de riego por pulsos. La fotografía corresponde al campo del agricultor Sr. Juan Norambuena, asesorado técnicamente por el Servicio de Asistencia Técnica de INDAP, Sr. Marcelo Ibáñez. Fuente de financiamiento: FIA.

La utilización de esta tecnología fue evaluada en las localidades de San Carlos y Parral, las temporadas 2017-2018 y 2018-2019 (Figura 7). Se comparó el sistema de riego por mangas utilizando sistema de siembra directa y siembra pre-germinado. En la temporada 2017-2018 el sistema de riego mediante mangas de riego se relacionó con un incremento

en los rendimientos en grano en 2 t ha⁻¹ en el sistema de siembra pregermiando en la localidad de Parral (Figura 7A). Sin embargo en la localidad de San Carlos, no se observaron diferencias (Figura 7C). Durante la temporada 2018-2019, no se observó diferencias en los rendimientos entre los tratamientos en la localidad de Parral (Figura 7B). Además, se observó una importante disminución en los rendimientos respecto a la temporada anterior, cercana a un 20%. En la misma temporada, en la localidad de San Carlos, los rendimientos en grano fueron superiores a 7 t/ha, a excepción del ensayo con siembra pre-germinado con riego convencional, con un rendimiento en grano cercano a 5 t/ha (Figura 7D).

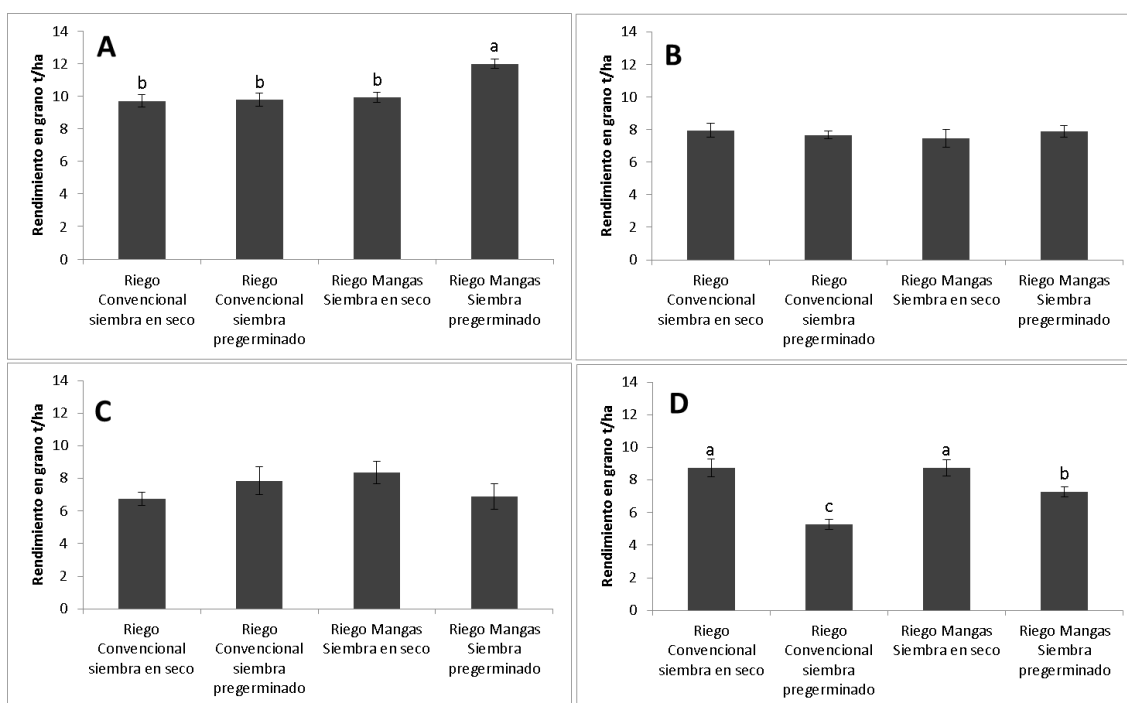


Figura 7. Efecto del riego y sistema de siembra en el rendimiento en grano de arroz en diferentes condiciones de riego y sistemas de siembra. A y B, Parral temporada 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. C y D, San Carlos, temporada 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. Los ensayos fueron sembrados el 30 de octubre con una dosis de semilla de 140 kg/ha. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Test LSD Fisher). Sólo se observaron diferencias cuando se regó con mangas la siembra de arroz pregerminado, con un incremento en el rendimiento de 2 toneladas por hectárea. No se observaron diferencias entre las variedades evaluadas (Zafiro-INIA, Platino-INIA y Cuarzo-INIA).

En el proyecto se pudo demostrar que el uso de mangas de riego, incrementa hasta tres veces la velocidad de llenado de los cuadros, lo cual es una gran ventaja para los agricultores, que en algunos casos se pueden demorar hasta 10 días para realizar el

llenado de sus campos, con el sistema de llenado cuadro a cuadro utilizado normalmente (Donoso et al., 2018). Por otra parte, las mangas permitieron un menor uso de agua en siembra directa, con un uso de alrededor de 10.000 m³ ha⁻¹ comparado con la siembra pre-germinado, sin mangas de riego, que utilizó 16.000 m³ ha⁻¹.

Productividad de agua

Respecto a la productividad de agua se observó que el sistema más eficiente para el cultivo del arroz fue la siembra directa con riego a través de mangas de riego con una producción de 0,7 a 1 kg de arroz por m³ de agua utilizada en el riego durante toda la temporada (Cuadro 1). El sistema menos eficiente fue la siembra con arroz pre-germinado con riego convencional, con una productividad de agua entre 0,3 a 0,6 kg de arroz por m³ de agua utilizada en el riego.

Cuadro 1. Productividad de agua en los ensayos de dos temporadas en localidad de San Carlos y Parral

Sistema de siembra y riego	Parral		San Carlos	
	2017-2018	2018-2019	2017-2018	2018-2019
	kg /m ³			
Siembra directa con riego por mangas	1,0	0,7	0,9	0,8
Siembra directa con riego convencional	0,8	0,6	0,7	0,6
Siembra pregerminado con riego por mangas	0,8	0,5	0,5	0,5
Siembra pregerminado con riego convencional	0,6	0,4	0,3	0,3

Riego por aspersión

Otra tecnología evaluada por primera vez en el país fue el uso de riego por aspersión en arroz. En el campo experimental de Parral y San Carlos, se instaló un sistema experimental para evaluar su uso potencial en el cultivo de arroz (Foto 6). Este sistema de riego en arroz está siendo utilizado en algunos países como Brasil y Estados Unidos. Paralelo a este trabajo experimental, un agricultor de la zona de Parral utilizó por primera un pivote central para regar arroz en forma comercial. El uso de este sistema de riego en forma experimental no logró obtener rendimientos superiores a 6 t ha⁻¹.



Foto 6. Riego presurizado experimental para el cultivo del arroz en parcela experimental de la localidad de San Carlos.

El uso de esta tecnología necesita adaptar una nueva forma de manejo agronómico para el cultivo del arroz, como por ejemplo, control de malezas (control de malezas no acuáticas, tipo de productos, dosis, épocas de aplicación, entre otros), fertilización (fertirrigación, dosis, épocas de aplicación de macro y micronutrientes), caudales y temperatura del agua de riego, especialmente durante la microsporogénesis y floración (etapas sensibles a las bajas temperatura), costos de producción, entre otros.

En el caso del sistema de riego por aspersión, los rendimientos fueron inferiores a los sistemas que mantienen inundación permanente (Figura 8). En la temporada 2017-2018, se determinó que este sistema permite lograr rendimientos inferiores a las 6 t/ha independiente de la ubicación de la planta dentro de la línea de aspersión (Figura 8 A y C). En cambio durante la temporada 2018-2019, se observó un incremento en las expectativas de rendimientos en la localidad de Parral, obteniéndose rendimientos cercanos a las 8 t/ha (Figura 8B) a diferencia de lo observado en San Carlos, donde los rendimientos fueron inferiores a 6 t/ha (Figura 8D).

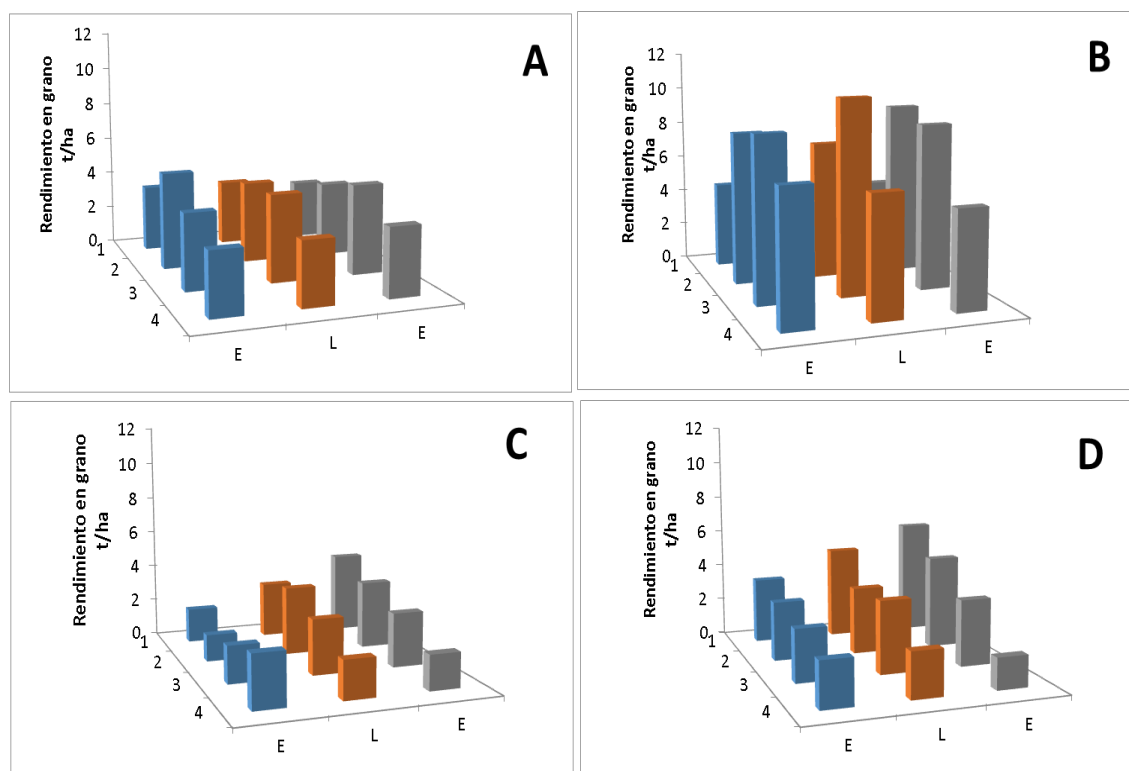


Figura 8. Rendimiento de arroz bajo riego por aspersión. A y B, Parral temporada 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. C y D, San Carlos, temporada 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. E, corresponde a la zona alejada de la línea de aspersión y L, corresponde al sector donde está ubicada la línea de aspersión. 1-4, corresponden a cuatro bloques desde donde se tomaron las muestras de grano.

Los bajos rendimientos obtenidos en los estudios realizados, muestran la necesidad de generar un nuevo sistema de manejo del cultivo del arroz bajo riego por aspersión, que incluye: variedades adaptadas a un menor uso de agua, uso de nuevos herbicidas (debido a dificultades en el control de malezas cuando se utiliza menos agua), uso de fertilizantes foliares, mayor tolerancia a frío en etapa reproductiva (agua fría proveniente del riego por aspersión puede afectar la fertilidad del polen), etc.

Huella hídrica en el cultivo de arroz

La huella hídrica corresponde al volumen de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir un bien (Hoekstra et al., 2009). En este sentido, tres componentes se definen que son: a) la huella azul; que corresponde al consumo de aguas superficiales y subterráneas lo que básicamente corresponde al riego, b) la huella verde; que corresponde al consumo del recurso que provienen de la lluvia almacenada en el suelo y, c) la huella gris; que se refiere al volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes basados en las normas vigentes de calidad de agua (Chapagain and Hoekstra, 2010). Así, Uribe y Riquelme (2016) determinaron que la huella hídrica en las principales zonas arroceras del país (Retiro y Parral) fue de 1.200 litros de agua usada o evapotranspirada por kilo de grano producido. Además, los valores de la huella azul, verde y gris fueron de 1.120, 20 y 60 l kg⁻¹, respectivamente. Estos valores fueron calculados en base a los coeficientes teóricos del cultivo, adaptados a la realidad chilena y a la producción de arroz paddy. Mientras que la huella gris fue calculada considerando una fertilización de 100 kg/ha⁻¹ de N₂ y 5% de pérdidas por lixiviación.

Estudio de costos del uso de riego por mangas

Análisis económicos del uso de la tecnología de riego por mangas, muestran que el uso de un sistema de riego basado en manga plástica para el cultivo del arroz, tiene un costo anual cercano a \$50.000 ha⁻¹, lo cual corresponde a inversiones amortizadas (González, 2019). Considerando un año de ensayo de riego por mangas, se determinó que su uso en combinación con el sistema de siembra pre-germinado, incrementó en casi 2 t ha⁻¹ el rendimiento en grano. Lo anterior implica un comportamiento promisorio para este sistema de riego, considerando una relación beneficio/costo de 1,76, lo que fue superior a lo observado en siembra pre-germinado sin mangas (1,52).

Posterior al análisis económico realizado, basándose en la unidad productiva referencial de una (1) hectárea, con los rendimientos obtenidos en los ensayos (8 - 10 t ha⁻¹), los costos de la implementación de la tecnología (\$ 50.000 ha⁻¹), el costo operacional del establecimiento del cultivo (\$950.000 – \$1.000.000 ha⁻¹) y el precio promedio actual entregado al productor (\$230 kg⁻¹), se determinó que la realización de una inversión en riego en base a mangas con compuertas mostró tener mejores indicadores en comparación con los sistemas convencionales. Según el análisis permite una mayor rentabilidad con una recuperación de la inversión realizada el mismo año considerando un incremento en el rendimiento debido al uso de este sistema de riego, el cual demostró incrementar los rendimientos en al menos 1 t ha⁻¹, cuando este se utiliza en siembras de arroz pre-germinado. En este caso el valor presente neto (VAN al 12%) a 10 años, generó una ganancia de \$ 2.076.724 ha⁻¹, lo que fue casi un 32% superior a lo determinado en un manejo del cultivo con un sistema de riego convencional (\$1.399.823 ha⁻¹). En el caso de la rentabilidad, el TIR calculado para el sistema de riego con mangas en sistema de siembra

pre-germinado fue de 57% en comparación con el mismo sistema de siembra sin la utilización de la tecnología, lo que correspondió a 49%. Por otro lado, el uso de la tecnología en el sistema de siembra directa, no mostró una mayor rentabilidad en comparación con el sistema convencional. Con el uso de la tecnología, en indicador VAN al 12%, mostró una ganancia a 10 años de \$1.884.071 y un TIR de 49%, lo que fue inferior cuando se considera el uso de siembra directa sin el uso de la tecnología (VAN al 12%: 2.076.724; TIR 54%).

Si bien los resultados muestran un desarrollo rentable para el cultivo del arroz especialmente cuando se utilice el sistema de riego por mangas en sistema de siembra de arroz pre-germinado, se debe considerar que el análisis no garantiza completamente que el resultado se cumpla completamente. Esto debido a que el cultivo del arroz está sujeto a una serie de restricciones agroclimáticas y económicas como:

Agromclimática:

- 1) Altas o bajas temperaturas en periodos críticos del cultivo (etapa reproductiva) que puedan causar una disminución en los rendimientos en grano.
- 2) Falta de agua para riego en periodo crítico para el cultivo (etapa reproductiva), lo que puede provocar una fuerte disminución en los rendimientos en grano.

Económicas:

- 1) Incremento en el valor de los insumos necesarios para el desarrollo del cultivo como fertilizantes y herbicidas.
- 2) Disminución del precio a pagar por la producción debido a fluctuaciones del dólar.
- 3) Incremento en el valor de los insumos relacionados con el riego por mangas.

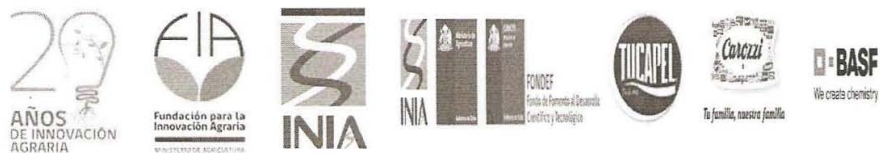
Por este motivo es muy necesario considerar la mayor cantidad de factores posibles que tengan relación con el éxito de la inversión a realizar.

Finalmente, considerando que más de 80% del sector arrocero continúa utilizando la metodología de siembra con arroz pre-germinado, los resultados positivos en términos agronómicos y económicos, demuestran que el uso del sistema de riego por mangas puede ser considerado como una alternativa para los agricultores arroceros de Chile. Por otro lado, el uso de este sistema para siembra directa, a pesar de no significar un beneficio económico para el agricultor, permite una mejor utilización del recurso hídrico el cual es cada vez más escaso.

*Las referencias del artículo se encuentran al final del informe.

16.3.19 LISTADOS de asistentes a las actividades de difusión

16.3.19.1 COMITÉ ESTRATÉGICO (LISTADO DE ASISTENTES)



Convocatoria Nacional Temática

Proyectos de innovación para la adaptación al cambio climático

Primera reunión de comité estratégico de proyecto: "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"

Código de proyecto: PYT-2017-0190

Fecha: 21 de septiembre de 2017.

Participantes

Nombre	RUT	Relación con la iniciativa (ejecutor, coordinador, asociado, equipo técnico, miembro comité estratégico)
Ramon HERRERA		IN CORCEZ EST.
Hamil Uribe		EJECUTOR
Felipe Valdivia		m. comité estrat.
Donato A. Bussio		INIA.
Lorely León J.		INIA.
Viviana Becerra V		INIA.
Carlos Donoso N		Coordinador

ACTA DE REUNIÓN DE COMITÉ ESTRATEGICO DEL PROYECTO PYT-2017-0190

Lugar: Laboratorio de Biotecnología, INIA Quilamapu, Chillán.

Fecha: 21 de SEPTIEMBRE, 2017.

Hora: 15:00-17:30 horas.

Acta: Gabriel Donoso.

PARTICIPANTES

Felipe Valderrama (Empresas TUCAPEL SA y Presidente FLAR), Ramón Henríquez (Representante de mesa Innovación arroz) y Miembros del equipo técnico del proyecto FIA: Viviana Becerra, Gabriel Donoso, Hamil Uribe, Lorenzo León, Jorge González.

AUSENTES

Se excusaron de asistir a la reunión: Sra. Soledad Hidalgo (FIA; mesa de innovación del arroz), Sr. Patricio Toledo (asociación gremial de agricultores en San Carlos), Sr. Reinero Labra (asociación de agricultores de Ñiquén), Francisco Saldia (Asociación de agricultores e Ñiquén), Sra. Alejandra Gutiérrez (Mesa campesina del arroz), Sr. Mario Concha (Asociación de agricultores de Parral), Sr. Hugo Muñoz (Empresas Carozzi S.A.) y Sr. Alfredo Mariño (INDAP).

TEMAS DE DISCUSIÓN

- Presentación del detalle metodológico del trabajo de campo a realizar en la temporada 2017-2018.
- Discusión sobre la pertinencia de la metodología a realizar.

ACUERDOS

- Se considera apropiada la metodología pero se establece que es importante la medición de la temperatura del agua en los ensayos programados.
- Se establece necesario realizar una combinación entre el riego por aspersión y sistema inundado, lo cual podría concretarse durante la segunda etapa del proyecto.
- La próxima reunión se realizará en Parral durante el mes de mayo de 2018, para analizar los resultados obtenidos en la temporada.

16.3.19.2 LISTADO DE ASISTENTES A DÍA DE CAMPO DE PARRAL (170 PERSONAS).

**16.3.19.3 LISTADO DE ASISTENTES A DÍA DE CAMPO EN PARCELA
EXPERIMENTAL “FRANCISCO JIMÉNEZ” DE PARRAL (16 DE NOVIEMBRE DE 2018).**

16.3.19.4 LISTADO DE ASISTENTES A ACTIVIDAD DE CAPACITACIÓN PARA AGRICULTORES LÍDERES Y ASESORES TÉCNICOS (16 DE NOVIEMBRE DE 2018).

**16.3.19.5 LISTADO DE ASISTENTES A DÍA DE CAMPO EN PARCELA
EXPERIMENTAL “FRANCISCO JIMÉNEZ” DE PARRAL (21 DE MARZO DE 2019).**

16.3.19.6 LISTADO DE ASISTENTES A ACTIVIDAD DE CAPACITACIÓN PARA AGRICULTORES LÍDERES Y ASESORES TÉCNICOS (2 DE ABRIL DE 2019).

16.3.19.7 Realización de Curso FIA: Sustentabilidad del cultivo del arroz a través del manejo eficiente del agua. El curso tuvo la presencia de 5 expositores. Entre ello se contó con la presencia del Sr. José Rojas, técnico de riego de la asociación de regantes del embalse Digua, Empresas RUBICON Waters, empresa Australiana con experiencia en riego con telemetría, Presentación resumen de proyectos relacionados con la sustentabilidad del cultivo del arroz en Chile, por parte de la Sra. Viviana Becerra de INIA, Presentación de principales resultados del proyecto FIA a cargo del Sr. Gabriel Donoso, Presentación de empresa Riego por Pulsos Chile a cargo del Sr. Patricio González donde se presentó las ventajas tecnológicas del riego por mangas y pulsos en los cultivos.

Listado de asistentes

16.3.19.8 CHARLA EN CURSO ORGANIZADO POR PROYECTO FIA: Resultados preliminares de proyecto FIA (31-07-2019): Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile
60 asistentes. El listado de asistentes es el mismo anterior, debido del 14.4, debido a que la charla se realizó en el contexto del curso antes mencionado.

16.3.19.9 CAPACITACIÓN DE AGRICULTORES ARROCEROS EN TEMAS RELACIONADOS CON EL LA FERTILIDAD DE SUELO, CONTROL DE MALEZAS Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL CULTIVO DEL ARROZ. La actividad de capacitación se realizó el 5 de septiembre de 2019 y fue organizada en conjunto por el proyecto FIA PYT 2017 0190 y el grupo de asistencia técnica de INDAP, SAT la Selva, liderado por Juan Ibáñez en la localidad de Parral. La actividad contó con la participación de 57 personas.

Listado de participantes (los nombres en donde no aparece la firma, corresponde a personas que pertenecen al grupo de asistencia técnica, que no asistieron a la actividad realizada).

16.3.19.10 CHARLA TÉCNICA EN ACTIVIDAD DE SAT AGROPARRAL COFINANCIADO POR PROYECTO FIA EN PARRAL (24-09-2019): Resultados preliminares de proyecto FIA: Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile, periodo 2017-2019. La charla se realizó el día 24 de septiembre de 2019, durante la mañana y contó con la asistencia de 117 personas.

Listado de participantes de la actividad:

16.3.19.11 CHARLA EN ACTIVIDAD DEL FONDO LATINOAMERICANO DE ARROZ DE RIEGO COFINANCIADO POR PROYECTO FIA EN SAN CARLOS: Sustentabilidad del cultivo del arroz a través del manejo eficiente del agua. La charla se realizó el 24 de septiembre de 2019 y conto con la presencia de 106 personas. La actividad se desarrolló en la comuna de San Carlos.

Listado de asistentes

16.3.19.12 LISTADO DE ÚLTIMO DÍA DE CAMPO DESARROLLADO EN PREDIO DE AGRICULTOR ARROCERO CON SAT DE INDAP MARCELO IBÁÑEZ (31 DE ENERO DE 2020).

17. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

17.1. BIBLIOGRAFIA ARTICULO 1

- Akinbile, C.O. 2010. Crop water use responses of upland rice to differential water distribution under sprinkler irrigation system. *Adv. Appl. Res.* 103:133-144.
- Battello, C., Uraga, R., Gonnet, D., et al. 2009. Guía de buenas prácticas en el cultivo de arroz en Uruguay. Montevideo (Uy): Asociación Cultivadores de Arroz (ACA), GMA (Gremial de Molinos Arroceros); Universidad de la República (UDELAR)/Facultad de Agronomía; INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria); LATU (Laboratorio Tecnológico del Uruguay). 32 p.
- Beare, S., Heaney, A. 2002. Climate change and water resources in the Murray Darling Basin, Australia, impacts and adaptation. Conference Paper 02.11, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 33 pp.
<http://www.abarepublications.com/product.asp?prodid=12389>.
- Becerra, C., Díaz, A., García, E. 2019. Análisis Situacional Cadena Productiva del Arroz en Colombia. Bogotá. UPRA.
https://www.upra.gov.co/documents/10184/101496/20190709_DOCUMENTO+ANALISI+S+SITUACIONAL.pdf/9051a2a6-a998-4386-8c6b-ded8309e8f4f
- Beecher, H.G., Hume, I.H., Dunn, B.W. 2002. Improved method for assessing rice soil suitability to restrict recharge. *Aust. J. Exp. Agric.* 42:297–307.
- Blanco, F., Chebataroff, N., Deambrosi, E., et al. 1984. Riego. Arroz-Soja (pp.111-116). Resultados de la experimentación regional en cultivos. 1983-84. Treinta y Tres (Uy): CIAAB, EEE.
- Böcking, B., Bandería, S. 2014. Riego de arroz por mangas. DONISTAR S. en C. - Grupo de desarrollo de riego.
http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Informacion_de_Interes/Riego_de_Arroz_por_Mangas_2014.pdf
- Bouman, B. A. M., Lampayan, R.M., Tuong, T.P., 2007a. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines). International Rice Research Institute. 54p.
- Bouman, B.A.M., Humphreys, E., Tuong, T.P., et al. 2007b. Rice and water. *Adv. Agron.* 92: 187-237.
- Bouman, B.A.M., Tuong, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agric. Water Manage.* 49:11-30.
- Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage.* 49:11–30.
[https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00128-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00128-1)
- Bueno, M., Roel, A., Faria, L., et al. 2020. Applying geotechnologies for grain yield intensification and diversification in Uruguay. In *Int. Temp. Rice Conf. 7., 2020*, Pelotas, RS, Science & Innovation: feeding a world of 10 billion people: proceedings. Pelotas RS, Brasil, February 9-12, 2020. Embrapa, Brasília, DF.
- Cabangon, R.J., Tuong, T.P., Castillo, E.G., et al. 2004. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China. *Paddy Water Environ.* 2:195–206.
- Carracelas, G., Cora, P., Ferres, S. 2017 Monitoreo de prácticas de manejo de riego en chacras comerciales. In: G. Zorrilla, S. Martínez, H. Saravia (eds.) *Arroz 2017. Serie Técnica INIA 233:56-59*. Montevideo (UY).

- Carracelas, G., Guilpart, N., Cassman, K. 2017. Yield potential and yield gaps of irrigated rice in Uruguay and other rice producing countries (pp. 7). In Int. Temp. Rice Conf. 6-9 de marzo, Griffith, NSW, Australia, 2017.
- Carracelas, G., Guilpart, N., Grassini, P., et al. 2019a. Potencial y brecha de rendimiento de arroz irrigado en Uruguay y otros países arroceros. INIA Serie Técnica 250:53-56. Montevideo (UY). <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J., et al. 2019b. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. Agric. Water Manage. 222:161–172.
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Verger, M., et al. 2019c. Irrigation management and variety effects on rice grain arsenic levels in Uruguay. J. Agric. Food Res. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100008>
- Carrijo, D. R., Akbar, N., Reis, A. F. B., et al. 2018. Impacts of variable soil drying in alternate wetting and drying rice systems on yields, grain arsenic concentration and soil moisture dynamics. Field Crops Res. 222:101-110.
- Carrijo, D.R., Lundy, M.E., Linquist, B.A. 2017. Rice yields, and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Res. 203:173–180. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.002>.
- Cartwright, R., Lee, F. 2001. Management of rice diseases (pp. 87–97). In: Rice production handbook. Arkansas Coop. Ext. Serv. University of Arkansas, Little Rock, AR.
- Choi, J.D., Park, W.J., Park, K.W., et al. 2013. Feasibility of SRI methods for reduction of irrigation and NPS pollution in Korea. Paddy Water Environ. 11(1):241–248. doi:10.1007/s10333-012-0311-9.
- CIAT; MADR. 2015. Análisis integral de sistemas productivos en Colombia para la adaptación al cambio climático. Bogotá: CIAT.
- Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchell, A.L., 2000. A uniform and adaptative system for expressing rice development. Crop Sci. 40:436–443. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>
- Crusciol, C., Toledo, M., Arf, O., et al. 2012. Water supplied by sprinkler irrigation system for upland rice seed production. Bioscience J. 28:34-42.
- DANE. 2017. Cuenta Satélite de la agroindustria del arroz, informe 2012-2016. Bogotá.
- Dassanayake, D., Dassanayake, K., Malano, H., et al. 2009. Water saving through smarter irrigation in Australian dairy farming: use of intelligent irrigation controller and wireless sensor network (pp. 4409-4417). In 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13–17 July 2010.
- Datta, A., Ullah, H., Ferdous, Z. 2017. Water management in rice (pp. 255-277). In B.S. Chauhan, K. Jabran, G. Mahajan (eds.). Rice Prod. Worldwide. Springer.
- de Avila, L. A., Martini, L. F. D., Mezzomo, R. F., et al. 2015. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. Agron. J. 107:442-448. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0080>.
- De Laulanie H. 1993. Technical presentation of the system of rice intensification based on Katayama's tillering model. Tropicultura 13:1.
- DIEA. MGAP. 2019. Ministry of Livestock Agriculture and Fisheries. Anual Estadístico. 2000-2019. www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2019. (Accessed on: 2019).
- Donoso, G., Becerra, V., Uribe, H., et al. 2019. Nuevas herramientas para mejorar la gestión del agua en el sector arrocero de Chile. Tierra adentro. Especial Gestión Hídrica (Chile) 111: 41-45.

- Dunn, B.W., Gaydon D.S. 2011. Rice growth yield and water productivity responses to irrigation scheduling prior to the delayed application of continuous flooding in South-East Australia. *Agric. Water Manage.* 98:1799-1807.
- FAO. 2015. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>. Acceso Julio de 2018.
- FEDEARROZ. 2012. Adopción masiva de tecnología (AMTEC). Guía de usuario. http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia_de_trabajo_baja.pdf
- Ferichani, M., Prasetya, D.A. 2011. Institutionalization on system of rice intensification (SRI): socio-economic aspects. *J. Crop Weed* 7:12-16.
- Garrity, D.P., Otoole, J.C. 1994. Screening rice for drought resistance at the reproductive phase. *Field Crops Res.* 39: 99-110.
- Gaydon, D.S., Beecher, H.G., Reinke, R., et al. 2010. Rice (pp. 67-83). In C. J. Stokes, S.M. Howden (eds.). *Adapting Australian Agriculture to Climate Change*. CSIRO Publishing.
- Gillies, M.H., Smith, R.J., Williamson, B., et al. 2010. Improving performance of bay irrigation through higher flow rates. In: Conference: Irrigation Australia Conference and Exhibition - One Water Many Futures, Sydney, Australia.
- GM Poly. 2018. http://gmpoly.com.au/product_range/aquator. Acceso: 10-02-2018.
- González, M., Saldarriaga, G., Jaramillo, O. 2014. Estimación de la demanda de agua: Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Bogotá: IDEAM.
- Govindan, R., Grace, T. M., 2012. Influence of drip fertigation on growth and yield of rice varieties (*Oryza sativa* L.). *Madras Agric. J.* 99: 244–247.
- Grassi, C., Bouman, B.A.M., Castaneda, A.R., et al. 2009. Aerobic rice: crop performance and water use efficiency. *J. Agric. Environ. Int. Dev.* 103:259–270.
- He, G., Wang, Z.H., Cui, Z.L. 2020. Managing irrigation water for sustainable rice production in China *J. Clean. Prod.* 245:118928.
- Henríquez, R., Henríquez, E. Sepúlveda, D., et al. 2018. Manual de manejos bajo el sistema de siembra directa con taipas en arroz en Chile. Serie estudios para la innovación FIA. Fundación para la innovación Agraria, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 123p.
- Herrera-Puebla, J., Hervis-Granda, G., González-Robaina F., et al. 2019. Estudio sobre el balance hídrico del arroz en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*. 3.
- Hornbuckle, J., Carracelas, G. 2019. Herramientas tecnológicas para optimizar el manejo del riego en arroz [Presentación oral]. In Jornada, 6 de septiembre. Herramientas tecnológicas para optimizar el riego en arroz, Tacuarembó, 2019. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13301/1/G.-Carracelas-Presentacion-J.Hornbuckle.pdf>.
- Humphreys, E., Meisner, C., Gupta, R., et al. 2005. Water saving in rice-wheat systems. *Plant Prod. Sci.* 8: 242-258.
- Humphreys, E., Robinson, D. 2004. Improving water productivity in rice cropping systems in Australia: institutions and policy (pp. 885– 900). In T.W. Mew, D.S. Bar, S. Peng, D. Dawe, B. Hardy (Eds.) In: *Rice Science: innovations and impact for livelihood*. Proceedings of the international rice research conference. Beijing, China. International Rice Research Institute, Chinese Academy of Engineering and Chinese Academy of Agricultural Science. September, 2002.
- IPCC. 2000. Emissions Scenarios - Summary for Policymakers. Special Report on Emissions Scenarios (SRES). A Special Report of IPCC Working Group III.

- Kahlowan, M., Raoof, A., Zubair, M., et al. 2007. Water use efficiency and economic feasibility of growing rice and wheat with sprinkler irrigation in the Indus Basin of Pakistan. *Agric. Water Manage.* 87: 292-298.
- Kato, Y., Katsura, K. 2014. Rice adaptation to aerobic soils: physiological considerations and implications for agronomy. *Plant Prod. Sci.* 17:1-12.
- Kato, Y., Okami, M., Katsura, K. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Res.* 113:328-334.
- Koech, R.K., Smith, R.J., Gillies, M.H. 2014. A real-time optimization system for automation of furrow irrigation. *Irrig Sci.* 32: 319-327.
- Kool, D., Agam, N., Lazarovitch, N. 2014. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology.* 184: 56-70.
- Kumar et al 2017. Physiological and morphological responses of four different rice cultivars to soil water potential based deficit irrigation management strategies. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.026>
- Lampayan, R., Bouman, B., de Dios, J., et al. 2003. Adoption of water saving technologies in rice production in the Philippines. Extension Bulletin 548, Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan. 15pp.
- Lampayan, R.M., Bouman, B.A.M., De Dios, J.L., et al. 2005. Transfer of water saving technologies in rice production in the Philippines (pp. 112-132). In: T.M. Thiyagarajan, H. Hengsdijk, P. Bindraban (eds.). In: Proceedings of the International Symposium on Transitions in Agriculture for Enhancing Water Productivity, Tamil Nadu, India.
- Li, Y., Barker, R. 2004. Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy Water Environ.* 2: 187-193
- Lin, X., Zhu, D., Lin, X. 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics (pp. 33-39). In *Paddy and water environment*. Vol 9. Springer, Berlin.
- Linguist, B. A., Anders, M. M., Adviento-Borbe, M. A., et al. 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Glob. Chang. Biol.* 21(1):407-417. <https://doi.org/10.1111/gcb.12701>.
- Luo, L. J. 2010. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. *J. Exp. Bot.* 31:3509-3517.
- MADR y CIAT. 2015. Análisis integral de sistemas productivos en Colombia para la adaptación al cambio climático. Cali: CONVENIO MADR-CIAT 20120382.
- Marchesi, C., Chauhan, B.S. 2019. The efficacy of chemical options to control *Echinochloa crus-galli* in dry-seeded rice under alternative irrigation management and field layout. *Crop Prot.* 118:72-78. Available online 30 December 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.016>.
- Masseroni, D., Moller, P., Tyrell, R. 2018. Evaluating performances of the first automatic system for paddy irrigation in Europe. *Agric. Water Manage.* 201:58-69.
- Massey, J.H., Smith, M.C., Vieira, D.A.N., et al. 2018. Expected irrigation reductions using multiple-inlet rice irrigation under rainfall conditions of the Lower Mississippi River Valley. *J. Irrig. Drain Eng.* 144:1-13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001303](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001303).
- Massey, J.H., Walker, T.W., Anders, M.M., et al. 2014. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. *Agric. Water Manage.* 146:297-304. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.023>.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2016. Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2:e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.

- Muirhead, W.A., Blackwell, J., Humphreys, E., et al. 1989. The growth and nitrogen economy of rice under sprinkler and flood irrigation in South East Australia. *Irrig Sci.* 10: 183-199.
- Niblack, M., Sánchez, C.A., 2008. Automation of surface irrigation by cut-off time or cut-off distance control. *Trans. ASABE.* 24:611-614.
- Nie, L., Peng S. 2017. Rice Production in China. En *Rice Production Worldwide*, 33-52, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_2.
- Nishiuchi, S., Takaki, Y., Takahashi, H., et al. 2012. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice* 5:2.
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., et al. 2015. Evaluación preliminar de genotipos de arroz bajo dos sistemas de manejo de agua. 66° Congreso Agronómico SACH y 13° SOCHIFRUT. 17-20 de noviembre, Valdivia, Chile.
- Parent, B., Suard, B., Serraj, R., et al. 2010. Rice leaf growth and water potential are resilient to evaporative demand and soil water deficit once the effects of root system are neutralized. *Plant Cell Environ.* 33: 1256-1267. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02145.x>.
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., et al. 2004. Water resources: Agricultural and environmental issues. *Bioscience* 54:909-918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2).
- Praba, M.L., Cairns J.E., Babu, R.C., et al. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 195:30-46.
- Quezada, C.; Hernaíz, S.; Stolpe, N., et al. 2011. Efecto del método de riego intermitente en componentes de rendimiento y manejo del agua en once genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 27:105-115.
- Raine, S.R., Bakker, D.M. 1996. Increased furrow irrigation efficiency through better design and management of cane fields. In: *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*. pp 119-125.
- Ramesh, P., Vengatesan, D., Natrajan, S. 2019. SRI - A system of cultivation for increasing the knowledge level of the paddy farmers. *Plant Arch.* 19:2247-2250.
- Rao, K.V.R., Gangwar, S., Keshri, R. 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield under system of rice intensification management. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 15: 487-495.
- Rao, R. 2011. Estimation of efficiency, sustainability and constraints in SRI (system of rice intensification) vis-a-vis traditional methods of paddy cultivation in north coastal zone of Andhra Pradesh. *Agric. Econ. Res. Rev.* 24:325-331.
- Rice Growers Association of Australia (RGA). [online]. Disponible en: https://www.rga.org.au/common/Uploaded%20files/RGA/Publications%20and%20Factsh eets/Rice-and-Water-2014_Web.pdf. Acceso: 18 de marzo de 2020.
- Rice Knowledge Bank (RKB) [online]. Disponible en: <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/growth/water-management>. Acceso: 18 de marzo de 2020.
- Rubicon Water. 2020. [online]. Disponible en: <https://www.rubiconwater.com/catalogue/farmconnect/>. Acceso: 19-03-2020.
- Sarkar et al 2012. Deficit irrigation: An option to mitigate arsenic load of rice grain in West Bengal, India. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.008>
- Seck, P.A., Diagne, A., Mohanty, S., et al. 2012. Crops that feed the world 7: rice. *Food Sec.* 4:7-24.

- Shahidian, S., Serralheiro, R. 2012. Development of an adaptive surface irrigation system. *Irrig. Sci.* 30:69-81.
- Smith, M.C., Massey, J.H., Branson, J., et al. 2007. Water use estimates for various rice production systems in Mississippi and Arkansas. *Irrig. Sci.* 25:141-147. <https://doi.org/10.1007/s00271-006-0041-0>.
- Smith, R.J., Raine, S.R., Minkovich, J. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. *Agr Water Manage.* 71:117-130.
- Smith, R.J., Uddin, J.M., Gillies, M.H., et al. 2016. Evaluating the performance of automated bay irrigation. *Irrig. Sci.* 34:175-185.
- Stevens, G., Rhine, M., Heiser, J. 2018. Rice production with furrow irrigation in the Mississippi River Delta region of the USA. In F. Shah, Z.H. Khan, A. Iqbal (eds.). In *Rice crop - current developments*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.74820.
- Stevens, G., Vories, E., Heiser J., et al. 2012. Experimentation on cultivation of rice irrigated with a center pivot system (pp. 233-254). In: T.S. Lee (ed.). In: *Irrigation systems and practices in challenging environments*. Rijeka, Croatia. IntechOpen. DOI: 10.5772/30502.
- Stone, L.R., Schlegel, A.J. 2006. Crop water use in limited-irrigation environments (pp. 173-184). In *Proceedings of the 2006 Central Plains Irrigation Conference*, Colby, KS. 21-23 Feb. 2006. Central Plains Irrig. Assoc., Colby, KS.
- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., et al. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agr Water Manage.* 56:93-112. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00007-0).
- Tarlera, S., Capurro, M.C., Irisarri, P., et al. 2016. Yield-scaled global potential of two irrigation management systems in a highly productive rice systems. *Sci. Agric.* 73:43-50. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0050>
- Tuong, P., Bouman, B.A.M., Mortimer, M. 2005. More rice, less water—integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Prod. Sci.* 8:231–241. <https://doi.org/10.1626/pps.8.231>.
- Tuong, T.P., Bouman B.A.M., 2003. Rice production in water scarce environments (pp. 53-67). In J.W. Kijin, R. Barker, D. Molden (eds). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Wallingford (UK): CABI Publishing.
- Tuong, T.P., Cabangon, R.J., Wopereis, M.C.S. 1996. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:872-879.
- Vanitha, K., Mohandass, S. 2014. Effect of humic acid on plant growth characters and grain yield of drip fertigated aerobic rice (*Oryza sativa* L.). *Bioscan.* 9: 45–50.
- Vories, E.D., Stevens W.E., Tacker, P.L., et al. 2013. Rice production with center pivot irrigation. 29:51-60. *Appl. Eng. Agric.* 29:51-60. DOI:10.13031/2013.42532.
- Williams, R.L., Angus, J.F., 1994. Deep floodwater protects high nitrogen rice crops from low temperature damage. *Aust. J. Exp. Agric.* 34:927-932. <https://doi.org/10.1071/EA9940927>

17.2. BIBLIOGRAFIA ARTICULO 1

- Alvarado, R., Gallardo, I. 1994. Influencia de la época de corte del agua al arroz (*Oryza sativa* L.) sobre el rendimiento, humedad del grano y calidad industrial. *Agric. Téc. (Chile)* 54:238-242.
- Alvarado, R. Hernaíz, S. 1995. Riego (pp. 22-24). In *Manual de producción de arroz. Programa de reconversión de suelos degradados*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación INIA Quilamapu. Chillán, Chile. 69p.

- Alvarado, R., and S. Hernaíz. 2007. Antecedentes generales sobre el arroz en Chile. In Alvarado, R. (ed.) Arroz. Manejo tecnológico. Boletín INIA N° 162. 179 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Anríquez, C. 1934. El cultivo del arroz y sus posibilidades en Chile. Memoria de Prueba para optar al título de ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía. Universidad de Chile. 204p.
- Asociación Digua Perquilauquén. 2020. Infraestructura. Revisado el 23 d marzo de 2020. www.embalsedigua.cl
- Astorga, M. 1944. Elaboración industrial del arroz Nacional. Tesis de prueba para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 129p.
- Bello, M., Pino, M. 2000. Medición de presión y caudal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Boletín INIA, N°. 28.
- Bernier, J., Atlin, G. N., Serraj, R., et al. 2008. Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 927-939.
- Bouman, B. A. M., Lampayan, R.M., Tuong, T.P., 2007. Water Management in Irrigated Rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines). International Rice Research Institute. 54 p.
- Carracelas, G., Guilpart, N., Grassini, P., et al. 2017a. Evolución del rendimiento del arroz producido en Uruguay y comparación con otros países arroceros. P. 51-55. (INIA Serie Técnica; 233). <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.233>
- Carracelas, G.; Cora, P.; Ferres, S., 2017. Monitoreo de prácticas de manejo de riego en chacras comerciales. In: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Saravia, H. (Eds.) Arroz 2017. Montevideo (UY): INIA, 2017. p. 56-59. <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.233>
- Carracelas, G., Guilpart, N., Grassini, P., et al. 2019a. Potencial y brecha de rendimiento de arroz irrigado en Uruguay y otros países arroceros. p. 53-56. (INIA Serie Técnica; 250). <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J.E., et al. 2019b. Manejo del riego y productividad del agua en el cultivo de arroz en Uruguay. In: Terra, J. A.; Martínez, S.; Saravia, H. (Eds.) Arroz 2019. Montevideo (UY): INIA, 2019. p. 49-52. (INIA Serie Técnica; 250)
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J., et al. 2019c. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. *Agric. Water Manag.* 222:161–172.
- Carrijo, D.R., Lundy, M.E., Linquist, B.A., 2017. Rice yields, and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *F. Crop. Res.* 203, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.002>
- Cassman, K.G., Dobermann, A.R., Walters, D.T., et al. 2003. Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. *Annual Review of Environment and Resources* 28:315-358.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., 2010. The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective value of water. *Ecological Economics*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012> .
- Cone, V. M. 1917. "The Venturi flume." *J. Agric. Res.* 94: 115–129.
- Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchell, A.L., 2000. A uniform and adaptative system for expressing rice development. *Crop Sci.* 40, 436–443. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>
- DGA. 2017. Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile / Ministerio de Obras Públicas, Dirección

- General de Aguas, División de Estudios y Planificación; Realizado por Unión Temporal de Proveedores Hídrica Consultores SPA y Aquaterra Ingenieros Ltda.
- Donoso, G., Becerra, V., Uribe, H., et al. 2019. Nuevas herramientas para mejorar la gestión del agua en el sector arrocerero de Chile. *Tierra adentro. Especial Gestión Hídrica*. 111: 41-45.
- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., et al. 2015a. Disminución de la vulnerabilidad del cultivo del arroz frente a la menor disponibilidad de agua en Chile. *Algrano* 2:19.
- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., et al. 2016. Selection rice genotypes on drought tolerance at reproductive stage at field conditions. 67° Congreso de la Sociedad Agronómica de Chile. 30 de noviembre, Santiago, Chile.
- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., et al. 2018. Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en Chile. XIII Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe, el 14 -19 de mayo, Piura, Perú.
- Donoso, G., Paredes, M., Uribe, H. 2015b. 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.
- Dunn B.W., Gaydon D.S. 2011 Rice growth, yield and water productivity responses to irrigation scheduling prior to the delayed application of continuous flooding in south-east Australia. *Agricultural Water Management* 98, 1799–1807.
- Elgueta, L. 1955. Organización de la cooperativa de productores de arroz de San Carlos. *Simiente* 25:80-81.
- Espinoza, A., Farías, C. 2017. La cadena del arroz en Chile. Artículos, Unidad de Transparencia de Mercados, ODEPA.
- FAO. 2020. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria - Informe trimestral mundial N° 2, julio 2020. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9803es>
- FIA. 2017. Agenda para la cadena del arroz en Chile.
- Fundación Chile. 2011. Manual de Recomendaciones del Cultivo de Arroz Inundado desde Siembra. Programa Convenio Subsecretaría de Agricultura – Fundación Chile. 52p.
- Fundación Chile. 2018. Escenarios Hídricos 2030. Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. 38p.
- Garreaud, R., Boisier, J., Montecinos, A., et al. 2019. The central Chile mega drought (2010-2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*. 40: 421– 439.
- Gaydon, D.S., Beecher, H.G., Reinke, R., et al., 2010. Rice. In: Stokes, C.J., Howden, S.M. (Eds.), *Adapting Australian agriculture to climate change*. CSIRO Publishing (Chapter 5). p. 67-83.
- González, J. 2018. Análisis económico preliminar localidad de Parral 2017/18. *Tierra Adentro. Especial Gestión Hídrica*. 111: 46.
- Gutiérrez, J., Becerra, V. 2018. Efecto Del Riego Intermitente Sobre El Cultivo Del Arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis para optar al título de ingeniero Agrónomo y licenciado en Agronomía Universidad Adventista de Chile. 36p.
- GYGA. Global Yield Gap and Water Productivity Atlas. Available URL: <http://www.yieldgap.org/> (Acceso en: 2019).
- Henríquez, R., Henríquez, E. Sepúlveda, D., et al. 2018. Manual de manejos bajo el sistema de siembra directa con taipas en arroz en Chile. Serie estudios para la innovación FIA. Fundación para la innovación Agraria, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 123p.

- Hernaíz, S., Alvarado, R. 2007. Manejo del agua en el arrozal (pp. 49-57). En R. Alvarado (ed.). Arroz. Manejo tecnológico. Boletín N° 162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Quilamapu. Chillán, Chile. 180p.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. 2009. Water Footprint Manual, State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, Netherlands 2 University of Twente, Enschede, Netherlands WWF-UK, Godalming, UK.
- Hofste, R., Kuzma, S., Walker, S., et al. 2019. Aqueduct 3.0: Updated decision-relevant global water risk indicators. Technical note. Washington, DC: World Resources Institute. <https://www.wri.org/resources/data-sets/aqueduct-global-maps-30-data>.
- Humphreys, E., Lewin, L.G., Khan, S., et al. 2006. Integration of approaches to increasing water use efficiency in rice-based systems in south-east Australia. Field Crops Research. 97: 19–33.
- Lacy, J., Clampett, W., Lewin, L., et al. 2002. Ricecheck Recommendations. NSW Agriculture, Yanco, NSW, Australia.
- Lampayan, R., Bouman, B., de Dios, J., et al. 2003. Adoption of water saving technologies in rice production in the Philippines. Tamil Nadu, India: Transitions in Agriculture for Enhancing Water Productivity.
- Lampayan, R., Bouman, B., De Dios, J., et al. 2005. Transfer of water saving technologies in rice production in the Philippines. In: Thiyagarajan TM, Hengsdijk H, Bindranan P, editors. Transitions in agriculture for enhancing water productivity. Proceedings of the International Symposium on Transitions in Agriculture for Enhancing Water Productivity, 23-25 September 2003.
- Lampayan, R.M., Palis, F.G., Flor, R.B., et al. 2009. Adoption and dissemination of "safe alternate wetting and drying" in pump irrigated rice areas in the Philippines. 60th International Executive Council Meeting & 5th Asian Regional Conference, 6-11 December 2009, New Delhi, India. p. 1-11.
- Lobell, D.B.; Cassman, K.G.; Field, C.B. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annual Review of Environment and Resources 34 (2009); doi: 10.1146.
- MacCrometer. 2020. Medidores McCrometer de hélice. 24545-00 Rev. 4.4. 27p. <https://www.mccrometer.com>
- Maldonado, I., Alvarado, R. 1982. Algunos aspectos del manejo del agua en el arroz. Inv. Progr. Agrop. INIA Quilamapu (Chile) 13:20-23.
- Massey, J.H., Walker, T.W., Anders, M.M., et al. 2014. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. Agric. Water Manag. 146, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.023>
- O'Toole, J.C. 2004. Rice and Water: The Final Frontier. Proceedings of the First International Conference on Rice for the Future, Bangkok, 31 August-2 September 2004, 26.
- Olate, H. 1950. Industria del arroz en Chile y sus proyecciones económicas. Memoria de prueba para optar al grado de Licenciado Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad de Chile. Memorias 11: 161-222.
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., et al. 2015. Evaluación preliminar de genotipos de arroz bajo dos sistemas de manejo de agua. 66° Congreso Agronómico SACH y 13° SOCHIFRUT. 17-20 de noviembre, Valdivia, Chile.
- Parshall, R. L. 1936. "The Parshall measuring flume." Rep. No. 423, Colorado Experiment Station, Colorado Agricultural College, Fort Collins, Colo.

- Quezada, C.; Hernaíz, S.; Stolpe, N. et al. 2011. Efecto del método de riego intermitente en componentes de rendimiento y manejo del agua en once genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). Chilean J. Agric. Anim. Sci. 27:105-115.
- Rantz, S. E. 1982. "Measurement and Computation of Streamflow". Technical report, USGS.
- Reddy, M., Jumaboev, K., Matyakubov, B., et al. 2013. Evaluation of furrow irrigation practices in Fergana Valley of Uzbekistan. Agricultural Water Management 117 (2013) 133– 144.
- Santibáñez Q., F., Santibáñez, V., P., Solis, L. 2008. Análisis de vulnerabilidad del sector silviagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios del cambio climático. Centro de Agricultura y Medio Ambiente y Facultad de ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Silva, C. 1937. Cómo se cultiva el arroz. Información completa sobre siembra, cultivo y cosecha de arroz. Ediciones Ercilla, Santiago, Chile. 55p.
- Sims, G. 1969. El cultivo del arroz. El Campesino 100: 44-71.
- Sims, G., Alvarado, R. 1972. Manual de Producción de Arroz. Servicio Agrícola y Ganadero, Central de Divulgación Técnica, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu. Boletín Técnico N° 54. 127p.
- Torrealba, S. 1956. El problema del arroz en Chile. Memoria de prueba para optar al título de Ingeniero Comercial. Universidad Católica de Chile. 112p.
- Tuong, T.P., Bouman, B.A.M. 2003. Rice production in waterscarce environments. Kijne, J.W., Barker R., Molden, D. (eds). Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CABI Publishing. UK 53–67.
- Tuong, T.P., Bouman, B.A.M., Mortimer M. 2005. More Rice, Less Water—Integrated Approaches for Increasing Water Productivity in Irrigated Rice-Based Systems in Asia, Plant Production Science, 8:3, 231-241.
- Uribe, H., Riquelme, F. 2013. Huella hídrica en Arroz. En Osorio U., Alfonso (ed). 2013. Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. 211 p. Serie Actas N° 50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., et al. 2014. Water governance in Chile: Availability, management and climate change. Journal of Hydrology. 519: 2538-2567.
- Villalobos, E. 1941. El cultivo del arroz y su importancia económica. Memoria de prueba para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Chile. 81p.
- Williams, R.L., Angus, J.F., 1994. Deep floodwater protects high nitrogen rice crops from low temperature damage. Australian Journal of Experimental Agriculture 34, 927–932. <https://doi.org/10.1071/EA9940927>