

COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) BAJO CONDICIONES LIMITANTES DE NITRÓGENO

PERFORMANCE OF RICE GENOTYPES (*Oryza sativa* L.) UNDER LOW NITROGEN CONDITIONS

Celerino Quezada^{1*}, Santiago Hernaíz², Iván Vidal¹, Kurt Doering¹

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

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

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

RESUMEN

La selección de genotipos de arroz con alta eficiencia en el uso del nitrógeno es una tecnología clave para obtener alta productividad y disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de seis genotipos elite de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones limitantes de N, en un suelo Acuic Durixererts. El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas, con dos tratamientos de nitrógeno (N_0 y N_{50}), seis sub-tratamientos (genotipos de arroz), y tres repeticiones. Se evaluaron componentes de rendimiento, rendimiento, características agronómicas, calidad de grano, y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN). Las condiciones limitantes de N no tuvieron efectos significativos en componentes de rendimiento, precocidad y porcentaje de grano entero. La aplicación de una dosis N_{50} permitió obtener aumentos significativos en el rendimiento, sin incidir en la esterilidad de la espiguilla. Los genotipos Quila 223202, cv. Brillante y Quila 242105 presentaron componentes de rendimiento y características agronómicas interesantes para la producción de arroz en suelos de baja fertilidad.

Palabras clave: rendimiento de grano, panículas, eficiencia agronómica nitrógeno.

ABSTRACT

Selection of rice genotypes (*Oryza sativa* L.) with high nitrogen use efficiency is a key technology to increase productivity and decrease the negative impact on the environment. The objective of this study was to evaluate the performance of six rice elite genotypes under low-nitrogen condition, in an Acuic Durixererts soil. The experiment was conducted using a split plot design with two N treatments (N_0 and N_{50}) and six subtreatments of rice genotypes with three replicates. Yield components, yield, agronomic characteristics, grain quality, and nitrogen agronomic efficiency (NAE) were measured. Low nitrogen conditions had not significant effects on yield components, precocity (days to 50% flowering), and percentage of filled grain. The application of N_{50} resulted in significant increases in yield, with no effects on spikelet sterility. Genotypes Quila 223202, cv. Brillante and Quila 242105 showed interesting yield components and agronomic characteristics for rice production in low fertility soils.

Key words: grain yield, panicles, nitrogen agronomic efficiency.

INTRODUCCIÓN

La baja eficiencia agronómica del nitrógeno en el cultivo de arroz en Chile ha llegado a ser una amenaza para el medio ambiente, debido a las deficientes estrategias de manejo del N, que causan pérdidas por volatilización del amonio, desnitrificación, escurrimiento superficial y lixiviación (Peng et al., 2006).

La fertilización nitrogenada es fundamental para aumentar el rendimiento de grano en el cultivo de arroz, el cual es el producto final de la combinación de diferentes componentes de rendimiento, tales como número de panículas por unidad de área, número de granos por panícula, porcentaje de grano entero y peso del grano (Bond et al., 2008; Sun et al., 2012). Una parte importante del rendimiento de grano es explicada por la variación en la densidad de panículas, indicando la importancia de la habilidad del macollaje de un determinado cultivar en la obtención de altos rendimientos (Koutroubas y Ntanos, 2003) por su efecto en la producción de panículas y relación lineal con el contenido de N (Bond et al., 2008; Harrel y Blanche, 2010).

En Chile tiene mucha importancia el efecto de la cantidad de nitrógeno en la planta durante el proceso de diferenciación del polen y la temperatura, ya que temperaturas bajo 15°C pueden producir esterilidad.

El N es uno de los nutrientes más importante en la producción de arroz y de mayor incidencia en los costos de producción (Tirol-Padre et al., 1996), por lo que su manejo adecuado es esencial para optimizar el rendimiento de grano (Bond et al., 2008). Sin embargo, los fertilizantes no son utilizados eficientemente en el sistema productivo, y la absorción del N por la planta varía entre 30 y 50% del N aplicado (Bond et al., 2008; Zhao et al., 2012). Además, las pérdidas de N durante el proceso productivo contribuyen a la contaminación del medio ambiente, especialmente el proceso de desnitrificación que genera óxido nitroso (N_2O), un poderoso gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global (Baligar and Fageria, 2001; Koutroubas y Ntanos, 2003).

La dinámica del N en la relación suelo-planta-agua-atmósfera es uno de los sistemas biofísicos más complejos en la agricultura, y para mejorar la Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN) la mayoría de las investigaciones se han focalizado en reducir las pérdidas de N por volatilización y desnitrificación (Cassman et al., 1998). Una mayor eficiencia de uso del N en el cultivo de arroz es posible lograrla con diferentes estrategias de manejo, como aplicación parcializada según estados fenológicos, manejo del sitio específico, uso del medidor de clorofila, ajuste de las dosis de fertilizantes a la disponibilidad de N en el suelo y a los diferentes regímenes de riego (Peng et al., 1996; Sun et al., 2012). Además, es

necesario desarrollar cultivares con altos índices de cosecha que aprovechen mejor el N y que se adapten a suelos de baja fertilidad (Inthapanya et al., 2000). Por otra parte, Duan et al. (2007) determinaron que la nutrición parcial con nitrato (NO_3^-) en la macolla, mejora el crecimiento del arroz y aumenta la eficiencia de uso del nitrógeno.

El arroz se cultiva en suelos de baja fertilidad natural y para obtener rendimientos óptimos se deben aplicar altas dosis de N (Bond et al., 2008), lo que genera grandes pérdidas por volatilización del amonio, desnitrificación, lixiviación, fijación de amonio, inmovilización y escurrimiento superficial (Koutroubas y Ntanos, 2003). En la actualidad se requiere desarrollar cultivares con baja demanda de N y que aprovechen en forma más eficiente el N aplicado, para aumentar la rentabilidad del cultivo y reducir las externalidades ambientales negativas (Shi et al., 2010; Sun et al., 2012; Zhao et al., 2012).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de seis genotipos elite de arroz bajo condiciones limitantes de N en un suelo Acuic Durixererts (Serie Quella) mediante la determinación de los componentes de rendimiento, rendimiento, características agronómicas, calidad del grano y eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental INIA-DIGUA, ubicado en la comuna de Parral (36°4' lat. S, y 72°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, 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 Acuic 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, permeabilidad lenta, drenaje imperfecto y escurrimiento superficial muy lento (Stolpe, 2006). El análisis químico de suelos determinó un pH = 5,76 (suspensión suelo:agua 1:2,5), materia orgánica = 2,34% (Walkey y Black), N disponible = 7 mg kg⁻¹ (digestión Kjeldahl modificado), P disponible =

6,61 mg kg⁻¹ (Olsen), K disponible = 62,7 mg kg⁻¹, y K intercambiable = 0,16 cmol(+) kg (acetato de amonio 1 M pH 7,0) (Sadzawka et al., 2006) y N incubado = 10 mg kg⁻¹ (Waring and Bremner, 1964).

Diseño experimental

El diseño experimental fue de parcelas divididas, con dos tratamientos de nitrógeno (N₀ y N₅₀), seis sub-tratamientos de genotipos y tres repeticiones. Los genotipos utilizados pertenecen al Programa de Mejoramiento de Arroz de INIA y fueron los siguientes: cv. Brillante, Quila 242101, Quila 223202, Quila 242105, cv. Zafiro y Quila 156906. El tamaño de las sub-parcelas fue de 3 m de largo por 3 m de ancho. El área total del ensayo fue de 534 m².

Manejo del cultivo

La siembra se realizó al voleo el 29 de octubre de 2008, con una dosis de 160 kg ha⁻¹ de semilla pre-germinada, sobre una lámina de agua de 10 cm. El control de malezas se realizó a inicios de macolla con la aplicación del herbicida Penoxsulam 48 g i.a. ha⁻¹ (Ricer 200 cc ha⁻¹) para control de hualcacho (*Echinochloa crus-galli*) y MCPA 0,7 L ha⁻¹ para control de malezas de hoja ancha (*Alisma plantago-aquatica* y *Sagittaria montevidensis* subsp. *chilensis*), permaneciendo el agua detenida durante 7 días.

El N 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, en el tratamiento de 50 kg de N ha⁻¹. La fertilización basal 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.

La cosecha se realizó en forma manual el 18 de marzo del 2009, en la parte central de la parcela (2 m²), con humedad del grano de 23%, determinada 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.

Evaluaciones

Componentes de rendimiento

Los componentes de rendimiento evaluados fueron: número de panículas m⁻², número de 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 tres panículas por cada sub-tratamiento, realizando un conteo de los granos y determinando la media. Para calcular el peso de

1.000 granos, se contaron 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 de grano

El rendimiento de cada genotipo base 15% de humedad se obtuvo pesando los granos de arroz paddy en una balanza electrónica (Sartorius, 1216-MP, Sartorius GMBH, Göttingen, Alemania), y el contenido de humedad de los granos se determinó utilizando 250 g de muestra con un medidor digital de humedad (Burrows, DMC-700, Seedbu-ro Equipment Company, Chicago, USA).

Calidad de grano

El porcentaje de grano entero se determinó seleccionando 10 panículas por cada sub-tratamiento, a las cuales se les contó el número total de granos. El porcentaje de grano entero se obtuvo pasando el arroz paddy (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).

Características agronómicas

La altura de plantas se midió con una regla metálica (120 cm) desde el nivel del suelo hasta la hoja o panícula más alta, la que se realizó en la fase de floración (enero-febrero) en tres muestras al azar por genotipo en cada repetición. La precocidad de los genotipos se obtuvo calculando los días entre la siembra y floración, que se determinó cuando la floración por sub-tratamiento era del 50%.

Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN)

La EAN se calculó dividiendo el rendimiento de grano por la dosis de N aplicada, mediante la siguiente relación (Mahajan et al., 2012):

$$EAN = (Y_n - Y_0)/N$$

donde EAN: eficiencia agronómica de nitrógeno (kg grano por kg⁻¹ N aplicado); Y_n: rendimiento grano con N (kg ha⁻¹); Y₀: rendimiento grano sin N (kg ha⁻¹); N: dosis de N (kg ha⁻¹).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianzas (ANDEVA) y las medias de los tratamientos a un test de contraste mediante la prueba de diferencias mínimas significativas

(DMS), al 5% de nivel de significancia. La normalidad de los datos fue verificada mediante el test de Shapiro-Wilks modificado (SAS, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes de rendimiento

El análisis de los componentes de rendimiento (Tabla 1) indica que la dosis de N no tuvo efectos significativos en densidad de plantas ni panículas, tampoco la interacción nitrógeno por genotipo. Sólo los genotipos presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ambos parámetros. Esto se debe a que tienen diferentes respuestas a manejo del agua, fertilización y condiciones ecológicas (Sun et al., 2012),

En los genotipos Quila 223202 y Quila 156906 se obtuvieron 360 (N_{50}) y 367 (N_0) plantas m^{-2} , y para el resto de genotipos entre 203 (N_0) y 347 (N_{50}) plantas por m^{-2} , lo que según Alvarado y Hernaiz (2007) son densidades de plantas normales, ya que se necesitan como mínimo 200 a 250 plantas m^{-2} para obtener rendimientos adecuados.

El número de panículas m^{-2} (Tabla 1) no registró diferencias significativas entre las dosis de N aplicadas, ni en la interacción $N \times G$. Solo los genotipos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), con valores entre 267 a 400 panículas m^{-2} , similares a los reportados por Bond et al (2008), entre 343 a 405 panículas por m^{-2} . Cabe destacar que la línea Quila 242101 presentó diferencia sig-

nificativa ($P \leq 0,05$) frente al resto de los genotipos con un mayor número de panículas por m^{-2} (397), pero esto no se tradujo en un mayor rendimiento (Tabla 5).

El número de granos por panícula presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre genotipos (Tabla 2) pero sin efecto significativo de la dosis N_{50} ni de la interacción $N \times G$. Los valores más altos fueron obtenidos por el cv. Brillante y Quila 232202, con 73 y 63 granos por panícula, respectivamente. Similares resultados fueron reportados por Rodríguez et al. (2002) con 54 a 62 granos por panícula,

El peso de 1.000 granos (Tabla 2) no presentó diferencias significativas ($P \geq 0,05$) para N, ni para la interacción nitrógeno por genotipo. Sin embargo, se apreciaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para genotipo, los valores más altos corresponden a los cv. Zafiro y Brillante, con pesos promedios de 36,27 y 35,4 g, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Fageria y Barbosa Filho (2001), Duan et al. (2007), Bond et al. (2008), con peso de 1.000 granos entre 22 a 39 g.

Características agronómicas

La altura de plantas presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para nitrógeno y genotipo, pero no para la interacción (Tabla 3), con valores entre 50 y 59 cm para N_0 y 56 a 70 cm para N_{50} . Los genotipos Quila 242101 y Quila 242105 presentaron menor altura con la aplicación de 50 kg N ha^{-1} , lo

Tabla 1. Número de plantas y número de panículas de seis genotipos de arroz bajo condiciones limitantes de nitrógeno en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.

Table 1. Number of plants and panicles of six rice genotypes under low-nitrogen conditions in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.

Genotipo	Nº plantas m^{-2}			Nº panículas m^{-2}		
	N_0	N_{50}	Promedio	N_0	N_{50}	Promedio
cv. Brillante	203	260	232 d	267	307	287 b
Quila 242101	293	270	282 cd	400	393	397 a
Quila 223202	383	360	372 a	297	333	315 b
Quila 242105	237	337	287 bcd	327	337	332 b
cv. Zafiro	273	347	310 bc	317	310	313 b
Quila 156906	367	320	343 ab	303	347	325 b
Promedio	293	316		318	338	
CV, %			15,97			13,44
DMS G			58,49			53,11
DMS N			Ns			Ns
DMS $N \times G$			Ns			Ns

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0,05$), según prueba DMS.

DMS: Diferencia mínima significativa; Ns: No significativo; G: Genotipo; N: nitrógeno; $N \times G$: Interacción; CV: Coeficiente variación.

Tabla 2. Número de granos por panícula y peso 1000 granos de seis genotipos de arroz bajo condiciones limitantes de nitrógeno en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.**Table 2. Grains per panicle and 1000-grain weight of six rice genotypes under low-nitrogen conditions in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.**

Genotipo	Nº granos por panícula			Peso 1.000 granos (g)		
	N ₀	N ₅₀	Promedio	N ₀	N ₅₀	Promedio
cv. Brillante	64	73	69 a	35,80	35,00	35,40 a
Quila 242101	42	46	44 d	32,27	32,30	32,28 b
Quila 223202	61	63	62 ab	29,57	30,59	30,08 c
Quila 242105	42	52	47 cd	31,91	32,26	32,10 b
cv. Zafiro	35	45	40 d	36,36	36,16	36,27 a
Quila 156906	48	62	55 bc	28,73	28,33	28,53 d
Promedio	49	57		32,44	32,45	
CV, %			14,39			2,72
DMS G			9,16			1,06
DMS N			Ns			Ns
DMS N × G			Ns			Ns

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre genotipos, según prueba DMS ($P \leq 0,05$).

DMS: Diferencia mínima significativa; Ns: No significativo; G: genotipo; N: nitrógeno; N × G : Interacción; CV: Coeficiente de variación.

Tabla 3. Altura de plantas y precocidad (días a 50% floración) de seis genotipos de arroz bajo condiciones limitantes de nitrógeno en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.**Table 3. Plant height and precocity (days to 50% flowering) of six rice genotypes under low-nitrogen conditions in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.**

Genotipo	Altura (cm)			Precocidad (días)		
	N ₀	N ₅₀	Promedio	N ₀	N ₅₀	Promedio
cv. Brillante	57	70	64 a	92	90	91 a
Quila 242101	50	56	53 b	91	90	91 a
Quila 223202	59	62	61 a	88	90	90 a
Quila 242105	50	56	53 b	89	90	90 a
cv. Zafiro	56	66	61 a	89	88	89 a
Quila 156906	56	66	61 a	85	84	85 b
Promedio	55 a	63 b		89	89	
CV, %			8,05			2,68
DMS G			5,70			2,87
DMS N			3,91			Ns
DMS N × G			Ns			Ns

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0,05$), según prueba DMS.

Letras minúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas entre dosis de nitrógeno ($P \leq 0,05$), según prueba DMS.

DMS: Diferencia mínima significativa; Ns: No significativo; N: Nitrógeno; G: Genotipo; N × G: interacción; CV: Coeficiente de variación.

que daría mayor resistencia al acame por vientos o lluvias. En cambio, el cv. Brillante exhibió mejor respuesta a la aplicación de N₅₀ alcanzando una altura de 70 cm. Hecho que está de acuerdo con lo señalado por Alvarado y Hernaiz (2007)

Respecto de la precocidad, el nitrógeno no

tuvo efectos significativos en el número de días a 50% de floración con variaciones de 1 a 2 días para N₀ y N₅₀ entre genotipos (Tabla 3), y sólo el genotipo Quila 156906 fue más precoz con 85 días ($P \leq 0,05$). Similares resultados obtuvieron Mahajan et al. (2012) con 93 y 91 días a 50% de flora-

Tabla 4. Esterilidad de la espiguilla y grano entero de seis genotipos de arroz bajo condiciones limitantes de nitrógeno en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.**Table 4. Spikelet sterility and percentage of filled grains of six rice genotypes under low-nitrogen conditions in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.**

Genotipo	Esterilidad (%)			Grano entero (%)		
	N ₀	N ₅₀	Promedio	N ₀	N ₅₀	Promedio
cv. Brillante	13,03 ab	13,43 b	13,23	65,10	64,97	65,03 a
Quila 242101	9,90 a	7,03 a	8,47	62,63	64,57	63,64 ab
Quila 223202	11,63 ab	13,27 b	12,45	61,90	60,43	61,17 b
Quila 242105	16,40 b	9,47 ab	12,93	64,33	65,50	64,92 a
cv. Zafiro	9,70 a	10,27 ab	9,98	60,87	62,17	61,52 b
Quila 156906	11,03 ab	9,67 ab	10,35	49,10	52,83	50,97 c
Promedio	11,95	10,52		60,66	61,74	
CV, %			19,04			3,59
DMS G			2,57			2,65
DMS N			2,42			Ns
DMS N × G			*			Ns

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre dosis de nitrógeno ($P \leq 0,05$), según prueba DMS.

DMS: Diferencia mínima significativa; G: Genotipo; N: Nitrógeno; N × G: Interacción; CV: Coeficiente de variación; Ns: No significativo; * Diferencia significativa.

ción para dosis de N₀ y N₆₀, respectivamente. Al respecto, Koutroubas y Ntanos (2003) determinaron que los cultivares de menor altura y madurez tardía tenían mayor rendimiento de grano y mayor eficiencia de uso del N.

Calidad industrial

La calidad industrial, definida como cantidad de granos de arroz pulido enteros obtenidos al final del proceso de evaluación, no tuvo efectos para N ($P \leq 0,05$), destacando los cv. Brillante, Quila 242101 y Quila 242105, con valores entre 63 y 65% (Tabla 4). Estas variaciones entre genotipos pueden ser explicadas principalmente por las características de cada genotipo y por las condiciones ambientales.

Respecto de la esterilidad de la espiguilla, la interacción N × G fue significativa ($P \leq 0,05$) y el efecto del N generó un aumento de la esterilidad en las variedades Brillante, Zafiro y el genotipo Quila 223202 (Tabla 4), con valores en el rango de 9,70 a 13,03% para N₀ y de 13,43 a 13,27% para N₅₀, similares a los obtenidos por Alvarado y Hernaíz (2007) de 8,2 y 12% para los cv. Brillante y Diamante, respectivamente. Sin embargo, los genotipos Quila 242101, Quila 242105 y Quila 156906, presentaron una disminución del porcentaje de esterilidad con valores de 7,03; 9,47 y 9,67%, respectivamente, para la dosis de 50 kg N ha⁻¹, lo que puede estar asociado a respuestas diferenciales de los genotipos. Al respecto, Fageria y Barbosa (2001) y Carrasco (2010) reportaron

incrementos en el porcentaje de esterilidad al aumentar la dosis de nitrógeno en variedades de alto rendimiento.

Rendimiento

El rendimiento de grano presentó diferencias significativas para nitrógeno ($P \leq 0,05$), ya que con la dosis N₅₀ se obtuvo un rendimiento promedio de 6,76 t ha⁻¹, con un incremento de 1,93 t ha⁻¹ en relación a N₀ con 4,83 t ha⁻¹ (Tabla 5). Respecto de genotipos, las dosis de nitrógeno tuvieron una respuesta diferencial en rendimientos, ya que en rendimiento promedio y N₀ no se presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) pero con buen comportamiento de Quila 223202 y cv. Brillante, en cambio N₅₀ tuvo efectos significativos y los mejores rendimientos fueron obtenidos por los cv. Brillante, Quila 223202 y Quila 242105, los que también mostraron un aumento en el número de panículas m⁻², lo que concuerda con Fageria y Barbosa Filho (2001) y Mahajan et al. (2012), quienes determinaron una alta correlación ($r = 0,96$ y $0,78$) entre número de panículas y rendimiento de grano. Sin embargo, Quila 156906 obtuvo el rendimiento más bajo con N₅₀, aunque experimentó un aumento en el número de panículas m⁻².

Eficiencia agronómica de nitrógeno

La Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN) fluctuó en el rango de 47,47 y 30,93 kg grano kg⁻¹ N, para los cvs. Brillante y Zafiro (Fig.

Tabla 5. Rendimiento de grano de seis genotipos de arroz bajo condiciones limitantes de nitrógeno en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.**Table 5. Grain yield of six rice genotypes under low-nitrogen conditions in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.**

Genotipo	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
	N ₀	N ₅₀	Promedio
cv. Brillante	5,16	7,53 a	6,35
Quila 242101	4,68	6,63 ab	5,66
Quila 223202	5,22	7,13 ab	6,18
Quila 242105	4,60	6,79 ab	5,70
cv. Zafiro	4,85	6,40 ab	5,63
Quila 156906	4,46	6,10 b	5,28
	4,83 a	6,76 b	
CV, %	17,29	10,61	12,24
DMS G			1,26
DMS N	1,49	1,28	
DMS N × G			Ns

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre genotipos, según prueba DMS ($P \leq 0,05$).

Letras minúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas entre dosis de nitrógeno, según prueba DMS ($P \leq 0,05$).

DMS: Diferencia mínima significativa; G: Genotipo; N: Nitrógeno; N × G: Interacción; CV: Coeficiente de variación; Ns: No significativo.

1), respectivamente, valores muy superiores a los determinados por Timsina et al. (2001) de 10,1 a 10,8, Sun et al. (2012) de 16,55 a 18,83, y Peng et al. (1996) de 15 a 22 kg grano kg⁻¹ N. En forma similar al rendimiento promedio, los genotipos no presentaron diferencias significativas en la EAN ($P > 0,05$), debido al alto CV obtenido (33,17%) que se explica por la alta variabilidad espacial de factores que no se pueden controlar en forma óptima en un experimento de campo, como altura de agua, temperatura del agua, contenido de nitrógeno del suelo (CV = 24,3%) (Acevedo et al., 2008). Los genotipos Quila 156906 y cv. Zafiro fueron los más ineficientes en el uso del nitrógeno, lo que puede estar asociado con características fisiológicas, absorción radicular, translocación del N adsorbido a diferentes órganos de la planta y densidad de plantas (Ladha et al., 1998). Similares resultados fueron obtenidos por Quezada et al. (2013) quienes no obtuvieron diferencias significativas en la EAN de veinte genotipos de arroz con la dosis N₅₀ en condiciones agroecológicas similares.

En relación a la selección de material genético para crear nuevas variedades con alta eficiencia de uso del nitrógeno, es posible establecer que los genotipos Quila 223202, cv. Brillante y Quila 212105 presentaron buen comportamiento agronómico en condiciones limitantes de N. Esto es un aspecto clave en el manejo del cultivo para

disminuir las dosis de fertilización nitrogenada y desarrollar una agricultura más amigable con el medio ambiente. Además, es importante considerar la EAN de las variedades en las recomendaciones de fertilización nitrogenada del cultivo de arroz, debido a la variabilidad espacial en la disponibilidad de N en tipos de suelos similares o en un mismo predio (Cassman et al. 1998)

CONCLUSIONES

Las condiciones limitantes de N no tuvieron efectos significativos en componentes de rendimiento, precocidad y porcentaje de grano entero. La aplicación de una dosis N₅₀ permitió obtener aumentos significativos en el rendimiento, sin incidir en la esterilidad de la espiguilla. Los genotipos Quila 223202, cv. Brillante y Quila 242105 presentaron componentes de rendimiento y características agronómicas interesantes para la producción de arroz en suelos de baja fertilidad.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Programa de Mejoramiento de Arroz del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, y la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

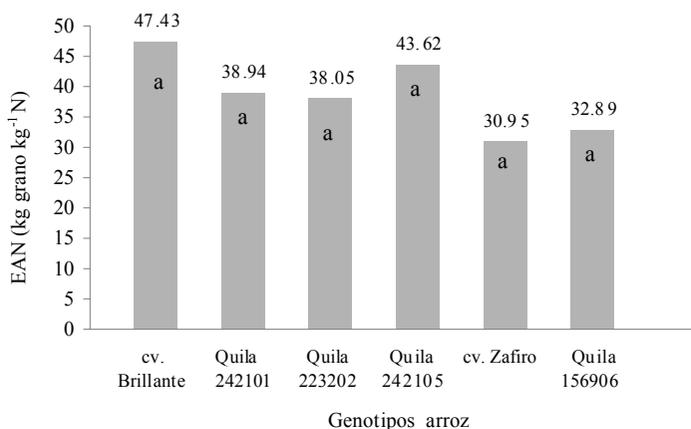


Fig. 1. Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) de seis genotipos de arroz en un suelo Acuic Durixererts, Parral, Chile.

Fig. 1. Nitrogen agronomic efficiency (EAN) of six rice genotypes in an Acuic Durixererts soil, Parral, Chile.

Letras minúsculas similares indican que no existen diferencias significativas ($P > 0,05$), según prueba DMS.

DMS: Diferencia mínima significativa = 22,80.

CV: Coeficiente de variación = 33,17%.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, J., y S. Hernaiz. 2007. Variedades, siembra, semilla certificada, dosis de semilla y épocas de siembra. p. 21-38. Boletín INIA N° 162. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Acevedo, D.C., M.E. Álvarez, E. Hernández, R. Maldonado, M. Pérez, y R. Castro. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana* 326:317-324.
- Baligar, V., N. Fageria, and Z. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 32:921-950.
- Bond, J., T. Walker, B. Ottis, and D. Harrell. 2008. Rice seeding and nitrogen rate effects on yield and yield components of two rice cultivars. *Agron. J.* 100:393-397.
- Carrasco, E. 2010. Efecto del manejo agronómico sobre el rendimiento y vanazón en arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar Diamante. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Cassman, K.G., S. Peng, D.C. Olk, J.K. Ladha, W. Reichart, A. Dobermann, and U. Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. *Field Crop Res.* 56:7-39.
- Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Duan, Y., Y. Zhang, L. Ye, X. Fan, G. Xu, and Q. Shen. 2007. Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition. *Ann. Bot.* 99:1153-1160.
- Fageria, N., and M. Barbosa Filho. 2001. Nitrogen use efficiency in lowland rice genotypes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:2079-2089.
- Harrell, D., and S. Blanche. 2010. Tillage, seeding, and nitrogen rate effects on rice density, yield, and yield components of two rice cultivars. *Agron. J.* 102:592-597.
- Inthapanya, P., S.P. Sipaseuth, V. Sihathep, M. Chanphengsay, S. Fukai, and J. Basnayake. 2000. Genotype differences in nutrient uptake and utilization for grain yield production of rainfed lowland rice under fertilized and non-fertilized conditions. *Field Crops Res.* 65:57-68.
- Koutroubas, S., and D. Ntanos. 2003. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 83:251-260.
- Ladha, J.K., G.J.D. Kirk, J. Bennet, S. Peng, C.K. Reddy, P.M. Reddy, and U. Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved lowland rice germoplasm. *Field Crops Res.* 56:41-71.
- Mahajan, G., B.S. Chauhan, J. Timsina, P.P. Singh, and K. Singh. 2012. Crop performance and water- nitrogen-use efficiencies in dry-seed-

- ed rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Res.* 134:59-70.
- Peng, S., F.V. García, R.C. Laza, A.L. Sanico, R.M. Visperas, and K.G. Gassman. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Res.* 47:243-252.
- Peng, S., R.J. Buresh, J. Huang, J. Yang, Y. Zou, X. Zhong, G. Wang, and F. Zhang. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Res.* 96:37-47.
- Quezada, C., S. Hernaiz, I. Vidal, R. Alvarado, R. Gallegos, and W. Yañez. 2013. Selection of rice genotypes (*Oryza sativa*) with high nitrogen agronomic efficiency in an Acuí Durixererts soil, central-southern Chile. *Latinamerican Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 40:375-385.
- Rodríguez, H., L. Arteaga, R. Cardona, M. Ramón, y L. Alemán. 2002. Respuesta de las variedades de arroz Fonaiap 1 y Cimarrón a dos densidades de siembra y dos dosis de nitrógeno. *Bioagro* 14(2):105-112.
- SAS Institute. 1999. The SAS systems for windows. [CD-Rom] Vers. 8. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Sadzawka, A., M. Carrasco, R. Grez, M. Mora, H. Flores, y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 164 p. Serie Actas N° 30. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile.
- Shi, W., W. Xu, S. Li, X. Zhao, and G. Dong. 2010. Responses of two rice cultivars differing in seedling-stage nitrogen use efficiency to growth under low-nitrogen conditions. *Plant Soil* 326:291-302.
- Stolpe, N. 2006. Descripciónes de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Sun, Y., J. Ma, Y. Sun, H. Xu, Z. Yang, S. Liu, X. Jia, and H. Zheng. 2012. The effects of different water and nitrogen managements on yield and nitrogen use efficiency in hybrid rice of China. *Field Crops Res.* 127:85-98.
- Timsina, J., U. Singh, M. Badaruddi, C. Meisner, and M.R. Amin. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice-wheat sequences of Bangladesh. *Field Crops Res.* 72:143-161.
- Tirol-Padre, A., J.K. Ladha, U. Singh, E. Laureles, G. Punzalan, and S. Akita. 1996. Grain yield performance of rice genotypes at suboptimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. *Field Crops Res.* 46:127-143.
- Zhao S-P, X-Q Zhao, and W-M Shi. 2012. Genotype variation in grain yield response to basal N fertilizer supply among different rice cultivars. *African J. Biotechnol.* 11:12298-12304.
- Waring, S.A., and J.M. Bremner, 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201:951-952.