

NIVELACION LÁSER Y SU EFECTO EN EL MANEJO DEL AGUA Y RÉGIMEN TÉRMICO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.).

LASER LAND LEVELING EFFECT ON WATER MANAGEMENT AND THERMAL REGIME IN RICE (*Oryza sativa* L.)

Celerino Quezada¹, Santiago Hernaíz², Marco Sandoval¹, Manuel Faúndez³, Jorge Campos⁴, Verónica Pérez¹, Francisco Ferrada¹

¹ Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

* Autor para correspondencia E-mail: cequezad@udec.cl

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

³ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

⁴ Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile

RESUMEN

La nivelación láser de suelos es una técnica que presenta un gran potencial para ahorro de agua y obtener altos rendimientos en la producción de arroz. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la nivelación láser en el manejo del agua y régimen térmico del cultivo. El diseño aplicado fue completamente al azar con dos tratamientos o paquetes tecnológicos: nivelación tradicional-siembra avión y nivelación láser-siembra máquina. Se evaluó el desnivel de la superficie del suelo, altura de agua, temperatura del agua y temperatura de la canopia. Los resultados muestran que el sistema de nivelación láser con dos años de manejo presentó desniveles de 20 mm en la superficie del suelo y una pendiente de 0,28%. Las alturas de agua fueron más uniformes en nivelación láser durante todo el período de desarrollo del cultivo. La uniformidad de distribución (UD) presentó diferencias significativas entre sistemas de nivelación, siendo superior en nivelación láser. El régimen térmico fue adecuado para la protección de la planta en ambos paquetes tecnológicos, ya que la temperatura de canopia fue mayor que la temperatura del aire, especialmente en los períodos fenológicos de fin de macolla y floración. Esta investigación demuestra que la nivelación láser mejora el manejo del agua y disminuye la susceptibilidad del arroz a bajas temperaturas.

Palabras clave: levantamiento topográfico, altura de agua, temperatura canopia, uniformidad de distribución.

ABSTRACT

Laser land leveling is a technique that offers great potential for water savings and higher yields in rice production. The objective of this study was to evaluate the effect of laser land leveling on water management and thermal regime in rice. The experimental design was completely randomized with two treatments: traditional land leveling-sowing by aircraft and laser land leveling- mechanical sowing. Unevenness of the soil surface, water depth, water temperature and canopy temperature were measured. The results showed that laser land leveling with two years management presented unevenness of 20 mm on soil surface and a slope of 0.28%. Water depth was more uniform with land laser leveling during all the growing season of the rice crop. Distribution uniformity (DU) showed significant difference, presenting higher level under laser land leveling. The thermal regime was

adequate for plant protection under both technologies; the canopy temperature was higher than the air temperature, especially in the phenological stages of end of tillering and flowering. These results showed that laser land leveling improves water management and decreases the susceptibility of rice plants to low temperatures.

Key words: topographic survey, water depth, canopy temperature, distribution uniformity.

INTRODUCCIÓN

El arroz se cultiva en condiciones de inundación permanente y el manejo del agua se orienta a mantener una altura de agua uniforme durante el estado de desarrollo del cultivo (Anbumozhi et al., 1998). La nivelación del suelo es una tecnología que permite mantener una lámina de agua a la misma profundidad, y modificarla de acuerdo a los estados de desarrollo del cultivo (Jat et al., 2006), ya que las irregularidades del terreno pueden causar diferencias en las alturas de agua, lo que limita el crecimiento de las plantas y el rendimiento (Anbumozhi et al., 1998).

La nivelación tradicional se realiza mediante curvas de nivel trazadas en el terreno con diferencias de altura de 5 a 10 cm, donde se construyen los pretilles mediante tracción animal, pero presenta limitaciones como el excesivo número de pretilles por hectárea, manejo deficiente de las alturas de agua y deficiente control de malezas (Alvarado y Hernáiz, 2007). En la actualidad, los agricultores arroceros están bajo considerable presión para encontrar alternativas que permitan aumentar la productividad del agua y usar nuevas tecnologías para disminuir el consumo de agua (Sudhir-Yadav et al., 2011). A futuro, el mejoramiento de la tolerancia al frío de las nuevas variedades será un factor importante para reducir la duración de la inundación, de modo que la protección de la lámina de agua por bajas temperaturas no sea tan prolongada, y así reducir el consumo de agua de riego (Humphreys et al., 2006).

La nivelación láser es un proceso mecánico de movimiento de suelo, que mediante labores de corte o relleno, crea una pendiente uniforme de 0 a 0,2% para mantener un nivel de agua uniforme entre 10 y 20 cm (Walker et al., 2003). Esta tecnología hace uso de un emisor láser y un tractor de alta potencia con pala niveladora equipada con receptor láser, que intercepta la señal del emisor abriendo o cerrando la válvula de control hidráulico, para bajar o subir la pala niveladora, de modo que el suelo pueda ser movido por corte o relleno para crear la pendiente deseada (Jat et al., 2006; Acevedo et al., 2007).

La nivelación láser mejora el manejo del agua, permitiendo el establecimiento de una población uniforme de plantas de arroz (McKenzie et al., 1994). Sin embargo, las bajas temperaturas son el mayor estrés ambiental del arroz y principal

causa de pérdida de rendimientos, ya que afecta el crecimiento y desarrollo desde germinación a llenado de grano (Weng-zhong et al., 2007; Guozhen et al., 2009; Ye et al., 2009). El arroz inundado puede estar sometido a temperaturas del agua sub-óptimas en cualquier estado del ciclo del cultivo (Shimono et al., 2002), produciendo esterilidad de la espiguilla del arroz por bajas temperaturas durante el desarrollo de la panícula (Shimono et al., 2007).

El manejo del agua está directamente relacionado con el rendimiento del cultivo, influyendo en la densidad de plantas por hectárea, número de panículas por m², número de granos por panícula y calidad de los granos, ya que actúa como regulador térmico, transportador de nutrientes y oxígeno (Bouman y Tuong, 2001). Además, es fundamental en el control de malezas, ya que la competencia con el cultivo puede disminuir los rendimientos de grano hasta en un 60% (Namuco et al., 2009).

La nivelación láser es la más efectiva innovación para mantener altura de agua uniformes, disminuir el consumo de agua, obtener máxima producción en arroz (Talpur et al., 2011) y aumentar la eficiencia de uso del agua (Humphreys et al., 2006). Sin embargo, es necesario evaluar en condiciones de campo los efectos en el comportamiento del cultivo del arroz. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la nivelación láser en el desnivel del suelo, altura de agua y régimen térmico en el cultivo del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el Fundo Cuñao, ubicado en la comuna de Retiro (35°54'59" lat. S, y 71°45'38" long. O, 134 m.s.n.m.), provincia de Linares, Región del Maule, Chile, durante la temporada 2008-2009.

El sitio experimental está ubicado en el agroclima Talca, que corresponde a un clima mediterráneo marino con precipitación anual entre 900 a 1000 mm. La temperatura media anual es de 14,9°C, con una media máxima del mes más cálido (enero) de 30,8°C y una mínima media del mes más frío (julio) de 3,8°C. El periodo libre de heladas es de 7 meses, desde octubre a abril. La evapotranspiración potencial anual es de 840 mm, y el déficit hídrico entre diciembre y marzo es de

440 mm (Del Pozo y del Canto, 1999).

El suelo es clasificado como Aquic Haploxeralfs (Serie Parral), de textura franco arcillosa y color pardo rojizo oscuro en superficie, a textura arcillosa y color pardo rojizo oscuro en profundidad. Suelo sedimentario, de topografía plana a suavemente ondulada, derivado de toba volcánica, en posición de terraza remanente, profundidad media entre 40 y 70 cm, drenaje moderado, permeabilidad moderadamente lenta y escurrimiento superficial muy lento (Stolpe, 2006).

Manejo del cultivo

La siembra con nivelación láser se efectuó en la segunda quincena de septiembre de 2008, con una máquina sembradora John Deere, en seco y con riego posterior, usando semilla certificada variedad Diamante-INIA en dosis de 140 kg ha⁻¹. En nivelación tradicional se sembró con avión, durante la primera quincena de octubre del mismo año, con semilla certificada Diamante-INIA, en suelo inundado, con dosis de 150 kg ha⁻¹. La fertilización se determinó en base a análisis químico de suelos, aplicando a la siembra 300 kg ha⁻¹ de mezcla (15% N; 15% P; 25% K; 5% Ca; 0,4% B; 0,4% Zn) y a la macolla 100 kg ha⁻¹ de urea. El control de malezas se realizó a inicios de macolla, aplicando Penoxsulam 48 g i.a. ha⁻¹ (Ricer 200 cc ha⁻¹) y MCPA 525 g i.a. ha⁻¹ (MCPA 750SL 0,7 L ha⁻¹).

Diseño experimental

El diseño aplicado fue completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos correspondieron a dos paquetes tecnológicos: nivelación tradicional-siembra avión y nivelación láser-siembra máquina. La superficie de las parcelas experimentales fue 4000 m² en nivelación tradicional y de 10.000 m² (50 x 200 m) en nivelación láser.

Evaluaciones

Nivelación de suelos

La evaluación de la nivelación de suelos en ambos sistemas se realizó mediante un levantamiento altimétrico utilizando un nivel topográfico (Leica, NA820, Leica AG, Heerdegreb, Switzerland). Las curvas de nivel se trazaron cada 5 cm mediante el programa Surfer (Torres, 1999).

Temperaturas

Se evaluó la temperatura de la canopia, del agua y del aire. La temperatura de la canopia y del agua se determinó cada 20 días en 20 puntos al azar por repetición, utilizando un termómetro infrarrojo (IR 42530, Extech Instruments Corporation, Washing-

ton, USA). La temperatura del aire se obtuvo en la Dirección General de Aguas, Parral (Departamento de Hidrología, Subdepartamento de Meteorología y Nieve, Estación: 07345001, altitud 175 m.s.n.m., lat. S 36°11'16", long. O 71°49'42").

Altura de agua

La altura de agua se midió por repetición cada 25 días en 20 puntos, utilizando una regla metálica graduada. Además se determinó la uniformidad de distribución (UD) de las alturas de agua (Burt et al., 1997) utilizando la siguiente relación:

$$UD = [h_{25\%} / h] \times 100$$

donde: UD = uniformidad de distribución; $h_{25\%}$ = altura de agua promedio del cuarto menor; h = altura de agua promedio.

Análisis estadístico

Los resultados de altura de agua y temperatura fueron sometidos a la prueba de "t" Student, con un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0,05$). Para los datos de uniformidad de distribución se realizó análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0,05$), test de normalidad de Shapiro-Wilks modificado y para la comparación de medias se utilizó el test de Duncan con un 95% de nivel de confianza ($P \leq 0,05$) (Infostat, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivelación de suelos

Los resultados del levantamiento topográfico (Fig. 1 y 2) muestran que la nivelación láser en su segundo año de manejo presenta una mayor uniformidad de la pendiente del suelo en comparación a nivelación tradicional. Al analizar las curvas de nivel, es posible apreciar que el desnivel del terreno es de 20 mm con pendiente media de 0,28% en nivelación láser, lo que concuerda con Talpur et al. (2011), quienes determinaron que el desnivel en nivelación láser es de ± 2 cm mejorando la eficiencia de distribución. Por el contrario, el desnivel de 20 cm y la pendiente media de 1,28% en nivelación tradicional, significa una gran variación de las alturas de agua durante los períodos de desarrollo del cultivo. Al respecto, Rickman (2002) y Walker et al. (2003) establecieron que en nivelación láser una pendiente del 0 a 0,2% es adecuada para un óptimo flujo de agua, lo que facilita una distribución más uniforme y una mayor eficiencia de uso del agua de riego (Brye et al., 2003)

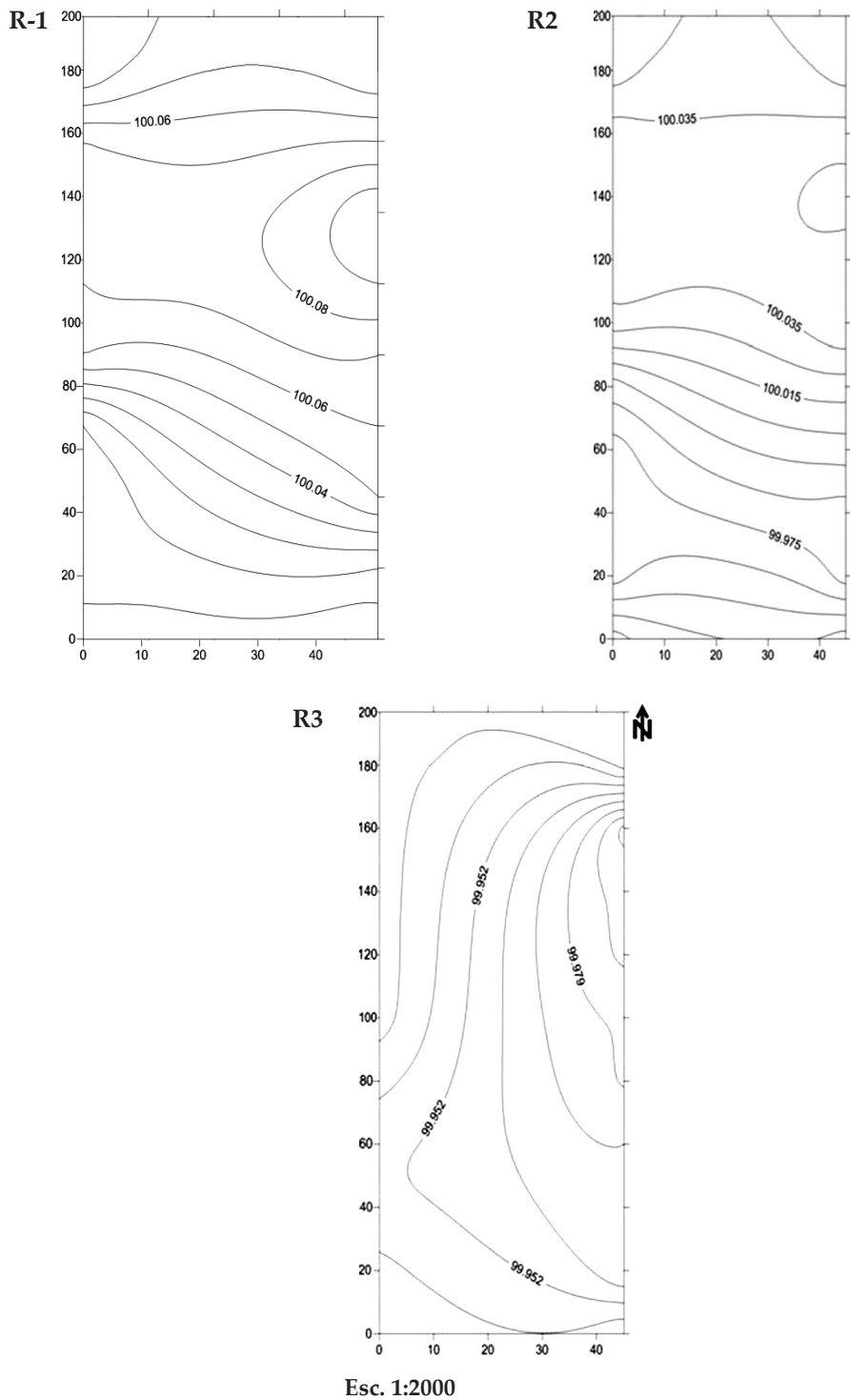


Fig. 1. Levantamiento topográfico en las tres repeticiones del sistema de nivelación láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 1. Topographical survey in three replicates of laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs (Parral Series), Retiro, Chile.

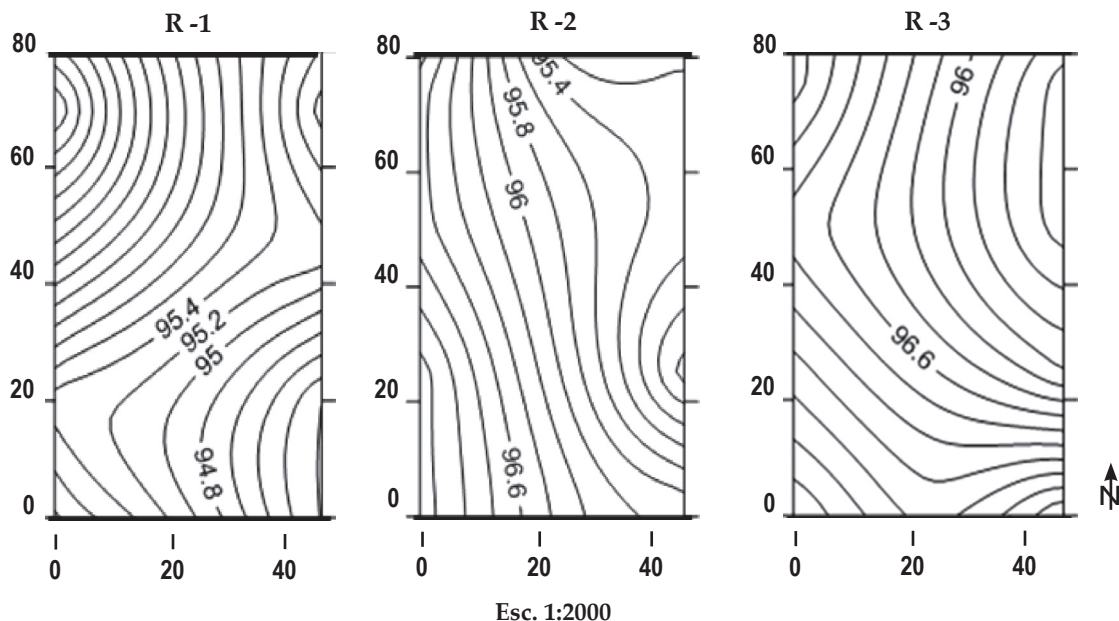


Fig. 2. Levantamiento topográfico en las tres repeticiones del sistema de nivelación tradicional en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 2. Topographical survey in three replicates of traditional land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile

Altura de agua

La nivelación tradicional presenta una mayor variación de las alturas de agua, entre 5 y 30 cm en las etapas vegetativa, reproductiva y madurez del cultivo, en cambio en nivelación láser varía entre 10 y 20 cm (Fig. 3). Por su parte, las alturas de agua promedio durante toda la temporada para nive-

lación láser y tradicional fueron de 14,01 y 17,22 cm, respectivamente. Al respecto, Ambumozhi et al. (1998) indican que las plantas de arroz tienen la habilidad para sobrevivir mejor en láminas de agua de poca altura que más profundas, determinando una altura de agua óptima de 9 cm para un buen crecimiento y producción del cultivo.

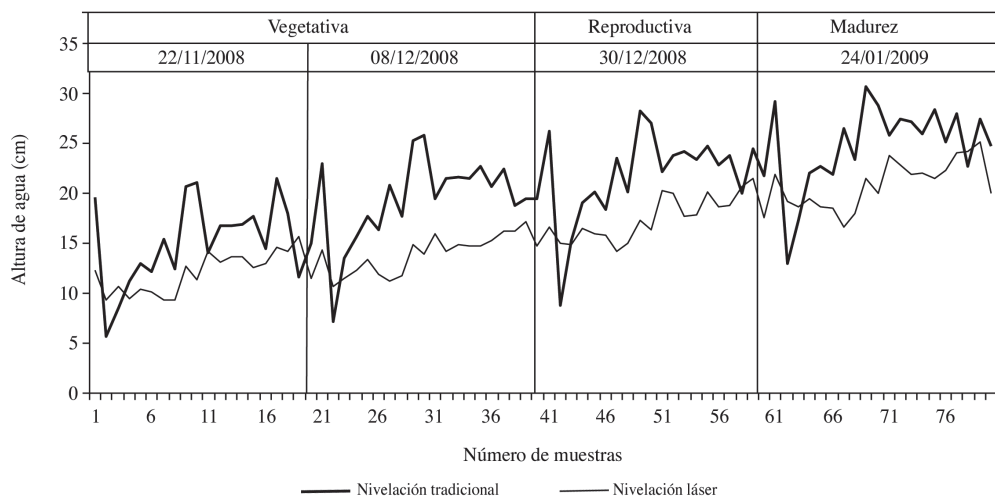


Fig. 3. Variación de alturas de agua en diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz bajo dos sistemas de nivelación en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 3. Variation of water depth in different phenological stages of crop rice under two land leveling systems in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Etapas vegetativa: germinación, plántula y macolla. **Etapas reproductiva:** primordio floral, elongación, desarrollo de panícula, floración (50%). **Etapas de madurez:** grano lechoso, grano pastoso, madurez.

Las alturas de agua (Tabla 1) fueron superiores en nivelación tradicional pero con una mayor desviación estándar, y presentaron diferencias significativas con nivelación láser. Sin embargo, el aspecto clave en el manejo del agua es la uniformidad de la altura de agua, ya que permite la protección de la planta, mayor eficiencia de uso del nitrógeno y el control de malezas. Las dife-

rencias de alturas de agua entre los sistemas de nivelación se debe a que con la tecnología láser, la diferencia de cotas en los cuadros arroceros es de 20 mm, es decir que el suelo tiene la misma cota en toda su superficie, mientras que en nivelación tradicional la diferencia de cotas alcanza hasta 20 cm, lo que representa diferencias de altura importantes dentro del mismo cuadro (Fig. 2).

Tabla 1. Altura de agua con nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Table 1. Water depth under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Estados fenológicos	Altura de agua, cm	
	Tradicional	Láser
Emergencia	14,98 ± 3,90 a	12,06 ± 1,98 b
Macolla	19,40 ± 4,20 a	13,97 ± 1,87 b
Fin macolla	21,73 ± 4,32 a	17,55 ± 2,17 b
Floración	24,72 ± 4,17 a	21,01 ± 2,35 b
Madurez	5,20 ± 2,20 a	3,33 ± 1,78 b

Medias ± desviación estándar con letras distintas en filas indican diferencias significativas según prueba "t" Student ($P \leq 0,05$).

Por otra parte, en nivelación láser hay un mejor control de la altura de agua en comparación con la nivelación tradicional, la que aumenta a medida que se desarrolla el cultivo (Tabla 1). Además, la desviación estándar en nivelación láser es menor que en nivelación tradicional, lo que indica una mayor uniformidad en las alturas de agua durante el período de crecimiento del cultivo y de esta forma cumple en mejor grado con la protección de la planta.

El análisis de la UD determinó diferencias sig-

nificativas entre los dos paquetes tecnológicos ($P \leq 0,05$) con valores entre 50,29 a 74,68% para nivelación tradicional y 67,12 a 93,51% para nivelación láser. Respecto de las fechas de evaluación, la nivelación láser no presentó diferencias significativas ($P \geq 0,05$) lo que indica alturas de agua uniformes durante toda la temporada. En cambio, en nivelación tradicional la UD fue significativamente diferente ($P \leq 0,05$), indicando una alta variabilidad de alturas de agua durante el desarrollo del cultivo (Fig. 4).

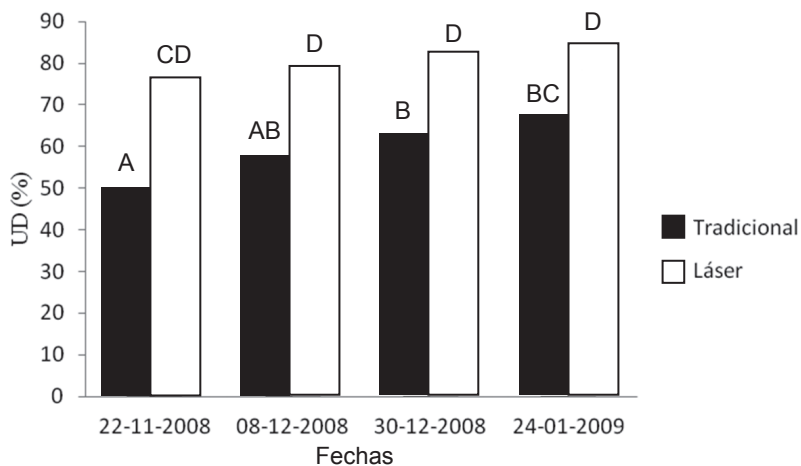


Fig. 4. Uniformidad de distribución (UD) de altura de agua en nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 4. Distribution uniformity (DU) of water depth under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Temperatura de la canopia

La temperatura de la canopia refleja un intercambio de energía entre la superficie del cultivo y la atmósfera, que está determinada por el flujo de calor sensible y calor latente en el continuo suelo-planta-atmósfera (Wen-zhong et al., 2007). La variación de la temperatura de la canopia en función del tipo de nivelación (Fig. 5) presenta diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en macolla, fin de macolla y madurez. En floración no existen diferencias significativas ($P \geq 0,05$) en la temperatura de la canopia, aunque los valores más bajos se registraron en esta etapa. Al respecto, Wen-zhong et al. (2007) determinaron que la temperatura de la canopia fue más baja que la temperatura del aire en el estado de floración bajo diferentes contenidos

de agua del suelo, lo que afectó significativamente la temperatura de la canopia, resultando en menor número de granos llenos y menor rendimiento.

No obstante lo anterior, con nivelación tradicional se presentan mejores temperaturas de canopia en macolla y madurez, por efectos de temperatura del aire y de la época del corte del agua, ya que en nivelación tradicional esta labor ocurre más tardíamente que en nivelación láser. Sin embargo, en ambos sistemas de nivelación, la temperatura de la canopia es mayor a la temperatura media del aire, lo que indicaría que la altura de agua es un factor importante para proteger a la planta de las bajas temperaturas, especialmente en los períodos de fines de macolla y floración

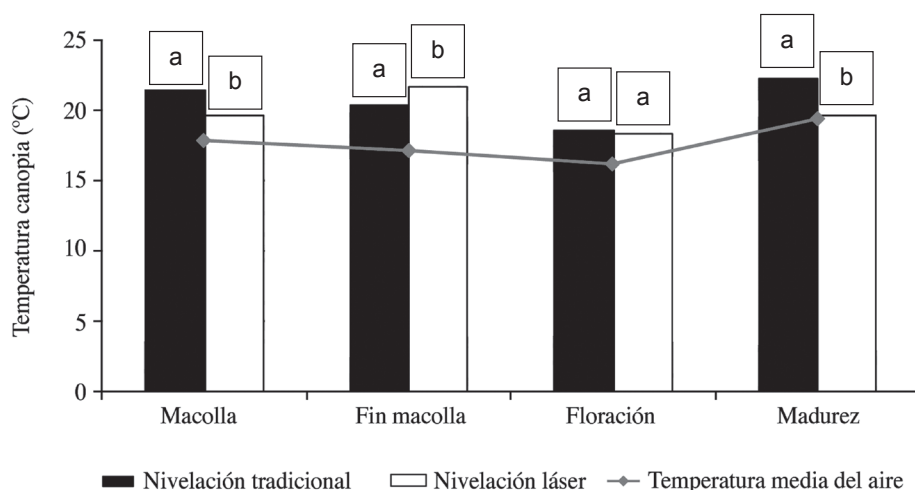


Fig. 5. Variación de la temperatura de la canopia en diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz con nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 5. Variation of canopy temperature in different phenological stages of crop rice under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Letras minúsculas distintas por estado fenológico indican diferencia significativa según prueba "t" Student ($P \leq 0,05$).

Temperatura del agua

La temperatura del agua (Tabla 2), permite apreciar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos en todos los estados fenológicos, excepto en la etapa de floración. La temperatura del agua en nivelación láser es mayor en emergencia y floración. Al respecto, Shimono et al. (2002) señalan que una pequeña diferencia en temperatura del agua afecta la producción de materia seca en todo el período del cultivo, mientras que el rendimiento de grano es más severamente reducido

por baja temperatura en el período reproductivo.

Las temperaturas más bajas se registraron en la etapa de floración y madurez, lo que no coincide con Lu et al. (2007) quienes expresan que la temperatura óptima para el arroz es 26,1–26,6°C, y el límite inferior de temperatura adecuada es 22,5–23,3°C para la floración de la panoja. En la emergencia (Fig. 6) la temperatura del agua fue mayor en nivelación láser, esto debido a una menor altura de agua (Tabla 1). Para la etapa floración, no se presentan diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos.

Tabla 2. Temperatura del agua en diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz con nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Table 2. Water temperature in different phenological stages of crop rice under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Estados fenológicos	Temperatura del agua (°C)	
	Tradicional	Láser
Emergencia	21,59 ± 0,63 b	24,16 ± 1,62 a
Macolla	24,30 ± 1,13 a	20,99 ± 0,97 b
Fin macolla	23,61 ± 0,61 a	21,52 ± 1,12 b
Floración	17,62 ± 0,38 a	17,90 ± 0,71 a
Maduración	18,08 ± 0,87 a	15,99 ± 0,99 b

Medias ± desviación estándar con letras distintas en filas indican diferencia significativa según prueba "t" Student ($P \leq 0.05$).

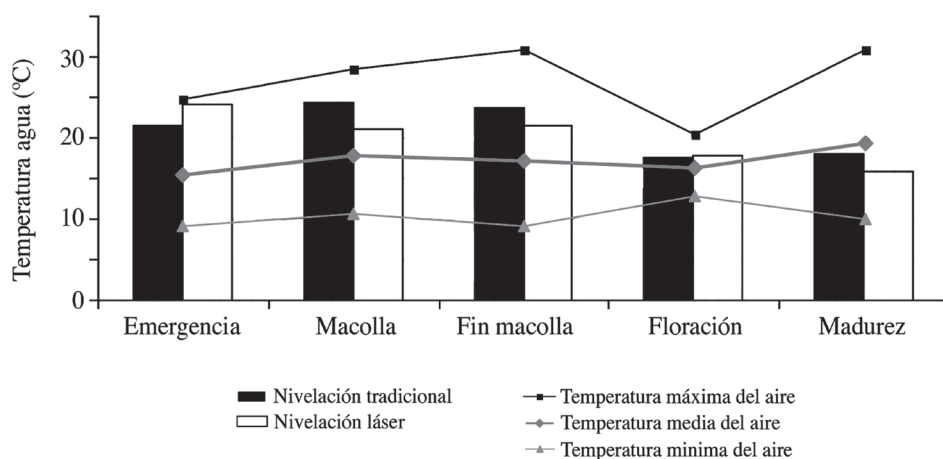


Fig. 6. Variación de la temperatura del agua en diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz con nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig. 6. Variation of water temperature in different phenological stages of crop rice under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

Por su parte, Shimono et al. (2007) demostraron que bajas temperaturas del agua antes de iniciación de panícula pueden aumentar la magnitud de la esterilidad inducida por baja temperatura.

En la mayoría de los casos, la temperatura del agua es mayor que la del aire (Shimono et al., 2007) y a medida que se aumenta la profundidad de la misma, se hace mayor la dependencia del crecimiento de la panícula de la temperatura del aire. Así, cuando la temperatura del aire desciende por debajo del nivel crítico, aumentando la profundidad del agua hasta 15 o 20 cm durante el estado de meiosis, se protegerá la planta contra la esterilidad que puede causar la baja temperatura del aire. En todo caso, la temperatura de la canopia y del agua son elementos protectores de la planta, porque el agua conserva energía que libera

en el momento en que baja la temperatura ambiental (Alvarado y Hernaíz, 2007)

La Fig. 7 muestra la relación entre altura y temperatura de agua con nivelación tradicional y láser en las distintas etapas fenológicas del cultivo, siendo posible observar que la temperatura y altura de agua en nivelación láser es más uniforme en comparación con nivelación tradicional. Sin embargo, en la etapa de floración se registra una baja de la temperatura en ambos sistemas, lo que puede estar asociado a la disminución de la temperatura ambiental.

CONCLUSIONES

El paquete tecnológico aplicado que incluye sistema de nivelación láser con dos años de manejo

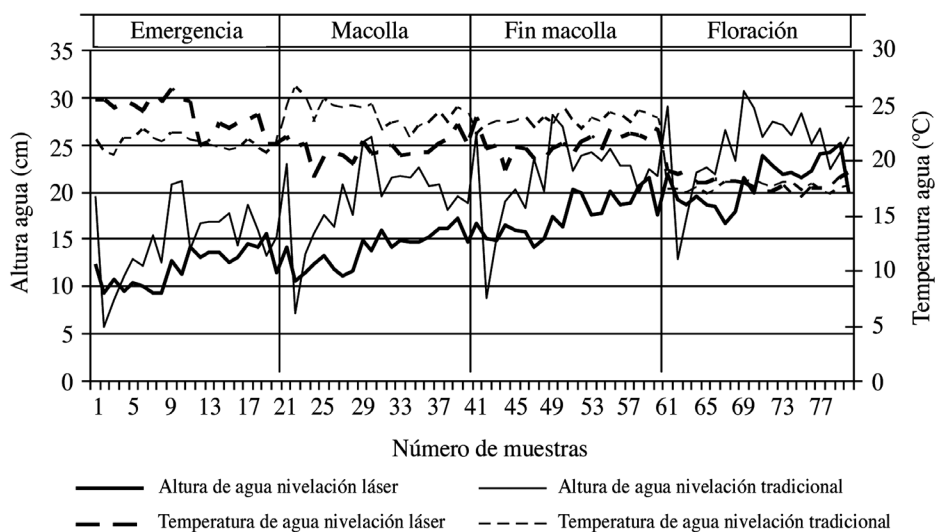


Fig. 7. Relación entre altura y temperatura del agua en diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz con nivelación tradicional y láser en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral), Retiro, Chile.

Fig 7. Relationship between water depth and water temperature in different phenological stages of crop rice under traditional and laser land leveling in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series), Retiro, Chile.

presentó desniveles de 20 mm de la superficie del suelo, pendiente del 0,28% y alturas de agua más uniformes durante todo el período de desarrollo del cultivo. La UD fue significativamente diferente entre sistemas de nivelación, siendo superior en nivelación láser. El régimen térmico fue adecuado para la protección de la planta en ambos paquetes tecnológicos, ya que la temperatura de canopia fue mayor que la temperatura del aire, especialmente en los períodos fenológicos de fin de macolla y floración. Estos resultados demuestran que la nivelación láser es una tecnología que mejora el manejo del agua y disminuye la susceptibilidad del arroz a bajas temperaturas.

LITERATURA CITADA

Acevedo, R., R. Mutter, P. Tobar, M. Toro, y M. Zerené. 2007. Conceptos de diseño y acondicionamiento de suelos arroceros mediante tecnología láser y desarrollo de herramientas para el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo del arroz. Fundación Chile - Innova Chile. Corfo, Santiago, Chile. 52 p.

Alvarado, J., y S. Hernaiz. 2007. Manejo del agua en el arrozal. p. 49-57. En J. Alvarado (ed.). Arroz : manejo tecnológico. Boletín INIA N° 162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

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(3):241-253.

Brye, K.R., N.A. Slaton, M.C. Savin, R.J. Norman, and D. Miller. 2003. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(5):1405-1417.

Bouman, B., and T. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage.* 49(1):11-30.

Burt, C.M., A.J. Clemmens, T.S. Strelkoff, K.H. Solomon, R.D. Bilesner, L.A. Hardy, T.A. Howell, and D.E. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *J. Irrig. and Drain. Eng.* 123(6):423-442.

Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. Serie Quilamapu N° 113. INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.

Guo-zhen, Z., L. Ji-xin, Y. Sea-jun, Y. Jing-doo, L. Xin-hua, S. Zhen-xi, S. Rong,, J. Cong, and D.Lu-yuan. 2009. Effect of cold water irrigation on grain quality traits in japonica rice varieties from Yunnan Province, China. *Rice Science* 16(3):201-209.

Humphreys, E., L.G. Lewin, S. Khan, H.G. Beecher, J.M. Lacy, J.A. Thompson, G.D. Batten, A. Brown, C.A. Russell, E.W. Christen, and B.W. Dunn. 2006. Integration of approaches to increasing water use efficiency in rice-ba-

- sed systems in southeast Australia. *Field Crops Res.* 9:19-33.
- INFOSTAT. 2008. Infostat. Software estadístico. Manual del usuario. Version 2008. Grupo Infostat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Jat, M.L., P. Chandna, R. Gupta, S.K. Sharma, and M.A. Gill. 2006. Laser land leveling: a precursor technology for resource conservation. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains. Technical Bulletin 7. New Delhi, India. 48 p.
- Lu, C-G., J.-S. Zou, N. Hu, and K.-M. Yao. 2007. Correlation and regressive model between spikelet fertilized rate and temperature in inter-subspecific hybrid rice. *Rice Science* 14(2):125-134.
- McKenzie, K.S., C.W. Johnson, S.T. Tseng, J.J. Oster, and D.M. Brandon. 1994. Breeding improved rice cultivars for temperate regions: a case study. *Aust. J. Exp. Agric.* 34:897-905.
- Namuco, O.O., J.E. Cairns, and D.E. Johnson. 2009. Investigating early vigour in Upland rice (*Oryza sativa* L.): Part I. Seedling growth and grain yield in competition with weeds. *Field Crops Res.* 113:197-206.
- Rickman, J.F. 2002. Manual for laser land leveling. International Rice Research Institute, New Delhi, India.
- Shimono, H., M. Okada, E.Kanda, and I. Arakawa. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Res.* 101:221-231.
- Shimono, H., T. Hasegawa, and K. Iwama. 2002. Response of growth and grain yield in paddy rice to cool water at different growth stages. *Field Crops Res.* 73:67-79.
- Stolpe, N. 2006. Descripciones principales suelos de la VIII Región de Chile. Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Sudhir-Yadav, E., S.S. Humphreys, S.S.Kukal, G. Gill, and R. Rangarajan. 2011. Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice. Part 2: Water balance and water productivity. *Field Crops Res.* 120:123-132.
- Talpur, M.A., Changying, Ji, S.A. Junejo, T. Guangzhao, A.A. Tagar, and F.A. Chandio. 2011. A review on the enhancement of rice production in paddy field with minimum input of water. *African J. Agric. Res* 6(33):6776-6779.
- Torres, E. 1999. Manual Cómo elaborar gráficos usando el programa Surfer® para Windows®. Facultad de Ciencias Marinas, Laboratorio de Oceanografía Física, Universidad de Colima, Colombia.
- Walker, T., W. Kingery, J. Street, M. Cox, J. Oldham, P. Gerard, and F. Xiang-Han. 2003. Rice yield and soil chemical properties as affected by precision land leveling in alluvial soils. *Agron. J.* 95(6):1483-1488.
- Ye, C., S. Fukai, I. Godwin, R. Reinke, P. Snell, J. Schiller, and J. Basnayake. 2009. Cold tolerance in rice varieties at different growth stage. *Crop Pasture Sci.* 60:328-338.
- Wen-zhong, Z., H. Ya-dong, and D. Hong-juan. 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science* 14(1):67-70