

## EFFECTO DE LA NIVELACION LÁSER EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN SUELO ACUIC HAPLOXERALFS

### LASER LAND LEVELING EFFECT ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A ACUIC HAPLOXERALFS SOIL

Celerino Quezada<sup>1\*</sup>, Marco Sandoval<sup>1</sup>, Santiago Hernaíz<sup>2</sup>, Gabriel Tiznado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Chillán, Chile.

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

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, Villa Los Jardines de Ñuble, Las Orquídeas 871, Chillán, Chile.

#### RESUMEN

La nivelación láser permite crear una pendiente uniforme del suelo y mejora el manejo del agua de riego. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la nivelación láser en las propiedades físicas y químicas del suelo, y su relación con el rendimiento del arroz, en un suelo Acuic Haploxeralfs (Serie Parral). Los tratamientos aplicados fueron: nivelación tradicional ( $T_0$ ), nivelación láser corte ( $T_1$ ), y nivelación láser relleno ( $T_2$ ). El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Las muestras de suelo fueron tomadas a 10 y 20 cm de profundidad, evaluando distribución de agregados en agua, distribución del tamaño de las partículas, pH, materia orgánica (MO), nitrógeno(N), fósforo(P), potasio(K), y zinc (Zn). La nivelación láser no afectó la distribución por tamaño de agregados, tampoco los porcentajes de arena, limo y arcilla del suelo. Las propiedades químicas no presentaron diferencias significativas en relación a pH, MO, P y K entre tratamientos, aunque  $T_0$  a la profundidad de 10 cm presentó valores significativamente ( $p \leq 0,05$ ) mayores de nitrógeno disponible que  $T_1$  y  $T_2$ , sin embargo, esto no se reflejó en los rendimientos de granos, donde el rendimiento de arroz con nivelación láser fue superior en un 15% comparado con nivelación tradicional, sin diferencias entre áreas de corte y relleno. Experimentos de campo de larga duración serán necesarios para evaluar la variabilidad de las propiedades del suelo y los efectos posnivelación en la productividad del cultivo.

**Palabras clave:** arroz, nivelación, tamaño de agregados, textura del suelo, nutrientes.

#### SUMMARY

Laser land leveling creates a uniform soil slope and improves irrigation water management. The objective of this study was to evaluate the effect of laser land leveling on the physical and chemical properties of soil and the relationship with rice yield in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series). The applied treatments were: traditional leveling ( $T_0$ ), laser leveling cut ( $T_1$ ), and laser leveling fill ( $T_2$ ). The experimental design was completely randomized with three treatments and three replications. Soil samples were taken at 10 and 20 cm depth, evaluating water aggregate distribution, soil particle-size distribution, pH, organic matter (OM), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and zinc (Zn). Laser land leveling did not affect the aggregate size distribution, neither the percentages of sand, silt and clay of soil. Soil chemical properties did not show significant differences in pH, OM, P and K between treatments, although  $T_0$  showed values significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) of available nitrogen at 10 cm-depth than  $T_1$  and  $T_2$ , however this was not reflected in grain yield since rice yield with laser land leveling reached values 15% higher than conventional land leveling, with

**no differences between cut and fill areas. Long-term field experiments will be necessary on clay soils to evaluate the effects in the spatial variability of soil properties and the effects on postleveling crop productivity.**

**Key words:** rice, leveling, aggregate size, soil texture, nutrients.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del arroz requiere de la aplicación de nuevas tecnologías para ahorrar agua y optimizar el rendimiento (Bouman y Tuong, 2001). Una de estas tecnologías es la nivelación de precisión, que permite obtener láminas de agua uniformes, menor consumo y alta productividad del agua (Jat et al., 2006), aumentando la eficiencia de los fertilizantes y mejorando el control de malezas (Talpur et al., 2011).

La nivelación láser mediante áreas de corte y relleno permite dejar la superficie del suelo con una pendiente constante, entre 0 y 0,2% (Walker et al., 2003), logrando mayor eficiencia de distribución del agua de riego, uniformidad en los estados de desarrollo, y madurez homogénea. Sin embargo, la variabilidad espacial de las propiedades físicas y biológicas del suelo no han sido bien caracterizadas en los agro-ecosistemas que han sido nivelados, ya que las propiedades biológicas pueden cumplir un importante rol en la restauración de la productividad de los suelos con nivelación de precisión (Brye et al., 2003).

El movimiento de suelo en el horizonte superficial puede generar cambios importantes en la granulometría, tamaño de los agregados y en las propiedades químicas, como pH, MO, y contenido de N, P, K y Zn (Unger et al., 1990; Brye et al., 2006), lo que puede producir una disminución de rendimientos en la zona de corte especialmente el primer año después de la nivelación de precisión (Walker et al., 2003). En relación a la estructura, las labores mecánicas del suelo destruyen físicamente los macroagregados y como consecuencia se produce alteración de su estabilidad, incremento de la cantidad de microagregados y disminución del contenido de carbono orgánico (Six et al., 2000). Por lo anterior, Unger et al. (1990) concluyeron que la profundidad de corte no puede ser superior a 10 cm. Además, puede afectar significativamente la variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Dobermann et al., 1997; Brye et al., 2003).

En el cultivo de arroz se requiere una nueva sistematización de los predios para lograr el potencial de rendimiento de las variedades, y que haga sustentable el sistema productivo, con cuadros de mayor superficie, pretilos paralelos, suelos nivelados a cota cero y estructuras para un manejo eficiente del agua de riego (Hernaiz y Alvarado, 2007). Por consiguiente, la nivelación

láser es una innovación en el cultivo del arroz y su aplicación va a depender del efecto en el rendimiento y sus componentes, ya que el corte del horizonte superficial y relleno de los sectores más bajos puede afectar el tamaño de los agregados, la textura, y profundidad del perfil, así como la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Al respecto, Brye et al. (2003) determinaron que las alteraciones de las propiedades físicas del suelo superficial debido a la nivelación pueden crear potenciales problemas agronómicos que no pueden ser mejorados con la aplicación de fertilizantes. Por su parte, Walker et al. (2003) determinaron que la pérdida de rendimiento de arroz en suelos nivelados presenta una correlación positiva con el volumen de suelo movido en las áreas de corte.

La nivelación es una forma de disturbación del suelo que afecta las propiedades físicas y químicas del suelo, y es realizada en predios dedicados al cultivo del arroz para mejorar el manejo del agua (Brye et al., 2005), pero también esta alteración se debe a las prácticas de manejo adoptadas por los agricultores (Lima et al., 2009) incidiendo en la agregación, velocidad de infiltración, densidad aparente y compactación del suelo (Jat et al., 2009; Sacco et al., 2012). Sin embargo, se han realizado pocos estudios para evaluar la incidencia de esta tecnología en las propiedades del suelo y en su variabilidad espacial (Brye et al., 2005; Brye et al., 2006).

La superficie de suelos arroceros nivelados con el sistema láser se ha incrementado con el apoyo del Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos, financiado por el Ministerio de Agricultura de Chile (Ministerio de Agricultura, 2010).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la nivelación láser en las propiedades físicas y químicas, y su relación con el rendimiento del cultivo de arroz en un suelo Acuic Haploxeralfs.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental

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

El clima corresponde a un mediterráneo mari-

no, agroclima Talca, 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 período 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 realizó 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<sup>-1</sup>. La siembra con nivelación tradicional se realizó con avión, durante la primera quincena de Octubre 2008, con semilla certificada Diamante-INIA, en suelo inundado, con dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup>. La dosis de fertilización se determinó en base a análisis de suelo, aplicando a la siembra 300 kg ha<sup>-1</sup> de mezcla (15% N; 15% P; 25% K; 5% Ca; 0,4% B; 0,4% Zn) y a la macolla 100 kg ha<sup>-1</sup> de urea. El control de malezas se realizó a inicios de macolla, aplicando Penoxsulam 48 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Ricer 200 cc ha<sup>-1</sup>) y MCPA 525 g i.a. ha<sup>-1</sup> (MCPA 750SL 0,7 L ha<sup>-1</sup>).

### Diseño experimental

El diseño del ensayo fue completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos de nivelación aplicados fueron: tradicional (T<sub>0</sub>), láser corte (T<sub>1</sub>) y láser relleno (T<sub>2</sub>). La superficie de las parcelas experimentales fue de 4000 m<sup>2</sup> en nivelación tradicional, donde los pretilos fueron trazados con una diferencia de cota de 8 cm, y de 5.000 m<sup>2</sup> en nivelación láser corte y relleno. La nivelación láser corte es el sector del cuadro arrocero donde la pala mecánica cortó los primeros 10 cm del perfil de suelo, y la nivelación láser relleno el sector donde se depositó el suelo extraído, para dejar el terreno nivelado a cota cero.

### Evaluaciones

#### Propiedades físicas

La distribución de los agregados al agua se determinó transfiriendo una muestra de 100 g

de suelo seca al aire, previamente tamizada por un tamiz de 6 mm, a un conjunto de tamices de diferentes diámetros (2; 1; 0,5; 0,25 y 0,05 mm) ordenados de mayor a menor. Los tamices con la muestra de suelo se sumergieron en agua por 5 min y después fueron agitados por 15 min a 25 ciclos min<sup>-1</sup> (Yoder, 1936; Sandoval et al., 2010). De esta forma, el porcentaje de agregados se calculó mediante la siguiente expresión:

$$AG_i = \frac{MA_i}{W} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde, AG<sub>i</sub> es el porcentaje de agregados del tamiz i; MA<sub>i</sub> es la masa de agregados retenidos por el tamiz i; W es la masa total del suelo evaluado.

La distribución del tamaño de las partículas se determinó mediante el Método del Hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986), a profundidades de 10 y 20 cm. En ambas determinaciones se utilizaron muestras compuestas, conformadas por 6 submuestras.

#### Propiedades químicas

El análisis de las propiedades químicas del suelo se realizó a profundidades de 10 y 20 cm, al inicio del experimento, utilizando muestras compuestas conformadas por seis submuestras. Se determinó pH (suspensión suelo:agua 1:2,5), materia orgánica (combustión húmeda y determinación por colorimetría), nitrógeno disponible (extracción de KCl y destilación Kjeldahl), fósforo disponible (método de Olsen), potasio disponible (Acetato de amonio 1M pH 7, EAA), y Zinc (DPTA pH7, EAA (Sadzawka et al., 2006)

#### Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de arroz paddy se determinó cosechando en forma manual tres muestras de 1 m<sup>2</sup> por tratamiento. El peso de mil granos se obtuvo por conteo manual y peso de cien granos, con su posterior equivalencia a peso de 1.000 granos. Para obtener el peso de arroz paddy y peso de granos se utilizó una balanza electrónica (Aventurer PRO, AV212C, Vosen, Buenos Aires, Argentina). El porcentaje de granos vanos se determinó seleccionando al azar 10 panículas de la muestra de 1 m<sup>2</sup> y contando los granos vanos. Los análisis se realizaron en el laboratorio de la Empresa Carozzi S.A., Planta Parral.

#### Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos a un análisis de significancia (ANDEVA) y a un test de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un 95% de confianza, utilizando el software SAS (1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución del tamaño de agregados

La estructura del suelo está compuesta por macroagregados ( $\geq 0,25$  mm) y microagregados ( $< 0,25$  mm), y su estabilidad es afectada por los cambios en el contenido de MO y prácticas de manejo (Bronick y Lal, 2005). En la Tabla 1 se presenta la distribución de los agregados del suelo en función de la profundidad, donde se observa una mayor proporción de macroagregados en ambas profundidades evaluadas (10 y 20 cm), no existió diferencias ( $P \geq 0,05$ ) entre los tratamientos eva-

luados. Six et al. (2000) determinaron predominio de macroagregados en suelos no disturbados respecto a suelos afectados por labranza convencional. Además, se produce una compactación del terreno debido al tráfico de maquinaria (Cuevas, 2002), con predominio de microagregados e incremento de la porosidad fina en los primeros 10 cm del suelo. Los resultados en esta investigación no son coincidentes, debido probablemente a la alta proporción de las arcillas, sobre el 32% (Tabla 2), esto favorece la estabilidad de los agregados, lo cual le permitiría soportar de mejor manera el estrés de la nivelación.

**Tabla 1. Distribución del tamaño de agregados (%) a profundidades de 10 y 20 cm en un Acuic Haploxeralfs con nivelación tradicional y láser en cultivo de arroz.**

**Table 1. Aggregate size distribution (%) at 10 and 20 cm depth in an Acuic Haploxeralfs with traditional and laser land leveling in crop rice.**

Tratam.	Profund.	4-2	2-1,0	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25
	cm	----- mm -----				
T <sub>0</sub>	10	11,30 a	9,70 a	14,20 a	32,90 a	31,90 a
T <sub>1</sub>	10	15,92 a	6,89 a	8,80 a	23,96 a	44,43 a
T <sub>2</sub>	10	3,58 a	5,54 a	10,02 a	35,80 a	45,05 a
T <sub>0</sub>	20	7,80 a	8,60 a	16,50 a	33,30 a	33,80 a
T <sub>1</sub>	20	14,95 a	9,08 a	12,19 a	35,42 a	28,36 a
T <sub>2</sub>	20	14,86 a	9,59 a	14,74 a	31,35 a	29,48 a

Letras iguales en la columna por profundidad indican que no existen diferencias significativas según test de Tukey ( $P \geq 0,05$ ).

Tratamientos: T<sub>0</sub>: nivelación tradicional; T<sub>1</sub>: nivelación láser corte; T<sub>2</sub>: nivelación láser relleno.

**Tabla 2. Porcentajes de arena, limo y arcilla a profundidades de 10 y 20 cm en un suelo Acuic Haploxeralf (Serie Parral), bajo nivelación tradicional y láser en cultivo de arroz. Retiro, Chile.**

**Table 2. Sand, silt and clay percentage at 10 and 20 cm depth in an Acuic Haploxeralfs soil (Parral Series) under traditional and laser land leveling in crop rice. Retiro, Chile.**

Tratamientos	Profundidad	Arena	Limo	Arcilla
	cm	----- % -----		
T <sub>0</sub>	10	26,80 a	38,20 a	35,00 a
T <sub>1</sub>	10	30,59 a	36,09 a	33,32 a
T <sub>2</sub>	10	31,71 a	35,61 a	32,68 a
T <sub>0</sub>	20	24,15 a	39,37 a	36,39 a
T <sub>1</sub>	20	25,62 a	35,93 a	38,45 a
T <sub>2</sub>	20	29,88 a	34,26 a	35,86 a

Letras iguales en la columna por profundidad indican que no existen diferencias significativas según test de Tukey ( $P \geq 0,05$ ).

Tratamientos: T<sub>0</sub>: nivelación tradicional; T<sub>1</sub>: nivelación láser corte; T<sub>2</sub>: nivelación láser relleno.

### Distribución del tamaño de partículas

El movimiento de suelos en el horizonte superficial puede alterar la distribución del tamaño de partículas, especialmente cuando la profundidad

de corte es mayor a 10 cm (Unger et al., 1990). En la Tabla 2 se presentan los porcentajes de arena, limo y arcilla, a profundidades de 10 y 20 cm, según la clasificación del sistema USDA (Soil Sur-

vey Staff, 1999).

La nivelación tradicional y láser presentan contenidos similares de arena, limo y arcilla, sin diferencias significativas a las profundidades de 10 y 20 cm. Los contenidos de arcilla varían entre 32 y 38% y la clase textural permanece como franco arcillosa. Sin embargo, el contenido de arcilla presenta un aumento no significativo de 33,32 a 38,45% en profundidad en la zona de corte por la exposición del subsuelo, lo que puede afectar negativamente el rendimiento al igual que en la zona de relleno. Al respecto, Brye et al. (2003) establecieron que es difícil asociar cambios en la distribución del tamaño de partículas con áreas de corte y relleno, porque las áreas de tierras niveladas son movidas varias veces después del corte y relleno inicial, para suavizar las variaciones topográficas que resultan durante el proceso de nivelación.

### Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas analizadas a 10 y 20 cm de profundidad se presentan en la Tabla 3. El pH no presenta diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre los tratamientos para ninguna de las profundidades evaluadas (10 y 20 cm). La nivelación tradicional varió entre 4,96 y 5,22, y la nivelación láser entre 5,21 y 5,65, presentando una condición de acidez típica de suelos chilenos donde se cultiva arroz (Alvarado y Hernaiz, 2007)

Respecto de la MO no existen diferencias sig-

nificativas entre los tratamientos ( $P \geq 0,05$ ) a las profundidades de 10 y 20 cm, en general los valores encontrados son muy bajos ( $< 5\%$ ). Sin embargo, el contenido de MO es mayor en la nivelación tradicional en los primeros 10 cm, debido a que en la nivelación láser el suelo experimenta alteraciones por la eliminación de la estrata superficial, con mayor cantidad de restos vegetales y distribución en la zona de relleno. El bajo contenido de MO y la exposición del subsuelo indican que no es conveniente profundidades de corte superiores a 10 cm, con el objeto de no alterar la calidad del suelo.

El contenido de N en la profundidad de 10 cm presenta diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre nivelación tradicional y láser, ya que disminuye de 30,43 mg kg<sup>-1</sup> a 13,41 mg kg<sup>-1</sup>, debido al corte y arrastre de suelo por la nivelación. La disponibilidad de N está relacionada con el contenido de MO, presentando diferencias significativas en la profundidad de 10 cm. A la profundidad de 20 cm no existen diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) pero también disminuye el contenido de N con la nivelación láser, lo que es dependiente del momento en que se tomaron las mediciones, por las transformaciones del nitrógeno y extracción por el cultivo.

Los niveles de P no presentaron diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre tratamientos en ninguna de las profundidades evaluadas, pero en la zona de nivelación láser corte se presentó una

**Tabla 3. Comparación de valores medios para analitos químicos de un Acuic Haploxeralfs a profundidades de 10 y 20 cm, con nivelación tradicional y láser, en cultivo de arroz.**

**Table 3. Comparison of mean values for chemical analytes at 10 and 20 cm depth in an Acuic Haploxeralfs with traditional and laser land leveling in crop rice.**

Analitos	Prof. (cm)	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
pH (1:2) al agua	10	4,96 a	5,49 a	5,21 a
	20	5,22 a	5,32 a	5,65 a
MO, %	10	3,63 a	3,05 a	3,18 a
	20	2,57 a	2,65 a	2,29 a
N(disponible), mg kg <sup>-1</sup>	10	30,43 b	13,49 a	12,56 a
	20	24,84 a	15,27 a	15,10 a
P, mg kg <sup>-1</sup>	10	9,24 a	11,86 a	6,55 a
	20	8,91 a	5,7 a	4,52 a
K, mg kg <sup>-1</sup>	10	41,6 a	62,4 a	45,5 a
	20	32,5 a	40,7 a	33,8 a
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	10	2,6 a	1,08 a	1,02 a
	20	1,02 a	0,8 a	0,48 a

Letras distintas en fila por analito y por profundidad indican que existen diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

T<sub>0</sub>: nivelación tradicional; T<sub>1</sub>: nivelación láser corte; T<sub>2</sub>: nivelación láser relleno

disminución no significativa, de 11,86 mg kg<sup>-1</sup> a 10 cm a 5,7 mg kg<sup>-1</sup> a los 20 cm, debido a que parte del perfil de suelo es depositado en superficie o removido. En general, los niveles de P son bajos (< 10 mg kg<sup>-1</sup>) en los tres tratamientos y en las dos profundidades, debido a la solubilización del P bajo condiciones de inundación y el bajo contenido de MO. Al respecto, Walker et al. (2003) asocian la baja disponibilidad de P y Zn en profundidad con la baja movilidad de estos elementos.

Por su parte, los niveles de K son muy bajos (< 50 mg kg<sup>-1</sup>) y sin diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre los tratamientos. Los mayores contenidos de K en los primeros 10 cm del suelo en los tres tratamientos están relacionados con la alta concentración de K en la paja de arroz que se incorpora al suelo.

El Zn es el micronutriente más importante que limita el rendimiento del arroz, y no presentó diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre tratamientos. El menor contenido de Zn en la zona de relleno a 10 cm (1,02 mg kg<sup>-1</sup>) y 20 cm (0,48 mg kg<sup>-1</sup>) es posible asociarlo con el mayor contenido de arena, de 31,71 y 29,88%, respectivamente. Al respecto, Chandel et al. (2010) determinaron que las propiedades del suelo y el contenido de MO aumentan la disponibilidad de Zn en la rizósfera. Es probable que la disminución del contenido de Zn de 2,6 mg kg<sup>-1</sup> en el suelo no disturbado a 1 mg kg<sup>-1</sup> en zonas de corte y relleno de la nivelación láser debido al mayor contenido de arena y bajo contenido de MO. Estos niveles de Zn son deficientes y para no afectar el rendimiento es necesario la aplicación de una dosis de 20 kg

Zn ha<sup>-1</sup> (Yi-chang et al., 2007) en suelos arroceros con nivelación de precisión.

### Rendimiento

Los resultados de rendimiento corresponden a dos sistemas de producción, y muestran que las zonas de nivelación láser presentan mayor rendimiento, del orden del 15%, en relación a la nivelación tradicional, con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos (Tabla 4). Esto es muy superior a lo reportado por Jat et al. (2009) de 7,4% en relación a nivelación tradicional en un suelo Typic Ustochrept, pero con un ahorro de agua de 12 a 14%. La zona de corte presenta el mayor rendimiento (9,37 t ha<sup>-1</sup>), esto no concuerda con Walker et al. (2003) quienes determinaron una disminución de rendimiento de 22% en la zona de corte en relación a la zona de relleno. Esta diferencia se puede explicar porque en esta investigación la zona de corte presenta mayores niveles de K, lo que favorece la macolla y el peso de granos.

Respecto de los componentes de rendimiento, no se obtuvieron diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre tratamientos (Tabla 4). En nivelación tradicional, el peso de mil granos presentó una tendencia a mayor peso, pero esto no se vio reflejado en el rendimiento, por el menor número de granos por panícula. El porcentaje de grano entero en todos los tratamientos fue superior al mínimo exigido de 48%, pero más bajo que el potencial del cv. Diamante INIA equivalente a 60% de grano entero (Alvarado y Hernaiz, 2007). Por su parte, el porcentaje de grano vano es muy bajo, entre 1,96 y 2,4%, lo que puede estar asociado al buen manejo de la altura de la lámina de agua.

**Tabla 4. Rendimiento y sus componentes en arroz cv. Diamante en un suelo Acuic Haploxeralf (Serie Parral) bajo nivelación tradicional y láser. Retiro, Chile.**

**Table 4. Crop yield and its components in rice cv. Diamante in an Acuic Haploxeralfs (Parral Series) under traditional and laser land leveling. Retiro, Chile.**

Tratamientos	Rendimiento	Peso de 1000 granos	Grano entero	Grano vano
	t ha <sup>-1</sup>	g	%	%
T <sub>0</sub>	8,12 a	41,20 a	50,40 a	1,96 a
T <sub>1</sub>	9,37 b	38,60 a	49,60 a	2,22 a
T <sub>2</sub>	9,26 b	38,47 a	52,34 a	2,40 a

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

T<sub>0</sub>: nivelación tradicional; T<sub>1</sub>: nivelación láser corte; T<sub>2</sub>: nivelación láser relleno.

### CONCLUSIONES

En las condiciones de este experimento, la distribución por tamaño de agregados y los porcentajes de arena, limo y arcilla del suelo no presentaron diferencias significativas por efecto de la nivelación láser, en un suelo Acuic Haploxe-

ralfs. Las propiedades químicas no presentaron diferencias significativas de pH, MO, P y K entre tratamientos, pero el contenido de N disminuyó en forma significativa en los tratamientos con nivelación láser. Además, en nivelación láser disminuyó el contenido de Zn a un nivel deficiente para el cultivo. El rendimiento del cultivo en ni-

velación láser fue superior en un 15% respecto de nivelación tradicional, sin diferencias entre áreas de corte y relleno. Se requiere realizar experimentos de campo de larga duración en suelos arcillosos para evaluar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y los efectos post-nivelación en la productividad del cultivo.

#### LITERATURA CITADA

- Alvarado, J., y S. Hernaíz. 2007. Calidad industrial del grano. p. 39-48. En J.R. Alvarado (ed.) Arroz, Manejo Tecnológico. Boletín INIA N° 162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán. Chile.
- 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.
- Bronick, C., and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3-12.
- Brye, K.R., N.A. Slaton, M.C. Savin, R.J. Norman, and D.M. Miller. 2003. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1405-1417.
- Brye, K.R., N.A. Slaton, and R.J. Norman. 2005. Penetration resistance as affected by shallow-cut land leveling and cropping. *Soil Tillage Res.* 81:1-13.
- Brye, K.R., N.A. Slaton, and R.J. Norman. 2006. Soil physical and biological properties as affected by land leveling in a Clayey Aquert. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:631-642.
- Chandel, G., S. Banerjee, S. See, R. Meena, D.J. Sharma, and S.B. Verulkar. 2010. Effects of different nitrogen fertilizer levels and native soil properties on rice grain Fe, Zn and proteins contents. *Rice Sci.* 17:213-227.
- Cuevas, J. 2002. Cambios físicos y mecánicos en tres suelos bajo tránsito con distintas humedades. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 2:25-35.
- Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Dobermann, A., H.U. Neue, and P. Goovaerts. 1997. Scale-dependent correlations among soil properties of two tropical lowland rice fields. *Soil Sci. Soc. Am.* 61:1483-1496.
- Gee, G., and J. Bauder. 1986. Particle size-analysis. p. 383-409. In A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods.* 2nd. ed. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Hernaíz, S., y J. Alvarado. 2007. Sistematización de suelos en el campo arrocero. p. 69-86. En J.R. Alvarado (ed.) Arroz, Manejo Tecnológico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán. Chile.
- Jat, M.L., P. Chandna, R. Gupta, S.K. Sharma, and M.A. Gill. 2006. Laser land leveling: precursor technology for resource conservation. 32 p. In Project Directorate for Cropping Systems Research Modipuram. Rice-wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Dehli, India.
- Jat, M.L., M.K. Gathala, J.K. Ladha, Y.S. Saharawat, A.S. Jat, V. Kumar, S.K. Sharma, V. Kumar, and R. Gupta. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice-wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. *Soil Tillage Res.* 105:112-121.
- Lima, A.C.R., W.B. Hoogmoed, E.A. Pauletto, and L.F.S. Pinto. 2009. Management systems in irrigated rice affect physical and chemical soil properties. *Soil Tillage Res.* 103:92-97.
- Ministerio de Agricultura. 2010. Ley N° 20.412. Sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos agropecuarios. Diario Oficial de la República de Chile, 09 febrero 2010, Santiago, Chile.
- Sadzawka, R., M. Carrasco, R. Grez, M. Mora, H. Flores, A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA N° 34. INIA, Santiago, Chile.
- Sandoval-Estrada, M., J. Celis-Hidalgo, N. Stolpe-Lau, J. Capulín-Grande. 2010. Efecto de las enmiendas con lodos urbanos y de salmonicultura en la estructura de un Entisol y un Alfisol en Chile. *Agrociencia* 44(5):503-515.
- Sacco, D., C. Cremon, L. Zavattaro, and C. Grignani. 2012. Seasonal variation on soil physical properties under different water managements in irrigated rice. *Soil Tillage Res.* 118:22-31.
- SAS. 1999. The SAS systems for windows. [CD-Rom], Ver. 8. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Six, J., K. Paustian, E. Elliot, and C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregates-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:681-689.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 869 p. 2<sup>nd</sup> ed. USDA Agriculture Handbook 437. Washington, D.C., USA.
- Stolpe, N. 2006. Descripción de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Universi-

- dad de Concepción, Chillán, Chile.
- Talpur, M.A., Ji. Changying, S.A. Junejo, T. Guangzhao, A.A. Tagar, and 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.
- Walker, T.W., W.L. Kingery, J.E. Street, M.S. Cox, J.J. Oldham, P.D. Gerard, and F.X. Han. 2003. Rice yield and soil chemical properties as affected by precision land leveling in alluvial soils. *Agron. J.* 95:1483-1488.
- Unger, P.W., L.J. Fulto, and O.R. Jones. 1990. Land-leveling effects on soil texture, organic matter content, and aggregate stability. *J. Soil Water Conservation* 45:412-415.
- Yi-chang, W., B. You-lu, J. Ji-yun, Y. Li-ping, Y. Zheng. X.Si-xin, L. Guo-an, S. Wei, and Z. Chun-mei. 2007. Sufficiency and deficiency indices of soil available zinc for rice in the alluvial soil of the coastal Yellow Sea. *Rice Sci.* 14:223-228.
- Yoder R. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.* 28:337-351.