

EFFECTOS DEL METODO DE RIEGO INTERMITENTE EN COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y MANEJO DEL AGUA EN ONCE GENOTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

EFFECTS OF INTERMITTENT IRRIGATION METHOD IN YIELD COMPONENTS AND WATER MANAGEMENT ON ELEVEN RICE GENOTYPES (*Oryza sativa* L.)

Celerino Quezada^{1*} Santiago Hernaiz², Neal Stolpe¹, y Alejandro Saludes¹

¹Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile. *Autor para correspondencia E-mail: cequezad@udec.cl

²Villa Los Jardines de Ñuble, Las Orquídeas 871, Chillán, Chile.

RESUMEN

Las estrategias para disminuir el consumo de agua en el cultivo del arroz son un factor clave para enfrentar la escasez del recurso hídrico en la agricultura y asegurar las sostenibilidad del cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del riego intermitente en los componentes de rendimiento y manejo de agua usando once genotipos de arroz. Los componentes de rendimiento, características agronómicas y manejo de agua fueron comparados entre el sistema de riego intermitente y el riego por inundación permanente. Los resultados indican que con el riego intermitente disminuyeron las panículas por m², sin afectar el número de granos por panícula y el peso de 1.000 granos, causando una disminución del 30,6% en el rendimiento promedio. Sin embargo, se obtuvo un aumento del 14,2% en el porcentaje de grano entero y un 41% de ahorro de agua, respecto a riego por inundación permanente. Los genotipos con mejor comportamiento fueron el cv. Diamante y Quila 208902, con disminución en rendimiento de 25,45 y 18,03%, respectivamente. La eficiencia de uso del agua fue mayor en riego intermitente, con 0,726 kg m⁻³ en relación a 0,523 kg m⁻³ del riego por inundación permanente. Se concluyó que el riego intermitente permite disminuir el consumo de agua del arroz y puede ser aplicable en situaciones de escasez hídrica, con genotipos adaptados, sin embargo se requiere más investigación en este tema.

Palabras clave: eficiencia de uso del agua, riego por inundación permanente, componentes de rendimiento, calidad industrial.

ABSTRACT

The strategies to decrease water input in the rice crop are a key factor in facing water resources scarcity in agriculture and ensure the crop sustainability. The objective of this study was to evaluate the effect of intermittent irrigation on yield components and water management on eleven rice genotypes. The yield components, agronomic characteristics and water management, were compared between two irrigation systems: intermittent versus permanent flooding. The results showed that intermittent irrigation decreased panicles m⁻² without affecting number of grains per panicle and the 1000-grain weight, producing a 30.6% decrease in average yield. However, it was obtained an increase of 14.2% of whole grain yield, and a 41% of water saving compared to permanent flooding irrigation. The genotypes with best performance were cv. Diamante and Quila 208902, with 25.45 and 18.03% decrease in grain yield, respectively. The water use efficiency was higher in intermittent

irrigation with 0.726 kg m^{-3} as compared with 0.523 kg m^{-3} of permanent flooding. It was concluded that intermittent irrigation can reduce water consumption of the rice crop and may be used in water scarcity situations, with adapted genotypes, but further research is needed in this regard.

Key words: water use efficiency, permanent flooding irrigation, yield components, industrial quality.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua para la agricultura está disminuyendo, lo que exige que en los sistemas productivos arroceros se debe reducir el consumo de agua y aumentar su eficiencia de uso (Belder et al., 2004; Kato et al., 2009). Es necesario adoptar tecnologías de ahorro de agua para alimentar a una población creciente, en regiones donde el agua es escasa (Arora, 2006), lo que se puede lograr con disminución de la altura de láminas de agua, cultivo en suelo saturado y períodos alternados de humedecimiento y secado (Bouman y Tuong, 2001), o retrasando el periodo de inundación continua hasta antes de la iniciación de la panícula (Dunn y Gaydon, 2011)

El cultivo de arroz tiene una alta demanda de agua, debido a que se cultiva bajo inundación permanente. Una estrategia para ahorrar agua es el riego intermitente (Khepar et al., 2000), es decir, efectuar períodos alternados de riegos en los primeros estados de desarrollo, para incrementar la productividad del agua (Belder et al., 2004). El riego intermitente consiste en mantener el cultivo con inundación permanente hasta el estado de iniciación de la panícula, y luego aplicar riegos intermitentes hasta inicio del primordio floral, después que el agua desaparece de la superficie y el suelo llega a saturación, momento en que se aplica nuevamente la lámina de agua (Anbumozhi et al., 1998; Tabbal et al., 2002). El período de recesión varía según los requerimientos del cultivo, tasa de infiltración y pérdidas laterales. Según Mishra et al. (1990) el rendimiento óptimo y la mayor eficiencia de uso del agua se obtiene con riegos cada 3 a 5 días.

El riego intermitente reduce el consumo de agua pero a expensas de una disminución en el número de granos por panícula (Bouman, 2001) y disminución de rendimiento (Tabbal et al., 2002). Diversos autores informan de ahorros de agua con riego intermitente en arroz; así es como Belder et al. (2004) indican 15-18% de ahorro; Tripathi et al. (1986) informan 34-43%; Lu et al. (2000) indican 25-50%, y Borrell et al. (1997) un 32%. Por lo tanto, el riego intermitente o aeróbico es una de las tecnologías de conservación y ahorro de agua más promisorias para disminuir los requerimientos de agua del cultivo del arroz, y mitigar el problema de escasez de agua (Kato et al., 2009; Alberto et al., 2011)

En Chile el manejo del agua por parte de los

productores arroceros es deficiente, siendo el consumo muy alto, del orden de $22.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, por lo cual resulta interesante la búsqueda de material genético que tenga buen comportamiento bajo condiciones de riego restrictivo, lo que permitiría disminuir los volúmenes de agua aplicados (Hernaiz y Alvarado, 2007).

Sin embargo, las tecnologías de ahorro de agua tienen el inconveniente que reducen los rendimientos, debido al estrés hídrico en el cultivo. Por lo anterior, es necesario establecer la función de producción entre agua aplicada y rendimiento del arroz, para determinar el nivel de suministro de agua que se puede aplicar sin comprometer rendimientos (Bouman y Tuong, 2001). Por otra parte, la elevación de la altura de lámina de agua para proteger el primordio floral limita la aplicación de estrategias de ahorro del recurso hídrico, sin aumentar el riesgo de una disminución significativa en rendimientos (Humphreys et al., 2006)

La obtención de variedades adaptadas a sistemas de riego intermitente ha sido una prioridad en el mejoramiento del germoplasma (Bueno et al., 2010), entre las que destaca la tolerancia al frío para reducir la esterilidad del polen (Humphreys et al., 2006). Las nuevas variedades de arroz aeróbico deben tener un mínimo diferencial de rendimientos en comparación a inundación continua, estabilidad en los rendimientos y estrategias de manejo del cultivo adecuadas, lo que permitiría el éxito de la tecnología del riego intermitente (Peng et al., 2006; Patel et al., 2010).

Esta investigación plantea como hipótesis que los materiales genéticos chilenos presentan un buen comportamiento agronómico en un sistema de riego intermitente. El objetivo fue evaluar el efecto del riego intermitente en los componentes de rendimiento, comportamiento agronómico y manejo de aguas en once genotipos de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental INIA-DIGUA, ubicado en la comuna de Parral ($36^{\circ}4'$ lat. S, y $72^{\circ}0'$ long. O, 141 m.s.n.m.), provincia de Linares, Región del Maule, Chile, durante la temporada 2008-2009.

El sitio experimental está ubicado en el agroclima Parral, que corresponde a un clima mediterráneo

temperado, con precipitación anual entre 900 y 1.000 mm, concentrada entre los meses de mayo y agosto (70%). La temperatura media anual es de 14,2°C, la mínima de julio es 3,8 a 4,3°C, y la máxima de enero es 29,5°C. El período libre de heladas es de 4-5 meses, con humedad relativa media de 62,7% y evapotranspiración potencial anual de 840 mm. El déficit hídrico entre diciembre y marzo es de 440 mm (Del Pozo y del Canto, 1999).

El suelo es clasificado como very fine, smectitic, thermic Aquic Durixererts (Serie Quella), fase delgada a moderadamente profunda, de textura arcillosa y color pardo grisáceo muy oscuro en la superficie, textura arcillosa densa y color gris oscuro en profundidad. Suelo de topografía plana, de permeabilidad lenta, drenaje imperfecto y escurrimiento superficial muy lento (Stolpe, 2006).

Diseño experimental

El diseño del ensayo fue de parcelas divididas, con el tratamiento hídrico (T) como parcela principal y el genotipo (G) como subparcela. Los tratamientos hídricos aplicados fueron: riego intermitente (RI) y riego por inundación permanente (RP), utilizando 3 repeticiones por tratamiento. Los subtratamientos fueron los genotipos: cv. Ámbar-INIA, Diamante-INIA, Zafiro-INIA, Cuarzo-INIA y las líneas experimentales Rquila17, Quila186802, Quila207105, Quila208902, Quila213007, Quila242101 y Quila225205.

La superficie de las parcelas fue de 28,5 x 10,5 m, y las subparcelas de 2 x 3 m para cada genotipo. La superficie total del ensayo fue de 598,5 m².

Manejo del cultivo

La siembra se realizó al voleo el 29 de octubre del 2008, con una dosis de 160 kg ha⁻¹ de semilla pre-germinada, sobre una lámina de agua de 10 cm. El nitrógeno se aplicó parcializado a la forma de urea (46% N): 40% a la siembra, 40% en inicio de macolla y 20% en inicio de panícula. La fertilización base fue de 100 kg ha⁻¹ de superfosfato triple, 100 kg ha⁻¹ de muriato de potasio, 5 kg ha⁻¹ de sulfato de zinc y 5 kg ha⁻¹ de boronato de calcio.

El control de malezas se realizó a inicios de macolla, aplicando Penoxsulam en dosis de 48 g i.a. ha⁻¹ (Ricer) para control de hualcacho (*Echinochloa crus-galli*) y MCPA 0,7 L ha⁻¹ para malezas de hoja ancha (*Alisma plantago-aquatica* y *Sagittaria montevidensis* subsp. *chilensis*) permaneciendo el agua detenida durante 7 días después de la aplicación del producto.

La cosecha se realizó en forma manual el 18 de marzo del 2009, en la parte central de la parcela (2 m²), con una humedad del grano de 23%, que fue determinado con un medidor de humedad (Satake

Moistex SS-5, Satake Corporation, Tokio, Japón), pesadas en una balanza (Ohaus, GT-8000, Ohaus Corporation, Ohio, USA) y procesadas en una trilladora estacionaria.

Sistema de riego intermitente

Desde la siembra hasta plantas con tres hojas se mantuvo el sistema tradicional de riego por inundación permanente, con una altura de lámina de agua de 10 cm. Pasado este período se inició el riego intermitente, que duró hasta el inicio del primordio floral.

El riego intermitente se realizó llenando los cuadros hasta una altura de 10 cm, cerrando las entradas y salidas, hasta que el agua desapareciera de la superficie del suelo, momento en que se aplicó nuevamente la lámina de agua, lo que en la práctica se realizó cada 5 días.

Cuando se inició el primordio floral se aumentó la altura de la lámina de agua hasta 30 cm, según la elongación de los entrenudos, para dejar protegido el primordio floral de las bajas temperaturas hasta la floración, momento en que se cortó la entrada de agua al arrozal, permitiendo mantener la lámina de agua hasta el inicio de madurez. La mejor época de corte del agua es desde floración en adelante (Hernaiz y Alvarado, 2007). Desde el estado de grano lechoso y llenado de grano, las características del suelo permitieron que el cultivo se mantuviera saturado hasta la madurez fisiológica.

Evaluaciones

Componentes de rendimiento

Se determinaron los principales componentes de rendimiento: panículas por metro cuadrado, granos por panícula y peso de 1.000 granos. El número de panículas m⁻² se determinó en la etapa de maduración del cultivo, mediante un aro de plástico de 45 cm de diámetro (0,16 m²), ubicándolo en forma aleatoria dentro de las subparcelas. El número de granos por panícula se determinó seleccionando al azar diez panículas por cada subtratamiento, realizando un conteo de los granos y determinando la media. Para calcular el peso de 1.000 granos, se procedió a contar manualmente cien granos por cada genotipo con sus repeticiones, luego fueron pesados en una balanza electrónica (Sartorius, 1216-MP, Sartorius GmbH, Göttingen, Alemania) y posteriormente se hizo la equivalencia a peso de 1.000 granos.

Rendimiento

El rendimiento de cada genotipo se obtuvo pesando los granos de arroz paddy en una balanza

electrónica (Sartorius, 1216-MP, Sartorius GMBH, Göttingen, Alemania) y posteriormente se hizo la equivalencia a peso de 1.000 granos y se estandarizó a 15% de humedad. El contenido de humedad de los granos se determinó utilizando 250 g de muestra en un medidor digital de humedad (Burrows, DMC-700, Seedburo Equipment Company, Chicago, USA).

Calidad industrial

El porcentaje de grano entero se obtuvo pasando el arroz paddy o con cáscara por un calibrador de grano de 20 x 2 mm. Se pesaron 100 g los que fueron sometidos al proceso de elaboración que consiste en descascarado y pulido, realizado en un molino de prueba (Suzuki, MT, Maquinas Suzuki S.A., Santa Cruz do Rio Pardo, Brasil). Luego el grano blanco obtenido se separó en grano entero y partido mediante el separador de fracciones (Satake TRG, Satake Corporation, Tokio, Japón).

Altura de plantas

Se evaluó la altura de plantas con una regla de madera (120 cm) midiendo desde el nivel del suelo hasta la hoja o panícula más alta. Esta se realizó en la fase de floración (enero-febrero) en tres muestras al azar por genotipo en cada repetición.

Precocidad

La precocidad de los genotipos se obtuvo calculando los días entre la siembra y floración, que se determinó cuando la floración por subtratamiento era del 50%.

Agua aplicada

El volumen de agua aplicada en cada riego se obtuvo multiplicando el caudal por el tiempo de

riego. El caudal se midió mediante una canoa aforadora Parshall (Indemaf, Chillán, Chile), con ancho de garganta de 7,62 cm (3 pulgadas). El caudal se calculó aplicando la siguiente ecuación (Salgado y Valenzuela, 1992).

$$Q = b * Ha^x$$

donde: Q = caudal ($m^3 \text{ seg}^{-1}$); Ha = altura de agua medida (m); b y x = coeficientes de gasto según ancho de garganta (b = 0,176; x = 1,547)

Eficiencia de uso del agua (EUA)

La eficiencia de uso del agua se expresó mediante la relación entre kg de arroz y m^3 de agua aplicada, en ambos sistemas de riego.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) con un 95% de confianza ($P \leq 0,05$) y se aplicó la prueba DMS para la comparación de las medias entre tratamientos, utilizando el programa IRRISTAT (IRRI, 1992)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de panículas

El número de panículas por m^2 presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$), pero no presentó diferencias en los genotipos ni en la interacción G x T.

El riego intermitente fue significativamente inferior en panículas m^2 y granos por panícula, en relación a riego permanente, disminuyendo en un 8,7% (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con Peng et al. (2006) quienes determinaron diferencias significativas entre RI y RP, con 307 y 356 panículas por m^2 , respectivamente, con una diferencia de 15%.

Tabla 1. Panículas por m^2 y granos por panícula en arroz con riego intermitente y riego por inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 1. Panicles per m^2 and grains per panicle in rice with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Tratamiento	Panículas por m^2	Granos por panícula
	Nº	Nº
Riego Intermitente	315 a	70 a
Riego Permanente	345 b	75 b
DMS T	2,6	4,1
CV, %	15,8	11,5

Letras distintas en la columna indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos según test de DMS ($P \leq 0,05$).

DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

Granos por panícula

El número de granos por panícula presentó diferencias significativas entre los tratamientos, genotipos y en la interacción G x T ($P \leq 0,05$) (Tabla 2).

Los genotipos Quila 242101 y el cv. Diamante presentaron un aumento significativo en el número de granos bajo RI, lo que es un efecto positivo si se considera que 75 granos de promedio sería el número de granos por panícula ideal para estos genotipos (Hernaiz y Alvarado, 2007). Sin embargo, en algunos genotipos el número de gra-

nos por panícula disminuyó en el tratamiento de RI concordando con los resultados de Bueno et al. (2010)

Peso de 1000 granos

El peso de 1000 granos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí presentó diferencias significativas en los genotipos ($P \leq 0,05$). Los genotipos con mejor comportamiento en RI corresponden a Rquila 17 con 35,8 g y el cv. Diamante con 34,5 g (Tabla 3).

Tabla 2. Granos por panícula en genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 2. Grain per panicle in rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente
	Nº	Nº
cv. Diamante	77 abcd	71 cde
cv. Ámbar	66 cdef	78 abc
cv. Zafiro	69 cdef	69 cdef
Rquila17	64 def	68 cdef
Quila 186802	68 cdef	77 abcd
Quila 225205	88 a	87 ab
Quila 208902	70 cdef	78 abc
Quila 213007	57 f	61 ef
Quila 242101	75 abcd	69 cdef
Quila 207105	73 cde	74 bcde
cv. Cuarzo	68 cdef	68 cdef
DMS G x T	13,75	
CV, %	11,5	

Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$).

cv. = Cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; G*T = Interacción genotipo x tratamiento; CV = Coeficiente de variación.

Rendimiento

El rendimiento de arroz (Tabla 4) presentó diferencias significativas entre los tratamientos y entre los genotipos ($P \leq 0,05$), pero no registró diferencias significativas en la interacción T x G. En el tratamiento con RI los genotipos de mayor rendimiento fueron: Quila 208902, cv. Diamante, Quila 186802, y cv. Ámbar. En general el RI obtuvo un rendimiento medio de 6,54 t ha⁻¹ siendo significativamente inferior a RP con 9,43 t ha⁻¹, lo

que representa una disminución de 30,6%. Esto concuerda con Lu et al. (2000) y Patel et al. (2010) quienes determinaron una disminución de 27,5% en rendimiento del arroz en condiciones aeróbicas en relación a inundación permanente. Sin embargo, el cv. Diamante disminuyó el rendimiento en 25,45% y el genotipo Quila 208902 en sólo 18,03%. Este diferencial de rendimiento puede ser explicado por mayor efecto del número de granos por panícula más que por peso de 1000 granos (Peng et al., 2006; Patel et al., 2010).

Tabla 3. Peso de 1.000 granos en genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 3. 1000-grain weight in rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente	Promedio
	g	g	g
Rquila 17	35,8	34,9	35,4 a
cv. Diamante	34,5	35,7	35,1 a
cv. Cuarzo	34,4	34,5	34,5 a
cv. Zafiro	33,8	34,6	34,2 ab
Quila 207105	32,6	33,5	33,1 b
Quila 208902	31,4	31,2	31,3 c
Quila 242101	30,1	31,0	30,6 cd
Quila 186802	29,1	30,5	29,8 d
Quila 225205	29,7	29,7	29,7 d
Quila 213007	27,0	27,3	27,2 e
cv. Ámbar	27,3	27,1	27,2 e
DMS G	3,2		
CV, %	11,3		

Letras distintas en la columna indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$). cv. = Cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; RI = Riego intermitente; RP = Riego permanente; G = Genotipo; CV = Coeficiente de variación.

Tabla 4. Rendimiento en grano de 11 genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 4. Grain yield of rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente	Promedio
	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
cv. Diamante	7,75	10,39	9,07 a
Quila 186802	7,55	10,43	8,99 ab
Quila 208902	7,91	9,65	8,78 ab
cv. Ámbar	7,28	10,11	8,70 abc
cv. Cuarzo	6,64	9,77	8,21 abcd
cv. Zafiro	6,06	9,75	7,91 bcd
Quila 242101	5,63	9,56	7,60 cd
Quila 207105	6,08	9,06	7,58 d
Quila 225205	6,78	8,19	7,49 d
Rquila17	5,51	9,35	7,43 d
Quila 213007	4,78	7,48	6,13 e
Promedio Tratamiento	6,54 A	9,43 B	
DMS G	1,13		
DMS T	0,48		
CV, %	11,3		

Letras distintas en la columna indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$). Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas, entre los tratamientos según test de DMS ($P \leq 0,05$). cv. = Cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; G = Genotipo; T = Tratamiento; CV = Coeficiente de variación.

Calidad industrial

El porcentaje de grano entero (Tabla 5) presentó diferencias significativas entre los tratamientos, genotipos y en la interacción G x T ($P \leq 0,05$). El RI obtuvo un 70% de grano entero en comparación a un 55,8% de RP. La mayoría de los genotipos, con

excepción de Quila 213007, presentaron mayor porcentaje de grano entero con RI, siendo los más destacados Quila 186802 (71,8%), cv. Ámbar (71,8%) y Quila 225205 (71,1%). Esto indica que con el riego intermitente es posible mejorar la calidad industrial del arroz y obtener mejores precios a la cosecha.

Tabla 5. Porcentaje de grano entero en genotipos de arroz, con riego intermitente y riego con inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 5. Whole grain percentage in rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente
	%	%
cv. Diamante	68,1 ab	54,0 df
cv. Ámbar	71,8 a	54,4 de
cv. Zafiro	69,3 ab	60,0 c
Rquila17	70,9 ab	55,8 cde
Quila 186802	71,8 a	44,6 g
Quila 225205	71,1 ab	59,7 cd
Quila 208902	69,2 ab	51,0 f
Quila 213007	69,8 ab	67,2 b
Quila 242101	70,7 ab	57,0 cde
Quila 207105	68,6 ab	55,0 ef
cv. Cuarzo	69,1 ab	54,1 ef
Promedio	70,0 A	55,8 B
DMS G*T	4,31	
CV, %	4,0	

Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$).

cv. = Cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; G*T = Interacción genotipo x tratamiento; CV = Coeficiente de variación.

El análisis de calidad industrial indica que el RI aumentó significativamente el porcentaje de grano entero, independiente del genotipo. Sin embargo, esto no concuerda con los resultados obtenidos por Borrell et al. (1997) quienes determinaron que con RI el porcentaje de grano entero (50,4%) es menor al obtenido con RP (68,9%). Estas inconsistencias pueden ser atribuidas a factores de clima, tipo de suelo, duración del tiempo de drenaje y características del genotipo (Bueno et al., 2010)

Altura de plantas

La altura de las plantas (Tabla 6) presentó diferencias significativas entre los tratamientos, genotipos y en la interacción G x T ($P \leq 0,05$). Las plantas de menor altura se registraron en RI con un promedio de 66,3 cm, mientras que con RP se obtuvo un promedio de 84,5 cm. En la interacción genotipo por tratamiento, RP presentó la mayor altura en el genotipo Quila 186802 con un promedio de 94 cm comparado con 71 cm en RI.

El análisis de la Tabla 6 indica que la altura de planta fue menor en todos los genotipos con RI, lo que según Patel et al. (2010) se debe a limitación en la elongación celular resultando en reducción de la longitud de los internudos.

Precocidad

La precocidad (Tabla 7) presentó diferencias significativas entre los tratamientos y entre los genotipos ($P \leq 0,05$), pero no presentó diferencias significativas en la interacción G x T. El RI presentó mayor precocidad en los 11 genotipos con un período de 75 días y el RP fue menos precoz demorando 91 días. Entre los genotipos, Quila 213007 presentó el mejor comportamiento, con una floración de 50% en 53 días. Los genotipos de alto rendimiento que fueron más precoces bajo RI fueron los cv. Ámbar y Diamante, presentando una floración anticipada en 14 y 16 días, respectivamente, en comparación a RP, debido a que el inicio de primordio y floración se produce con mayor anticipación (Roel et al., 1999).

Tabla 6. Altura de planta en genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente en un suelo Durixerert (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 6. Plant height in rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente
	cm	cm
cv. Diamante	72,6 de	91,6 ab
cv. Ámbar	63,3 fg	71,0 e
cv. Zafiro	66,0 ef	86,6 abc
Rquila17	68,3 ef	92,6 a
Quila 186802	71,0 e	94,0 a
Quila 225205	65,3 ef	80,3 cd
Quila 208902	67,0 ef	89,3 ab
Quila 213007	56,3 g	84,3 bc
Quila 242101	60,6 fg	67,3 ef
Quila 207105	71,0 e	89,6 ab
cv. Cuarzo	67,6 ef	83,0 bc
Promedio	66,3 A	84,5 B
DMS G*T	7,8	
CV, %	6,1	

Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas, según test de DMS ($P \leq 0,05$).
cv.: cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; G*T = Interacción genotipo x tratamiento; CV = Coeficiente de variación.

Tabla 7. Días para 50% de floración en genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente, en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.

Table 7. Days to 50% flowering of rice genotypes with intermittent irrigation and permanent flooding irrigation, in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Genotipo	Riego Intermitente	Riego Permanente	Promedio
	días	días	días
Quila 225205	93	93	93 a
Quila 242101	81	93	87 ab
cv. Diamante	78	94	86 ab
cv. Ámbar	78	92	85 b
Quila 207105	75	94	85 b
Quila 208902	78	90	84 b
cv. Cuarzo	74	93	84 b
cv. Zafiro	70	93	82 b
Rquila17	71	93	82 b
Quila 186802	75	88	82 b
Quila 213007	53	78	66 c
Promedio Tratamiento	75 A	91 B	
DMS G	7,40		
DMS T	3,15		
CV, %	7,00		

Letras distintas en la columna indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$). Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas según test de DMS ($P \leq 0,05$).

cv. = Cultivar; DMS = Diferencia mínima significativa; G = Genotipo; T = tratamiento; CV = Coeficiente de variación.

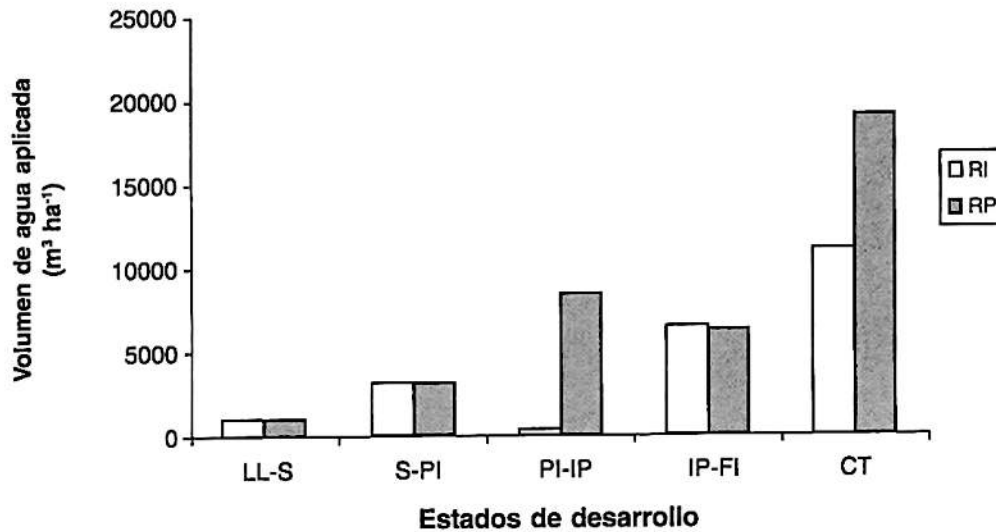
Agua aplicada

Los volúmenes de agua aplicados en función de los estados de desarrollo del cultivo (Fig. 1) fueron $1.037 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ desde el llenado de cuadros a plántula, y $3.214 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en el período de plántula a siembra. En el estado de plántula a inicio de primordio sólo se aplicaron $561 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en el RI y $8.488 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en RP, representado la mayor diferencia entre ambos tratamientos hídricos. Desde

inicio de primordio floral a floración se aplicaron $6.429 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con RI y $6.394 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con RP. El volumen total aplicado en RI fue $11.287 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y en RP $19.133 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, disminuyendo el consumo de agua en $7.927 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ lo que representa un ahorro de 41% de agua en relación al manejo tradicional por RP. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Tabbal et al. (2002) de $12.227 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para RI y $20.280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para RP, lo que significa un ahorro de 39,5% del agua.

Figura 1. Volumen de agua aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en diferentes estados de desarrollo del cultivo de arroz en un suelo Durixererts (serie Quella), Parral, Chile.

Figure 1. Applied water volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) in different growth stages of rice in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.



LL-S = Llenado a Siembra; S-PI = Siembra a Plántula; PI-IP = Plántula a Inicio de Primordio; IP-FI = Inicio de primordio a Floración; CT = Consumo total de agua; RI = Riego intermitente; RP = Riego por inundación permanente.

Eficiencia de uso de agua (EUA)

La eficiencia promedio del uso del agua en los once genotipos presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 8) y fue mayor en RI

con $0,726 \text{ kg m}^{-3}$ vs. $0,523 \text{ kg m}^{-3}$ en RP. Tabbal et al. (2002) y Lu et al. (2000) determinaron que la mayor EUA con RI se debe al buen rendimiento de grano obtenido con un volumen de agua menor en comparación a RP.

Tabla 8. Eficiencia de uso de agua (kg m^{-3}) promedio de once genotipos de arroz, con riego intermitente y riego por inundación permanente en un suelo Durixererts (Serie Quella), Parral, Chile.
Table 8. Water use efficiency (kg m^{-3}) average of eleven rice genotypes under intermittent irrigation and permanent flooding irrigation in a Durixererts soil (Quella Serie), Parral, Chile.

Parámetro	RI	RP
Rendimiento (t ha^{-1})	6,54	9,43
Agua aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	11.278	19.133
EUA (kg m^{-3})	0,726 A	0,523 B
DMS T	0,055	
CV, %	15,9	

Letras distintas en la fila indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos según test de DMS ($P \leq 0,05$).

DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el riego intermitente disminuyó las panículas por m², sin afectar granos por panícula y peso de 1.000 granos, causando una disminución del 30,6% en el rendimiento promedio. Sin embargo, se obtuvo un aumento del 14,2% en el porcentaje de grano entero y un ahorro de agua de un 41% respecto a riego por inundación permanente. Los genotipos de mejor comportamiento en RI fueron el cv. Diamante y Quila 208902, con disminución en rendimiento del 25,45 y 18,03%, respectivamente. La EUA fue mayor en RI con 0,726 kg m⁻³ en relación a 0,523 kg m⁻³ en el riego permanente. Se concluyó que el riego intermitente permite disminuir el consumo de agua del arroz y puede ser una estrategia a aplicar en situaciones de escasez hídrica y con genotipos adaptados. Se requiere más investigación en este tema.

BIBLIOGRAFIA

- Alberto, M.C.R., R. Wassmann, T. Hirano, A. Miyata, R. Hatano, A. Kumar, A. Padre, and M. Amante. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. *Agric. Water Manage.* 98:1417-1430.
- Anbumozhi, V., E. Yamaji, and T. Tabuchi. 1998. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agric. Water Manage.* 37:241-253
- Arora, V.K. 2006. Application of a rice growth and water balance model in an irrigated semi-arid subtropical environment. *Agric. Water Manage.* 83:51-57.
- Belder, P., B. Bouman, R. Cabangon, L. Guoan, E. Quilang, L. Yuanhua, J. Spiertz, and T. Tuong. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agric. Water Manage.* 65:193-210.
- Borrell, A., A. Garside, and S. Fukai. 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Res.* 52:231-248.
- Bouman, B. 2001. Water-efficient management strategies in rice production. *Int. Rice Res. Notes* 26:17-22.
- Bouman, B., and T. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage.* 49:11-30.
- Bueno, C., M. Bucourt, N. Kobayashi, K. Inubushi, and T. Lafarge. 2010. Water productivity of contrasting rice genotypes grown under water-saving conditions in the tropics and investigation of morphological traits for adaptation. *Agric. Water Manage.* 98:241-250.
- Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Areas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Dunn, B.W., y D.S. Gaydon. 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.
- Hernaiz, S. y J.R. Alvarado. 2007. Manejo del agua en el arrozal. p. 49-68. In J.R. Alvarado (ed.) *Arroz, Manejo Tecnológico*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Humphreys E., L.G. Lewin, S.Khan, H.G. Beecher, J.M. Lacy, J.A. Thompson, G.D. Batten, A. Brown, C.A. Rusell, E.W. Christen, and B.W. Dunn. 2006. Integration of approaches to increasing water use efficiency in rice-based systems in southeast Australia. *Field Crops Res.* 97:19-33
- IRRI. 1992. IRRISTAT. Users Manual, Version 3.1. 191 p. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines.
- Kato, Y., M. Okami, and K. Katsura. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Res.* 113:328-324.
- Khepar, S., A. Yadav, S. Sondhi, and M. Siag. 2000. Water balance model for paddy fields under intermittent irrigation practices. *Irrigat. Sci.* 19:199-208.
- Lu, J., T. Ookawa, and T. Hirasawa. 2000. The effects of irrigation regimes on the water use, dry matter production and physiological responses of paddy rice. *Plant Soil* 223:207-216.
- Mishra, H.S., T.R. Rathore, and R.C. Pant. 1990. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution, irrigation requirement and yield of rice in Mollisol of the Tarai region. *Agric. Water Manage.* 18:231-241
- Patel, D.P., A. Das, G.C. Munda, P.K. Ghosh, J.S. Bordoloi, and M. Kumar. 2010. Evaluation of yield and physiological attributes of high-yield in rice varieties under aerobic and flood-irrigated management practices in mid-hills ecosystem. *Agric. Water Manage.* 97:1269-1276
- Peng, S., B. Bouman, R.M. Visperas, A. Castañeda, L. Nie, and H-K. Park. 2006. Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: Agronomic performance in an eight-season experiment. *Field Crops Res.* 96:252-259.
- Roel, A., J.L. Heilmanand, and G.N. McCauley. 1999. Water use and plant response in two rice irrigation methods. *Agric. Water Manage.*

- 39:35-46.
- Salgado, L., y A. Valenzuela. 1992. Aforos de aguas de regadío. Boletín de Extensión N° 3. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.
- Stolpe, N. 2006. Descripciones de los principales suelos de la Octava Región de Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman, S.I. Bhuiyan, E.B. Sibayan, and M.A. Sattar. 2002. On farm strategies for reducing water input in irrigated rice case studies in the Phillippines. *Agric. Water Manage.* 56:93-112.
- Tripathi, R.P., H.S. Kushwaha, and R.K. Mishra. 1986. Irrigation requirements of rice under shallow water table. *Agric. Water Manage.* 12:127-136.