

CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE ARROZ PARA TOLERANCIA A FRÍO EN LA ETAPA DE GERMINACIÓN¹

Rice germplasm characterization for cold tolerance in the germination stage¹

Dalma Castillo² y J. Roberto Alvarado A.^{2*}

ABSTRACT

Because low temperature is a constraint in Chilean rice (*Oryza sativa* L.) production, part of rice germplasm was characterized for cold tolerance in the secondary stages of germination, Z00 and Z07 of Zadoks scale. The study was done in the laboratories of Quilamapu Rice Research Center of the National Agriculture Research Institute (INIA), Chillán, Chile. In the Z00 stage, normal plants were evaluated in 162 genotypes in 9 experimental units in a complete randomized design with three replicates, exposed to 13 °C during 35 days. In the stage Z07, percentage of living plants were evaluated in 187 cultivars and advanced lines divided in 9 experimental units, in a complete randomized design with three replicates and two factors: genotypes and period of exposition to low temperatures (15 and 5 days). Low temperature affected rice germination, the genotypes presented a great variability. There were 14 cultivars and advanced lines tolerant in Z00 stage and 76 lines in Z07 stage. Only 8 genotypes presented cold tolerance in both stages, indicating that different systems of genetic control may be involved. The use of 5 days of exposition to low temperature in the Z07 stage was adequate for the evaluation in laboratory conditions.

Key words: cold tolerance, *Oryza sativa* L., genetics.

RESUMEN

Debido a que la temperatura es una limitante en todos los estados de desarrollo en la producción arrocerana nacional, se caracterizó parte del germoplasma de arroz (*Oryza sativa* L.) para tolerancia a frío, en dos estados secundarios de germinación, que según la escala de Zadoks corresponden a Z00 y Z07. El estudio se realizó en los laboratorios del Centro Regional de Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile. En el estado Z00, se evaluó el porcentaje de plantas normales en 162 cultivares y líneas avanzadas, divididos en 9 experimentos en un diseño completamente al azar con tres repeticiones, que fueron expuestos a 13 °C durante 35 días. En el estado Z07 se evaluó el porcentaje de plantas vivas de 187 genotipos divididos en 9 experimentos; el diseño experimental usado fue completamente al azar con tres repeticiones; los factores fueron los genotipos y el período de exposición (15 y 5 días). La baja temperatura afectó la germinación del arroz, presentándose una gran variabilidad de respuesta. Se encontraron 14 cultivares y líneas tolerantes en el estado Z00 y 76 genotipos en el estado Z07. De

¹Recepción de originales: 17 de agosto de 2001.

Trabajo desarrollado como tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad de la Frontera, del autor principal.

Este estudio es parte del Proyecto de Vinculación Tecnológica entre el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y la Asociación Gremial de Molineros de Arroz.

Trabajo presentado al Symposium Eurorice 2001, septiembre 2001. Krasnodar, Federación Rusa.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

E-mail: ralvarad@quilamapu.inia.cl *Autor para correspondencia.

ellos, 8 genotipos presentaron tolerancia en ambos estados de desarrollo, indicando que deben existir sistemas de control genético diferentes en cada estado. La exposición del arroz durante 5 días en el estado secundario Z07 fue adecuado para la evaluación en condiciones de laboratorio.

Palabras clave: tolerancia a frío, *Oryza sativa* L., genética.

INTRODUCCIÓN

En Chile, el arroz (*Oryza sativa* L.) es considerado un cultivo tradicional; fue introducido en la década del 20 y se siembra en forma comercial desde fines de la década del 30 (Alvarado, 1982). El clima del área arrocera, localizada entre la VI y parte norte de la VIII Región (34° y 36° lat. Sur), es de tipo mediterráneo marino en las regiones VI y VII, y clima mediterráneo temperado en VIII Región (Novoa *et al.*, 1989). El Internacional Rice Testing Program, IRTP, (IRRI, 1983), clasificó al clima en seis grupos, de acuerdo al período o períodos en que el crecimiento del arroz es afectado por la temperatura; Chile fue clasificado en el grupo VI B, por presentar temperaturas menores a las óptimas requeridas durante todo el período de crecimiento del arroz (octubre a marzo).

La adaptación, desarrollo y producción de un cultivar de arroz son determinadas principalmente por las bajas temperaturas (Mackill y Kiaomao, 1997), presentes tanto en zonas tropicales altas, como en zonas templadas (Khan *et al.*, 1986), afectando más de 15 millones de hectáreas en todo el mundo (IRRI, 1979, citado por Sthapit y Witcombe, 1998). La sensibilidad del arroz a la baja temperatura varía durante su ciclo de vida (Bertin y Bouharmont, 1997), y el rango temperaturas requerido en cada uno de los estados de desarrollo fue estudiado por Yoshida (1981), determinando como críticas, según el estado de desarrollo del cereal, aquellas bajo los 20 °C.

Temperaturas bajas, menores a 20 °C, provocan la aparición de distintas alteraciones en el cultivo (Sthapit *et al.*, 1996), como crecimiento anormal o daños en las distintas partes de la planta, lo que

dependerá del estado de desarrollo del arroz y la duración e intensidad del período de frío (Shibata, 1979; Tinarelli, 1989; Sthapit *et al.*, 1996). En general, los síntomas visibles provocados por temperaturas adversas durante el estado vegetativo del cultivo, son baja germinación, decoloración de hojas, muerte de las plantas, bajo número de tallos, detención del desarrollo y reducción de la capacidad de macollamiento; durante el estado reproductivo producen excursión incompleta de la panícula, degeneración de las espiguillas, polen inviable, alteración de la antésis, esterilidad y deformación de granos (Nanda y Seshu, 1979).

La temperatura óptima para la germinación, establecida por Yoshida (1981) se encuentra entre los 20 y 30 °C. Hamdani (1979) señaló que temperaturas menores a 18 °C durante el primer estado de crecimiento, perjudican la germinación y establecimiento de las plantas. Los síntomas típicos de daño por frío en esta etapa son, entre otros, baja germinación, necrosis del tejido y baja síntesis de clorofila (Sthapit *et al.*, 1996). Además, Mejía (1988) indicó que las bajas temperaturas afectan más el desarrollo de la radícula que el del coleóptilo, lo que no permitiría el desarrollo normal de las plantas.

En Chile, Alvarado y Grau (1991) informaron una relación positiva entre la temperatura media y el rendimiento en grano, siendo este último afectado por la presencia de bajas temperaturas especialmente en las etapas de germinación y floración. Temperaturas bajo 20 °C durante los primeros 5 días posteriores a la siembra disminuyen la población de arroz; el período de siembra a floración se prolonga a 120 días o más con temperaturas cercanas a los 16 °C, y el porcentaje de esterilidad, que normalmente fluctúa entre 10

y 12%, puede aumentar hasta 60% cuando la temperatura, durante la floración, es menor a 20 °C (Alvarado, 1999).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar parte del germoplasma de arroz, que será entregado al Banco Activo de Germoplasma, según tolerancia a frío en la etapa de germinación y determinar la metodología más rápida para este objetivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el Centro Regional de Investigación Quilamapu, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicado en la ciudad de Chillán (36°36' lat. Sur y 72°02' long. Oeste), VIII Región, provincia de Ñuble, Chile, en el año 1999.

Se estudiaron 167 líneas avanzadas y cultivares de un jardín de líneas de la temporada 1997/98, y además 17 variedades y líneas evaluadas en el Ensayo Regional Quilamapu temporada 1999/2000. Se utilizaron como testigos los cultivares Oro, Brillante-INIA y Diamante-INIA, este último es el cultivar más sembrado en el país. Las evaluaciones de tolerancia a baja temperatura se realizaron en dos estados secundarios de la germinación (Z0) que son Z00 y Z07, que corresponden según el código decimal de estados de crecimiento de cereales de Zadoks, Chang y Kuzack, a los estados de semilla seca y semilla con coleóptilo desarrollado, respectivamente (Tootmand y Makepeace, 1982). Para cada ensayo se seleccionaron semillas uniformes en tamaño, forma y color, las que fueron desinfectadas con triadimenol 15%. En cada experimento se utilizaron tres repeticiones, se colocaron las semillas de cada variedad o línea avanzada en papel plisado para germinación de 110 mm de ancho y 2 cm de alto (Schleicher y Schuell, Alemania). Todos los genotipos se hicieron germinar en condiciones óptimas, y para ello se colocaron 50 semillas a 30 °C durante 40 h, con fotoperíodo 12:12 (luz:oscuridad) y humedad relativa sobre 90%. Al finalizar este período presentaron un coleóptilo de 4-5 mm aproximadamente.

Debido a falta de semilla en la determinación de tolerancia a baja temperatura en el estado Z00, sólo se evaluaron 162 genotipos. El método utilizado en esta etapa correspondió al descrito por Mejía (1988), que consiste en colocar la semilla de arroz a 13 °C, sin luz, durante 35 días, período en el cual los riegos deben ser frecuentes. Se colocaron 50 semillas, por repetición, sobre bandejas cubiertas con papel absorbente, las que fueron trasladadas a una cámara previamente regulada a 13 °C, en la cual se realizó rotación de bandejas. Con posterioridad al período de exposición a baja temperatura se contaron las plántulas normales de cada genotipo, definiendo como tales aquellas que presentaron un desarrollo de coleóptilo y radícula similar al obtenido en condiciones óptimas de crecimiento. Como genotipo tolerante se consideró aquel cuyo porcentaje de plántulas normales presentó una diferencia menor a 15% y sin diferencias significativas al compararlo con el testigo Diamante-INIA en el experimento correspondiente, como intermedio al que presentó una diferencia entre 15 y 40%, y como susceptibles los que presentaron una diferencia mayor a 40%.

Para la determinación de tolerancia a baja temperatura en el estado Z07, se modificó el método descrito por Mejía (1988), utilizando 13 °C, en lugar de 12 °C durante 28 días, luego que el arroz germina en condiciones óptimas. En este estudio se evaluó la respuesta de 187 genotipos a 13 °C, durante dos períodos de exposición, 5 y 15 días. El criterio de evaluación fue el número de plantas vivas. Se utilizaron 25 semillas de cada cultivar o línea por repetición, que luego de germinar en condiciones óptimas, se depositaron en recipientes plásticos (15 x 5 x 6 cm), con una lámina de agua de 3 cm de altura y fueron trasladadas a la cámara de frío, regulada a 13 °C, sin luz. Durante la exposición a baja temperatura se mantuvo la altura de la lámina de agua y se realizó rotación de bandejas. Pasado el período de frío, los cultivares y líneas avanzadas fueron sembrados en barro, previamente pasteurizado en un horno microondas por 5 min a máxima potencia, llevados a condiciones ambientales

por 10 días con riegos frecuentes. Finalizada esta etapa, se contaron las plantas vivas de cada genotipo tomando esto como índice de sobrevivencia y recuperación al estrés. Cuando los genotipos sometidos a 15 días de frío cumplían 10 días dentro de la cámara, ingresaba el grupo, con los mismos genotipos, que correspondía evaluar por 5 días, de esta forma ambos salían al mismo tiempo a las condiciones ambientales, que presentaba una temperatura promedio de 25 °C.

Terminado el período de exposición se contaron las plantas vivas y el material se clasificó de acuerdo a su tolerancia a frío, en los siguientes grupos: a) genotipos tolerantes: porcentaje de plantas vivas igual o superior a 70%; b) genotipos de tolerancia intermedia: porcentaje de plantas vivas entre 50 y 69%; y c) genotipos susceptibles: porcentaje de plantas vivas inferior al 50%.

Los 162 cultivares y líneas analizados en Z00 fueron divididos en 9 experimentos. El diseño experimental de cada unidad fue completamente al azar con tres repeticiones y el tratamiento correspondió a los cultivares y líneas avanzadas. Los cultivares y líneas que no presentaron germinación no fueron incluidos en el análisis estadístico. Los 187 cultivares y líneas avanzadas analizados en Z07, se dividieron en 9 experimentos, cuyo diseño experimental correspondió a un arreglo factorial completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron cultivares o líneas avanzadas y el período de exposición (15 y 5 días).

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa estadístico IRRISTAT (IRRI, 1992). Debido a que los datos eran expresados en porcentaje, para el análisis de varianza se aplicó la transformación arcoseno. Los promedios fueron comparados usando la prueba de Duncan ($p < 0,05$) y cuando hubo interacción en el análisis en Z07, se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta de los cultivares y líneas avanzadas a la baja temperatura en el estado secundario de germinación Z00 (semilla seca)

La baja temperatura afectó la capacidad de germinación de los genotipos, ya que la germinación promedio disminuyó de 86%, en condiciones óptimas, a 25,6% en condiciones de frío (Cuadro 1), lo que concuerda con lo afirmado por Hamdani (1979) y Mejía (1988). El análisis estadístico de los datos de cada experimento mostró diferencias significativas entre cultivares y líneas avanzadas, con un rango de plántulas normales que varió entre 0 y 73,7%. Esta amplia variabilidad en la capacidad para germinar a baja temperatura, puede explicarse por los distintos orígenes del material estudiado (Bertin *et al.*, 1996).

De los 162 cultivares y líneas avanzadas estudiados, sólo 14 genotipos (Rip, Cristal, Italica Livorno, K 332, Lieto, CH 1124, CH 530-14, CH 684-2-1, CH 524-6-1, CH 723-1-2-2, Cinia 1014, Tuc 257, Tuc 308 y Quila 136201), que

Cuadro 1. Germinación en condiciones de frío y óptimas de los genotipos en cada experimento en el estado secundario de germinación Z00
Table 1. Germination under low temperature and optimum conditions in each experiment in the secondary stage of germination Z00

Experimento	Promedio plántulas normales	
	30 °C por 40 h (%)	13 °C por 35 días (%)
1	88,4	27,4
2	80,0	30,8
3	83,4	24,8
4	86,7	28,4
5	84,4	16,1
6	78,0	15,0
7	89,1	8,1
8	76,0	31,7
9	95,0	47,7
Promedio total	86,0	25,6

corresponden a 8,6%, fueron clasificados como tolerantes, ya que la diferencia entre el porcentaje de plántulas normales de cada una de ellas y el obtenido por Diamante-INIA, fue menor a 15%. Entre ellos se destaca la línea CH 530-14, que presentó la más alta tolerancia al frío, con un porcentaje de plántulas normales que superó en 33,7% al cultivar testigo Diamante-INIA. Estos genotipos son originarios de zonas con problemas de bajas temperaturas como Chile, Europa e India, y probablemente tengan uno o más de los cuatro genes dominantes que determinan la tolerancia a baja temperatura en el estado de germinación (Sasaki *et al.*, 1974, citado por Chang y Oka, 1976).

Es interesante destacar que las líneas que no germinaron al someterlas a frío, pero tuvieron una germinación promedio de 85% en condiciones óptimas, fueron RP 1442-4-6-1-1; IR 26036, YR 1641-GH12-3-1-GH4; HSIN-HSIN-PA-I-KU-HU; CH 872-13, CH 872-16, CH 876-16, CH 876-72, CH 876-103, CH 879-22, CH 881-11, CH 881-15, CH 881-38, CH 882-29, CH 876-116, CH 882-80, CH 880-18, CH 883-22, CH 883-59, CH 885-60, CH 884-15, CH 888-17, CH 888-25, CH 1135 y CH 1145. Estas tienen orígenes distintos, algunas provienen de zonas tropicales (Filipinas, India, etc.), pero la mayoría es de origen nacional, y entre sus progenitores tienen material de tipo tropical o de zonas templadas de mayor temperatura que las prevalecientes en Chile, como Uruguay y California, utilizadas para mejorar la calidad del arroz.

Respecto al comportamiento de los testigos, al promediar los porcentajes de plántulas normales de los 9 experimentos, se observó que Diamante-INIA, Oro y Brillante-INIA, presentaron un promedio de 46,8; 42,1; y 36,8% de plántulas normales, respectivamente.

Respuesta de los cultivares y/o líneas avanzadas a la baja temperatura en el estado secundario de germinación Z07 (semilla con coleóptilo)

En este estado secundario, la germinación fue afectada por la baja temperatura y por el tiempo de exposición, presentándose también una gran variabilidad de respuesta en los cultivares y líneas avanzadas estudiados. Sólo en los experimentos 1 y 6 se presentó interacción entre genotipos y período de exposición.

En general, se obtuvo una mayor germinación cuando el arroz fue expuesto a 5 días de frío que cuando fue sometido a 15 días (Cuadro 2), lo que coincidió con los resultados obtenidos por Barceló *et al.* (1998), quienes concluyeron que el porcentaje de plantas vivas es determinado principalmente por las características genéticas de los genotipos, por las bajas temperaturas y por el tiempo de exposición a éstas. Sin embargo,

Cuadro 2. Promedio de plantas vivas obtenido en los nueve experimentos en arroz sometido a 13 °C, durante 5 y 15 días durante la germinación

Table 2. Average of living plants get in nine experiments in rice exposed to 13 °C, for 5 and 15 days during germination

Experimentos	Plantas vivas (%)*	
	13 °C por 5 días	13 °C por 15 días
1	62,4 a	58,9 b
2	44,3 a	40,7 b
3	67,5 a	52,6 b
4	77,3 a	70,1 b
5	64,9 b	73,0 a
6	77,6 a	59,6 b
7	61,5 a	56,1 b
8	59,7 a	42,6 b
9	83,1 a	72,3 b
Promedio	66,5	58,4

*Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas al nivel de 5%, según el test de Duncan.

debe quedar claro que algunos genotipos presentaron un porcentaje de plantas vivas más alto al ser expuestos a baja temperatura durante 15 días. Esta respuesta podría explicarse por el crecimiento retardado de éstos comparados con el resto del material, lo que les permitiría adaptarse mejor a las condiciones de estrés prolongado (Barceló *et al.*, 1998).

Entre los 9 experimentos, los testigos Diamante-INIA, Oro y Brillante-INIA, promediaron 86,66; 90,07 y 83,40% de plantas vivas, respectivamente, al ser sometidos a 13 °C por 5 días, y al prolongar por 15 días la exposición a baja temperatura Diamante-INIA alcanzó 80,14%, Oro 82,52% y Brillante-INIA 74,07%, manteniendo todos su característica de tolerancia en ambas situaciones.

La clasificación del material por tolerancia al frío, en el estado secundario Z07, se realizó tomando como criterio de selección el porcentaje de plantas vivas obtenidas con 5 días de exposición a 13 °C; ya que en condiciones de campo basta ese tiempo para disminuir el número de plantas de arroz por metro cuadrado (Alvarado, 1999), y porque los testigos Diamante-INIA, Oro y Brillante-INIA no cambiaron su nivel de tolerancia al frío, al ser sometidos por más tiempo a bajas temperaturas. Utilizando este criterio de selección se clasificaron 76 genotipos como tolerantes, con 70% o más de plantas vivas; 71 como intermedios, con 50 a 69% de plantas vivas; y 40 genotipos como sensibles, con menos de 50% de plantas vivas.

Los arroces seleccionados y clasificados como tolerantes en el estado Z07 tienen la capacidad para sobrevivir bajo condiciones de frío, la que está condicionada y correlacionada con el vigor de las plantas y con su capacidad para producir clorofila (Sthapit *et al.*, 1996), por lo tanto, constituyen un aporte al mejoramiento genético de este cereal como progenitores destinados a crear futuros materiales con estas características.

Los genotipos de origen nacional presentaron una amplia variabilidad en sobrevivencia de plantas, ya que se presentaron en todos los grupos de tolerancia.

La tolerancia al frío de 13 cultivares y líneas analizados había sido previamente estudiada en condiciones de campo en la temporada 1985/86, en la que se evaluó la sobrevivencia de las plántulas sembradas en distintas fechas desde mediados de septiembre a fines de noviembre (Alvarado, R., 2000, comunicación personal). Esos resultados son coincidentes con los de este estudio (Cuadro 3), lo que permitiría confirmar que la exposición del arroz durante 5 días a 13 °C es un método efectivo y eficiente para evaluar y seleccionar materiales de arroz en condiciones de laboratorio, e implicaría los beneficios de estudiar una gran cantidad de material en condicio-

Cuadro 3. Comparación de la respuesta a la baja temperatura de 13 cultivares y líneas avanzadas de arroz en condiciones de laboratorio y de campo

Table 3. Response to low temperature of 13 rice cultivars and advanced lines in field and laboratory conditions

Cultivar o línea avanzada	Respuesta a la baja temperatura en condiciones de:	
	Campo ¹	Laboratorio
Lieto	Intermedia	Intermedia
Antonio	Intermedia	Intermedia
Kunchao 12	Intermedia	Intermedia
RP1442	Sensible	Sensible
K 39	Sensible	Sensible
Quila 68405	Tolerante	Tolerante
CH 706-4-2-2	Tolerante	Tolerante
CH 663-4-2	Tolerante	Tolerante
CH 640-1-3	Intermedia	Tolerante
CH 736-6-2-1	Intermedia	Tolerante
Bonni	Sensible	Intermedia
M9	Sensible	Intermedia
Brillante-INIA	Tolerante	Tolerante

¹Basado en datos de R. Alvarado, 2000, comunicación personal.

nes controladas de tiempo y temperatura, con el consiguiente ahorro de tiempo y espacio. La menor tolerancia al frío que presentaron algunas líneas y cultivares en condiciones de campo, respecto a las obtenidas en laboratorio, podría explicarse porque en el campo no es posible controlar una serie de factores ambientales como altura de agua, presencia de algas y de hongos, y la temperatura, los cuales inciden en los procesos de germinación y sobrevivencia del arroz.

Respuesta de los genotipos en ambos estados secundarios de la germinación del arroz, Z00 y Z07

Al analizar la tolerancia de los cultivares y líneas en ambos estados secundarios de germinación, se determinó que sólo ocho presentaron tolerancia al frío en ambos estados (Figura 1). Los siete primeros eran de origen nacional, y podrían ser utilizados como progenitores en futuros programas de cruzamientos destinados a introducir esta característica en los materiales nacionales de arroz.

Este resultado indicaría que probablemente hay dos mecanismos genéticos que determinan la tolerancia al frío. El primero opera exclusivamente para el estado Z00 y se puede heredar en forma independiente del que opera para el estado Z07, lo que está de acuerdo a lo afirmado por Sthapit y Witcombe (1998), quienes además indicaron que las capacidades de germinación y sobrevivencia a baja temperatura son de alta heredabilidad.

La baja temperatura afectó en mayor grado el estado Z00 de los cultivares y líneas avanzadas analizados (Figura 2). Esto indicaría que el frío afecta mucho más la etapa inicial de la germinación, inhibiendo o reduciendo la capacidad de la semilla para dar lugar a la formación de la radícula y luego a la del coleóptilo, y finalmente la emergencia de una planta normal. Por ejemplo, en el estado Z00, la mayoría de los genotipos del Ensayo Regional Quilamapu de la temporada 1999-2000, no obtuvieron el porcentaje de plántulas normales que permitiera clasificarlos como tolerantes; pero en Z07, 16 líneas de un

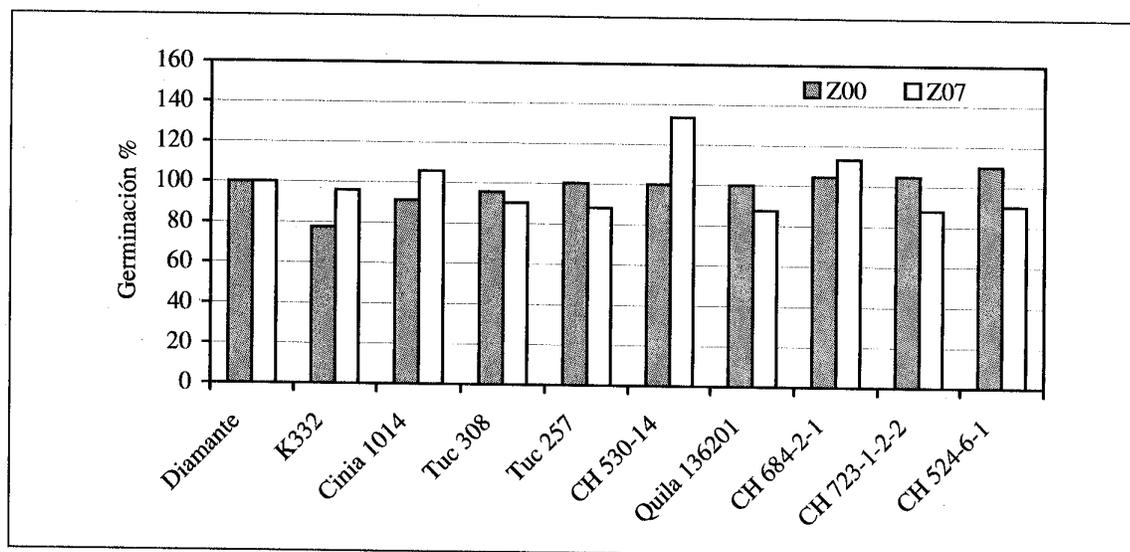


Figura 1. Germinación porcentual, comparado con Diamante-INIA, de las líneas con tolerancia a frío en los estados secundarios de germinación, Z00 y Z07.

Figure 1. Percentual germination, compared with Diamante-INIA, at stages Z00 and Z07, of lines with cold tolerance in both stages.

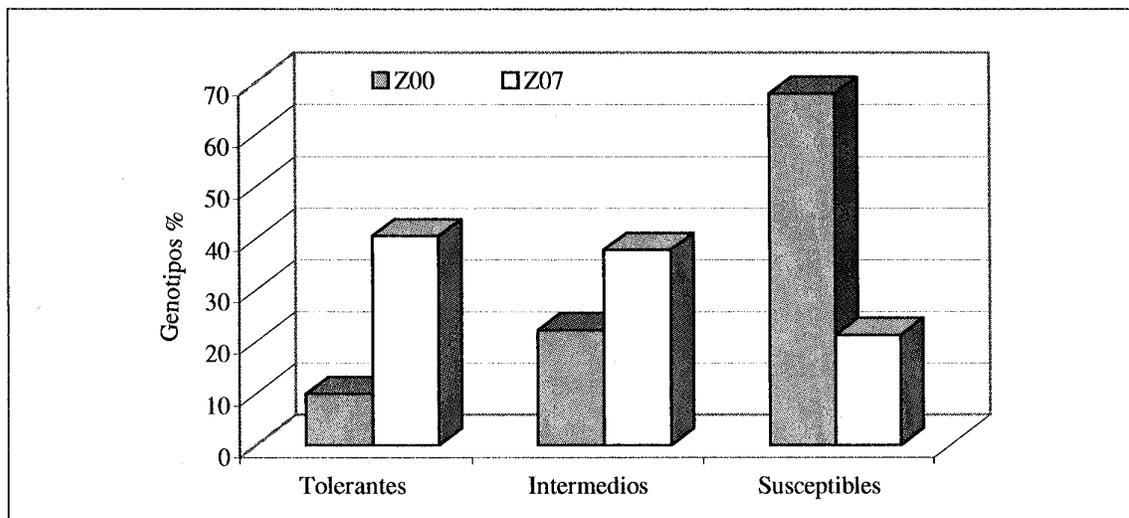


Figura 2. Porcentaje de cultivares y líneas avanzadas clasificadas en diferentes grados de tolerancia al frío en los estados secundarios Z00 y Z07.

Figure 2. Percentage of cultivars and advanced lines classified in different degrees of cold tolerance at germination secondary stages Z00 and Z07.

total de 17 fueron clasificadas como tolerantes. Esto indica, que las líneas promisorias del Proyecto Arroz en la temporada mencionada, carecieron de tolerancia al frío en el estado Z00. Por tanto, sobre la base de los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda introducir un mejoramiento en los niveles de tolerancia al frío en los materiales genéticos que se estudien en el futuro, y que éstos, como mínimo, tengan la tolerancia del cultivar Diamante-INIA, que fue el cultivar comercial testigo más tolerante a esta característica.

La diversidad de respuesta encontrada en los genotipos analizados en ambos estados secundarios de la germinación, hace necesario caracterizar por tolerancia a baja temperatura el germoplasma de arroz, y seleccionar de esta forma progenitores tolerantes con el fin de mantener esta característica en el germoplasma nacional.

CONCLUSIONES

La exposición de la semilla de arroz a baja temperatura, 13 °C, en los estados secundarios Z00 y Z07 de la germinación, reduce la habilidad

para germinar en todos los genotipos analizados. La reducción fue mayor en el estado Z00 que en el estado Z07.

La disminución del período de exposición a frío de 15 a 5 días en Z07, es un método recomendable para determinar tolerancia del material en este estado, ya que permite evaluar en poco tiempo gran cantidad de material.

Considerando que el arroz en Chile se cultiva en una zona templada con presencia de bajas temperaturas y la gran variabilidad en la respuesta del material estudiado, es necesario introducir la determinación de tolerancia en los estados secundarios de germinación Z00 y Z07, en el proceso de selección del programa de mejoramiento de arroz.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy especialmente al Ingeniero Agrónomo Edmundo Beratto, del Centro Regional de Investigación Carillanca por su colaboración y valiosa asesoría durante el desarrollo de la tesis.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, R. 1982. Arroz: antecedentes sobre su producción e investigación. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu N° 12. p. 5-7.
- Alvarado, R. 1999. Influence of air temperature on rice population length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. Póster. 2nd Temperate Rice Conference, Sacramento, California, USA. 13-17 June. University of California, Davis, California, USA.
- Alvarado, R., y P. Grau. 1991. Mejoramiento del arroz en Chile por tolerancia a frío. p. 105-114. In J.P. Puignau (ed.) Diálogo XXXIII. Mejoramiento de arroz. Reunión sobre mejoramiento de arroz en el Cono Sur, Goiana, Brasil. 17-21 junio, 1989. IICA, Montevideo, Uruguay.
- Barceló, J., G. Nicolás, B. Sabater, y R. Sánchez. 1998. Fisiología vegetal. 657 p. Editorial Pirámide, Madrid, España.
- Bertin, P., and J. Bouharmont. 1997. Use of somaclonal variation and *in vitro* selection for chilling tolerance improvement in rice. Euphytica 96:135-142.
- Bertin, P., J.P. Busgoro, J.P. Tilquin, J.M. Kinet, and J. Bouharmont. 1996. Field evaluation and selection of rice somaclonal variants at different altitudes. Plant Breed. 115:183-188.
- Chang, T., and H. Oka. 1976. Genetic variousness in the climatic adaptation of rice cultivars. p. 87-104. In Proceedings of the Symposium on Climate and Rice, Los Baños, Laguna, Philippines. 24-27 September, 1974. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Hamdani, A. 1979. Low temperature problems and cold tolerance research activities for rice in India. p. 39-48. In Report of a Rice Cold Tolerance Workshop, Suweon, Korea. 1978. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- IRRI. 1983. Final report of the Seventh International Rice Cold Tolerance Nursery. 34 p. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines.
- IRRI. 1992. IRRISTAT, User's Manual, Version 3.1. 191 p. International Rice Research Institute, Biometrics Unit, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Khan, D., D. Mackill, and B. Vergara. 1986. Selection for tolerance to low temperature-induced spikelet sterility at anthesis in rice. Crop Sci. 26:694-698.
- Mackill, D., and L. Kiaomao. 1997. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of rice cultivars. Crop Sci. 37:1340-1347.
- Mejía, O. 1988. Identificación de metodologías para la evaluación de tolerancia a bajas temperaturas en arroz (*Oryza sativa* L.). 123 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Nanda, J., and D. Seshu. 1979. Breeding strategies for tolerant rice. p. 91-99. In Report of a Rice Cold Tolerance Workshop, Suweon, Korea. 1978. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Novoa, R., S. Villaseca, P. del Canto, J. Rouanet, C. Sierra, y A. del Pozo. 1989. Mapa agroclimático de Chile. 221 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile.
- Shibata, M. 1979. Progress in breeding cold-tolerant rice in Japan. p. 21-24. In Report of a Rice Cold Tolerant Workshop, Suweon, Korea. 1978. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Sthapit, B., and J. Witcombe. 1998. Inheritance of tolerance to chilling stress in rice during germination and plumule greening. Crop Sci. 38:660-665.

- Sthapit, B., K. Joshi, J. Wilson, et J. Witcombe. 1996. Inheritance of chlorophyll fluorescence in rice under chilling conditions. p. 135-142. *In* Actes du seminaire riziculture d'altitude, Antananarivo, Madagascar. 19 mars-5 avril 1996. Colloques. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Cultures Annuelles, Montpellier, France.
- Tinarelli, A. 1989. El arroz. Versión española de R.M. Carreres O. 575 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Tootmand, D.R., and Y.R.J. Makepeace. 1982. Código decimal de estados de crecimiento en cereales. 20 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental La Platina, Santiago, Chile.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. 269 p. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.