

CAPÍTULO 10

Tolerancia del arroz a la temperatura baja

Maribel Cruz

Contenido

	Página
Resumen	180
Abstract	181
Introducción	181
Revisión de la literatura	181
Daño causado por el frío al cultivo del arroz	183
Sintomatología del daño	183
Mejoramiento por tolerancia del frío	184
Primeras investigaciones	184
Programa del FLAR	184
Evaluación en condiciones controladas	185
Resultados del programa de mejoramiento	187
Referencias bibliográficas	188

Resumen

Se revisan los daños causados por las temperaturas bajas y el frío al cultivo del arroz, la sintomatología del daño y las investigaciones en mejoramiento genético con respecto a la tolerancia del frío. Las temperaturas bajas limitan la producción de arroz en las tierras altas de los trópicos y en las franjas subtropicales de las zonas templadas. Por los daños que causa el frío en varias etapas del desarrollo de las plantas, reducen el rendimiento del cultivo, alargan su ciclo vegetativo y deterioran la calidad del grano. La naturaleza de estos daños y su alcance en el tiempo dependen, entre otros factores, de la duración del período frío, de la intensidad del frío y de la etapa en que se halla el cultivo. Una forma de manejar esta adversidad climática es la tolerancia varietal de este tipo de estrés. Los programas de mejoramiento en el Cono Sur de América Latina hacen selección por tolerancia del frío en diferentes estados fenológicos. Generalmente, lo hacen por exposición del germoplasma a condiciones naturales, una metodología que funciona pero es costosa y lenta. Recientemente, el FLAR (Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego) desarrolló algunos procedimientos en condiciones controladas para acelerar la selección de germoplasma, en los que combinó la tolerancia del frío del arroz tipo Japónica con el potencial de rendimiento y la calidad del arroz tipo Índica. Este objetivo ha sido perseguido constantemente por diversas organizaciones de investigación agrícola en las áreas afectadas. Por eso, el FLAR, desde el 2001, trabaja en

un programa cuyo objetivo principal es combinar el alto rendimiento con la tolerancia del frío para ofrecer germoplasma útil a los socios ubicados en la zona templada de América del Sur donde el frío es una permanente amenaza del cultivo de arroz.

Abstract

Tolerance of rice to low temperatures

The damages caused to rice crops by low temperatures and cold are reviewed, and crop symptoms are indicated. The results of genetic improvement efforts regarding cold tolerance in rice are also discussed. Low temperatures limit rice production in the tropical and subtropical upland areas of temperate zones. The effects of cold temperatures during different stages of plant development include reduced yields, extended vegetative cycle, and deteriorated grain quality. The nature and extent of the damages caused to the crop will depend, among other factors, on the duration and intensity of the cold spell as well as on the stage of the crop when low temperatures occur. One way to deal with adverse climatic conditions is by using varieties tolerant to this type of stress. Rice improvement programs in the southernmost part of Latin America are selecting germplasm for tolerance to cold conditions at different phenological stages. This is usually done by exposing the germplasm to natural conditions—a methodology that works but is both expensive and time-consuming. The Latin American Fund for Irrigated Rice (FLAR) has recently developed several procedures under controlled conditions to accelerate germplasm selection. This strategy combines the cold tolerance of *japonica* rice with the yield potential and grain quality of *indica* rice. This objective has been persistently pursued by different agricultural research organizations in the affected areas. As a result, since 2001 one of FLAR's programs has focused on combining high yields with cold tolerance to offer useful rice germplasm to its partners in temperate areas of South America, where the cold climate represents an ongoing threat to this crop.

Introducción

La temperatura baja afecta el desarrollo del cultivo del arroz. Los daños que causa el frío al cultivo varían según la edad de las plantas y según su estado fisiológico. Dependen, además, de la duración y la intensidad del frío. Los síntomas del daño debido al frío difieren según la etapa del cultivo. Al inicio puede observarse una mala germinación; en el estado de plántula hay decoloración de las hojas, que se tornan rojizas; en el período vegetativo se reduce el crecimiento o disminuye la producción de macollas (o se observan ambos síntomas); en el período reproductivo hay esterilidad en los granos, que es el daño más grave. Ahora bien, todos estos

daños afectan negativamente el rendimiento.

La búsqueda de genotipos tolerantes del frío, de buen rendimiento y de buena calidad de grano, ha sido el objetivo principal del programa de mejoramiento del FLAR para la franja subtropical de la zona templada de América Latina. En esta área predomina el germoplasma de arroz de tipo *Índica*, que tiene poca tolerancia de las temperaturas bajas o simplemente no las tolera.

Revisión de la literatura

El arroz se siembra en una gran diversidad de pisos climáticos. Originalmente crecía en la zona

intertropical de Asia (Satake, 1976) y actualmente se siembra en todos los continentes, excepto en la Antártida (Mackill y Lei, 1997). Las *temperaturas críticas* (por exceso o por defecto) para el desarrollo del cultivo están fuera del rango comprendido entre 20 y 30 °C, y varían según la variedad de arroz, el tiempo de duración de dicha temperatura, la fluctuación diurna y nocturna de la temperatura, y el estado fisiológico de las plantas (Vargas, 1985).

La temperatura baja es uno de los factores abióticos más importantes del cultivo del arroz en la zona subtropical¹. Se calcula que, en el mundo, el área sembrada con arroz y sujeta a los daños del frío llega a 7 millones de hectáreas al año, en las que se han presentado las pérdidas siguientes:

- En 1993, en Hokkaido (Japón), el frío cobró 1000 millones de dólares en 135.000 ha (Kariya, 2003).
- En Australia, la reducción del rendimiento debida a las bajas temperaturas se calculó, en promedio, en 0.68 t/ha al año (Farrell et al., 2001).
- En el Cono Sur de América Latina, cerca de 1 millón de hectáreas pueden resultar afectadas por el frío (Cruz et al., 2001).

Las temperaturas bajas y los bajos niveles de radiación solar limitan de modo importante la producción de arroz en Uruguay y son, además, una de las principales causas de la inestabilidad del rendimiento. La *fecha de siembra* puede allí modificarse para que las etapas más

sensibles del cultivo coincidan con los días en que es menor la probabilidad de que ocurra un tiempo frío y en que es mayor la cantidad de radiación solar disponible para el cultivo (Deambrosi et al., 1997).

Si se siembra arroz en la época adecuada, se evitaría el frío durante las etapas de embuchamiento y de floración (Toriyama, 1962). Si se atrasa la siembra para escapar del frío al inicio del cultivo, aumenta la probabilidad de encontrar frío y menor radiación solar durante la fase reproductiva. Por su parte, la siembra temprana aumenta la probabilidad de encontrar temperaturas bajas durante la fase de establecimiento del cultivo (FLAR, 2000). Una variedad tolerante del frío en la etapa de germinación tendría una emergencia de plántulas uniforme y un buen establecimiento del cultivo, cuando sea necesario hacer una siembra temprana (Cruz, 2003). Según Farrell et al. (2003), las variedades tolerantes del frío se deben sembrar en el tiempo adecuado, para asegurarse de que la fase reproductiva ocurra cuando las temperaturas nocturnas sean las más altas.

En algunos sitios del Cono Sur de América el Sur, los agricultores hacen *siembras tardías* porque carecen de variedades que toleren el frío en la etapa de germinación y porque ciertas condiciones ambientales no les son favorables al principio, como las lluvias que dificultan la preparación del suelo. Por consiguiente, cuando esos cultivos llegan a la fase reproductiva, no hay coincidencia entre la etapa de floración y el período de máxima luminosidad del lugar. Además, la siembra tardía aumenta la probabilidad de que el frío afecte el cultivo en la fase reproductiva, lo cual contribuye a reducir su capacidad de rendimiento (Cruz, 2004).

1. Se considera temperatura baja la que alcanza a producir daños a la planta, pero sin congelarla (Salahuddin y Vergara, 1974).

En Uruguay se evaluaron, sembradas en dos fechas (28/10/99 y 15/12/99)², las variedades comerciales IRGA 417, El Paso 144 e INIA Tacuarí, y las líneas experimentales L2825-CA y L2818-CA. Hubo una pérdida de rendimiento de 7.8, 5.5 y 1.3 t/ha para las tres variedades, respectivamente, comparando los resultados de ambas fechas. Los investigadores destacaron la estabilidad en el rendimiento de las dos líneas experimentales, cuya diferencia de rendimiento fue de 74 y 55 kg/ha, respectivamente, entre una fecha de siembra y otra (Blanco et al., 2000).

Daño causado por el frío al cultivo del arroz

Los daños que causa la temperatura baja al arroz varían según el estado fisiológico del cultivo (Shibata et al., 1970). Los principales son la esterilidad, el retraso en el crecimiento, y el manchado del grano (al que contribuye además un complejo de patógenos); todos afectan el rendimiento.

En los cultivos de arroz en Hokkaido, Japón, la *esterilidad* es el daño agronómico más severo inducido por el frío. El período que va desde la formación del polen hasta la fertilización de los óvulos es muy sensible a la temperatura baja, particularmente en el estado de microsporo joven (Okuno, 2003).

La temperatura *crítica baja* causa la esterilidad de la panícula cuando está en el rango de 15 a 20 °C (Satake, 1976). Nishiyama et al. (1969) observaron que está entre 15 y 17 °C para los genotipos tolerantes y entre 17 y 19 °C para los susceptibles.

2. La segunda fecha no es recomendable para una siembra comercial.

Se han observado varios efectos específicos del frío (Alvarado, 1999):

- Si la temperatura es inferior a 20 °C durante 5 días después de la siembra, la población de plantas de arroz disminuye.
- Si la temperatura está cerca de 16 °C, el período que va de la siembra a la floración se prolonga hasta 120 días (a veces más).
- Cuando la temperatura es menor que 20 °C durante la floración, el porcentaje de esterilidad, que normalmente fluctúa entre 10% y 12%, puede aumentar hasta 60% en esa etapa.

La amplitud térmica grande entre el día y la noche o el frío continuo afecta el cultivo de arroz más que una caída brusca de temperatura. Temperaturas entre 10 y 18 °C limitan considerablemente la producción de arroz (Terres, 1991).

Se espera un rendimiento bajo del cultivo cuando la sumatoria de las temperaturas medias acumuladas por el cultivo es menor que 2700 °C; el rendimiento será intermedio si esa sumatoria está entre 2700 y 2850 °C, y será alto cuando sea mayor que 2850 °C (Alvarado y Grau, 1991).

Sintomatología del daño

No se puede diagnosticar en forma inmediata e inequívoca el daño debido al frío porque no hay un cambio único y característico en las plantas (McKersie, 1996). Además, la mayoría de estos síntomas requieren de tiempo para expresarse. Algunos de los síntomas más claros son los siguientes:

- Estancamiento del crecimiento (o crecimiento lento) de las plántulas.
- Decoloración de las hojas.

- Macollamiento reducido.
- Retraso en la floración.
- 'Exerción' deficiente de la panícula, que es más atacada por enfermedades.
- Degeneración de la punta de las panículas.
- Esterilidad de las espiguillas o espículas.
- Maduración irregular y senescencia tardía (Handani, 1979).
- Llenado deficiente de los granos (Anand et al., 1999).

Mejoramiento por tolerancia del frío

Aunque en el trópico y en el subtropico de América del Sur el germoplasma tropical de arroz ha causado un impacto positivo en la producción arroceras, este germoplasma tiene aún una seria limitante de la expresión máxima de su potencial de rendimiento: su susceptibilidad a las temperaturas bajas.

Primeras investigaciones

Se han realizado bastantes estudios sobre esta característica y hay varias instituciones agrícolas interesadas en investigarla:

- A fines de los 90 se hizo en Colombia un estudio clave sobre la tolerancia del arroz a la temperatura baja (Mejía, 1988).
- Con apoyo del FLAR se hicieron estudios en Brasil sobre la genética de esa característica (Cruz, 2001), y sobre la metodología de evaluación de la tolerancia del frío, en Colombia (Cruz, 2004).
- El IRRI, el FLAR, el INIA de Uruguay, el INIA de Chile, JICA-Japón, NARCH-Hokkaido, el IRGA, Embrapa, el Instituto Genómico de Beijing y la Universidad de California, son

algunas de las instituciones que investigan esta respuesta del arroz al frío.

Programa del FLAR

El Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR) inició, en el 2001, un programa de mejoramiento del arroz respecto al carácter de tolerancia del frío.

- **Objetivo.** Obtención de genotipos que combinen el alto potencial de rendimiento y la buena calidad del grano del grupo Índica con la tolerancia del frío del grupo Japónica.
- **Inicio.** Las etapas iniciales de este programa de mejoramiento se cumplen en la estación CIAT-Palmira, en Colombia, donde se cuenta con la infraestructura y capacidad suficientes para generar gran cantidad de cruzamientos.
- **Selecciones.** En cada generación se seleccionan (en condiciones controladas) las plantas tolerantes del frío, y en el campo se seleccionan éstas según otras características de interés. La generación F_3 se entrega a los socios del Cono Sur, y ellos se encargan de llevar los materiales recibidos hasta su etapa final (FLAR, 2004).

Flujo de trabajo y manejo de poblaciones

Los primeros cruzamientos tenían como fuente de tolerancia el germoplasma de tipo Japónica (Quillas). En los cruzamientos del siguiente ciclo se utilizó germoplasma producido dentro del programa por medio de cultivo de anteras. En la actualidad se usan como progenitores donantes de tolerancia del frío aquellos que, obtenidos por mejoramiento tradicional, tengan características agronómicas que superen las que poseen las Quillas.

Generación F₁: Se siembra sin someterla a evaluación por su reacción al frío. Se selecciona respecto a las siguientes características: ciclo intermedio a corto, altura de planta intermedia a baja, muy poca esterilidad en los granos, grano de largo a extralargo, sanidad de la planta, grosor de los tallos y tipo de planta semiabierto.

Generación F₂: Se evalúa esta generación por su tolerancia del frío en estado de plántula (50 plantas por familia), y las plantas tolerantes se trasplantan al campo. En éstas se hace selección respecto a los caracteres considerados en la anterior generación, y se tienen en cuenta, además, la tolerancia de la panícula al desgrane, la ausencia de aristas en el grano y el carácter glabro de la planta.

Generación F₃: Esta generación se divide en tres grupos, cada uno con el siguiente objetivo:

- *Grupo 1:* para evaluación respecto al frío (tolerancia de las temperaturas bajas). Esta semilla se divide a su vez en tres subgrupos, cada uno constituido por plantas en diferente estado de desarrollo:
 - en el primero se evalúan las plántulas, en el segundo las semillas y en el tercero se evalúan más adelante, en su estado reproductivo, los individuos de los dos subgrupos anteriores que muestren tolerancia del frío;
 - las plántulas del primer subgrupo que toleren el frío se llevan al campo, y continúan el avance generacional (con las respectivas evaluaciones) hasta la generación F₅; con plantas de esta generación se conforma el VIOFLAR Templado.

- *Grupo 2:* para evaluación respecto a la calidad del grano. Esta evaluación consiste en determinar el contenido de amilosa del grano y el tipo de grano (largo, corto, etc.). Además, con los datos de centro blanco de la F₂ se eliminan las familias en que este valor sea mayor que 0.8.
- *Grupo 3:* para conformación de los viveros de observación VIOFLAR F₃, que se envían a los socios colaboradores del Cono Sur de América Latina; allí se evalúan los materiales en varias localidades y con fechas de siembra tempranas.

Generaciones F₄ o F₅: Retornan a Colombia para evaluación y avance de generaciones.

Evaluación en condiciones controladas

Era necesario desarrollar una *metodología de evaluación* en un ambiente controlado, porque la acción de la temperatura en el campo es impredecible y dificulta y encarece la selección de los materiales. Esta metodología considera las etapas del cultivo y consta de los siguientes pasos:

En la etapa de germinación

Las semillas de arroz se seleccionan y se desinfectan con hipoclorito, se acomodan sobre tiras de papel humedecidas con una mezcla de agua destilada y un fungicida; se colocan luego en una bandeja cubierta con una bolsa plástica, y se llevan a germinar (junto con los testigos) a una temperatura de 12 °C durante un periodo de 18 a 21 días.

La evaluación se realiza cuando el 80% de las semillas del testigo tolerante del frío (Quilla 66304) tenga un coleóptilo de 5 mm de longitud (o mayor que 5 mm) y las del testigo susceptible (Oryzica 1) no presenten elongación del coleóptilo (Cruz, 2004). La evaluación consiste en medir

los coleóptilos de las semillas, y las líneas en que más del 60% de sus semillas tengan un coleóptilo de 5 mm de longitud (o mayor) se consideran tolerantes del frío en la germinación.

En la etapa de plántula

Se someten plantas de 21 días de edad (de 3 a 4 hojas) a 5 °C durante 32 horas; 7 días después de este tratamiento se evalúan, en condiciones normales (24 °C), aplicando una escala visual de daño que va de 1 a 9 (donde 1 y 3 indican planta tolerante, 5 intermedia, y 7 y 9 susceptible). Las plantas del testigo tolerante (Quilla 64117) deben recibir calificaciones de 1 ó 3, y las del testigo susceptible (Oryzica 1) deben calificarse con 7 ó 9; en caso contrario, la evaluación no es confiable.

En la fase reproductiva

Las plantas de los genotipos que se evalúan se dividen en dos grupos: en uno

se someten a 5 °C durante 32 horas, y en el otro se usan como testigos, en condiciones normales (24 °C), para poder comparar un mismo genotipo con estrés por el frío y sin ese estrés. En cada grupo evaluado se siembran además genotipos de reacción conocida (L3616 y L2825-CA), que sirven como testigos tolerantes. Como control del tratamiento se incluye un material susceptible (Oryzica 1) para garantizar la existencia del estrés.

Después del tratamiento con frío antes indicado, todos los materiales se dejan en una casa de malla (24 °C); una vez culmine su ciclo de desarrollo, se cosechan dos panículas por planta previamente identificadas, se determina en ellas el porcentaje de esterilidad del grano, y se pesan los granos llenos de cada panícula; se obtiene así un *índice de tolerancia del frío* (I):

$$I = IT \times CP \quad \text{donde:}$$

$$IT = \frac{IT_i}{IT_c} = \frac{\text{Tolerancia del frío del Genotipo } i}{\text{Tolerancia del frío de los Testigos}}$$

$$IT_i = \frac{G_{ci}}{G_i} = \frac{\text{Genotipo } i \text{ en condiciones de frío}}{\text{Genotipo } i \text{ en condiciones normales}}$$

$$IT_c = \frac{C_c}{C} = \frac{\text{Promedio de genotipos testigo en frío}}{\text{Promedio de genotipos testigo en condiciones normales}}$$

$$CP = \frac{G_i}{C} = \frac{\text{Genotipo } i \text{ en condiciones normales}}{\text{Genotipos testigo en condiciones normales}}$$

Condiciones normales: 24 °C. Genotipos testigo tolerantes: L2825-CA y L3616.

El índice I comprende la reacción al frío y un componente del rendimiento obtenido en condiciones normales. Los genotipos seleccionados como tolerantes tienen un índice I cercano a la unidad. Los cálculos se hacen utilizando el peso de los granos llenos dada la alta correlación (0.97) entre esta variable y el número de granos llenos por panícula en condiciones de estrés. El tratamiento con frío puede aplicarse tanto en la etapa de embuchamiento como cuando el 25% de la panícula ha salido de la hoja bandera.

Resultados del programa de mejoramiento

En el primer año del programa (2001) se caracterizaron las fuentes de tolerancia con las que se iniciaron los cruzamientos. Un año y medio más tarde se logró sembrar las primeras poblaciones tolerantes del frío en la etapa de germinación, en el Cono Sur; estas poblaciones habían sido obtenidas rápidamente por medio de mejoramiento tradicional y cultivo de anteras (FLAR, 2004).

En los 7 años siguientes se han hecho 2640 cruzamientos, un promedio de 300 cruzamientos triples y 50 simples por año. Se desarrollaron tres metodologías de evaluación de la respuesta al frío: una para la germinación, otra para la etapa de plántula y otra para la etapa de floración. En esta última se empezará a trabajar con marcadores moleculares porque la evaluación fenotípica es dispendiosa.

El programa avanza positivamente. Los viveros más recientes tienen un material cuyo ciclo de vida se ajusta más al que requieren los socios colaboradores, sus panículas son de buen tamaño, la calidad de su grano ha mejorado, y se mantienen fuertes en el plano sanitario. Han mejorado también en su potencial de rendimiento, aunque aún no superan mucho a los testigos locales.

El programa brinda además a los socios colaboradores un flujo continuo de germoplasma que amplía la base genética de sus propios programas; cumple así con el objetivo de colaborar en la obtención de nuevas variedades mejoradas. Se han recibido los siguientes reportes de los socios:

- **Argentina.** Para la zafra 2007/2008 se manejan los siguientes materiales:
 - 1 línea en las etapas finales de evaluación de los Ensayos Regionales; se está multiplicando semilla con posibilidades de ser lanzada en el 2011;
 - 3 líneas en las etapas finales de evaluación de los Ensayos Regionales; están en su primer año;
 - 30 líneas en distintas etapas de evaluación intermedia y 120 líneas en evaluación preliminar.
- **Brasil.** Para la zafra 2007/2008 se manejan los siguientes materiales:
 - 4 líneas en ensayos avanzados, 19 líneas en ensayos preliminares y 4 líneas en ensayos de época de siembra;
 - hay también 45 líneas en parcelas de observación.
- **Uruguay.** Se manejan los siguientes materiales:
 - 1 línea en la evaluación nacional de cultivares; está en su primer año;
 - 17 líneas en la evaluación avanzada, 30 líneas en la evaluación intermedia y 35 líneas en la evaluación preliminar.

El continuo progreso del programa permitirá dar un mejor servicio a los programas de mejoramiento de los socios colaboradores. Se han obtenido resultados que representan un acercamiento efectivo a la solución de una de las limitaciones

más serias del arroz en las zonas frías subtropicales.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, J.R.; Grau, P. 1991. Mejoramiento del arroz en Chile por tolerancia a frío. In: Diálogo XXXIII: Mejoramiento de arroz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Montevideo, Uruguay. p. 105-114.
- Alvarado, R. 1999. Influence of air temperature on rice population length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. Cartel presentado en la Second Temperate Rice Conference reunida en Sacramento, California, del 13 al 17 de junio de 1999. Universidad de California, Davis, CA, EE.UU.
- Anand, G.; Amirthadevarathinam, A.; Rogbell, E. 1999. Combining ability and heterosis for cold tolerance in rice. *Oryza* 36(2):114-117.
- Blanco, P.; Gaggero, M.; Ávila, S.; Lavecchia, A.; Marchesi, C.; Pérez de Vida, F. 2000. Mejoramiento genético: Evaluación final de cultivares en época de siembra. In: Arroz Resultados Experimentales 1999-2000. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay. p. 4-10.
- Blanco, P.; Gaggero, M.; Pérez de Vida, F.; Ávila, S.; Zorrilla, G.; Lavecchia, A.; Maerchesi, C.; Capdevielle, F.; Castillo, A. 2003. Desarrollo de cultivares en el programa de mejoramiento genético de arroz de INIA-Uruguay. In: Memorias de la 3a. Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- Chung, G.S. 1979. The rice tolerance program in Korea. In: Informe de un taller sobre tolerancia del frío en arroz. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. 139 p.
- Cruz, R.P. da. 2003. Evaluation of the cold tolerance for the genotypes of the international rice cold tolerance nursery at the germination stage. In: Memorias de la Tercera Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- Cruz, R.P. da. 2001. Tolerancia ao frio em arroz irrigado: Metodologias de avaliação e bases genéticas. Tesis (Doctorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, Brasil. 158 p.
- Cruz, M. 2004. Metodologías para evaluación de tolerancia al frío en las etapas de germinación y floración del arroz (*Oryza sativa* L.) y estudio genético del estrés producido por el frío en la etapa de germinación. Tesis (Maestría). Universidad del Valle, Cali, Colombia. 99 p.
- Cruz, M.; Pulver, E.; Jennings, P.; Berrío, L.; Blanco, P.; Rosso, A.; Marassi, J. 2001. Identificación de materiales genéticos de arroz por tolerancia de temperaturas bajas. In: Memorias del II Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado y XXIV Reunião da Cultura do Arroz Irrigado celebrados en Porto Alegre-RS, Brasil. Porto Alegre, Brasil. p. 15-17.

- Deambrosi, E.; Méndez, R.; Roel, A. 1997. Estrategia en la producción de arroz para un mejor aprovechamiento de las variables climáticas. Serie Técnica INIA (Uruguay) No. 89.
- Farrell, T.C.; Fox, K.; Williams, R.; Fukai, S. 2001. The cost of low temperature to the NSW rice industry. Memorias de la 10th Australian Society of Agronomy Conference, Hobart, Australia. Disponible también en: www.regional.org.au/au/asa/2001
- Farrell, T.C.; Fox, K.; Williams, R.; Reinke, R.; Fukai, S.; Lewin, L. 2003. Reducing cold damage in Australia. In: Memorias de la Tercera Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- FLAR (Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego). 2000. Evaluation for cold tolerance in the germination stage; a preliminary report.
- FLAR (Fondo Latinoamericano para Arroz con Riego). 2004. Actividades del programa de mejoramiento de arroz para la zona templada de América Latina. Foro Arroceros Latinoamericano 10(20):24-25.
- Handani, A.R. 1979. Low temperature problems and cold tolerance research activities for rice in India. In: Report of a rice cold tolerance workshop. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. 139 p.
- Jennings, P.R.; Coffman, W.R.; Kauffman, H.E. 1985. El mejoramiento del arroz. In: Tascón, E.; García, E. (eds.). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. p. 205-231.
- Kariya, K. 2003. Chilling injuries in reproductive phase of rice plants. National Agricultural Research Center for Hokkaido. In: Memorias de la Tercera Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- Maekawa, M.; Kariya, K.; Satake, T.; Kita, T. 1987. Gene analyses on cold resistance in foreign rice cultivar. Japanese Journal of Breeding 37(Suppl. 1):184-185.
- Mackill, D.J.; Lei, X. 1997. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of rice cultivars. Crop Science 37: 1340-1346.
- McKersie, B.D. 1996. Chilling stress. Department of Crop Science, University of Guelph. Disponible en: www.agronomy.psu.edu
- Mejía, O. 1988. Identificación de metodologías para la evaluación de la tolerancia de temperaturas bajas en arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis (Ing. Agrónoma). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 123 p.

- Nishiyama, I.; Hayase, H.; Satake, T. 1969. Protecting effect of temperature and depth of irrigation water from sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage of rice plants. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 38:554-555.
- Okuno, K. 2003. Genetics and genomics of cold tolerance in rice: Informe del National Agricultural Research Center for Hokkaido Region. In: Memorias de la Tercera Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- Reyes, B.G.; Morsy, M.; Gibbons, J. 2003. Low temperature stress-induced gene expression in rice seedlings: Tools for transcription analysis. In: Memorias de la Tercera Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado reunida en Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay.
- Salahuddin, A.B.M.; Vergara, B.S. 1974. Criteria for screening rice cultivars resistant to low water temperature at seedling stage. *Sabão Journal* 6(2):151-156.
- Satake, T. 1976. Sterile-type cool injury in paddy rice plants. Memorias del Symposium on Climate and Rice. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. p. 281-300.
- Satake, T.; Jayase, H. 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants; estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 39:468-473.
- Shibata, M. 1979. Progress in Verdín cold tolerant rice in Japan. In: Informe del Rice Cold Tolerance Workshop. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. 139 p.
- Shibata, M.; Sasaki, K.; Shimzazaki, Y. 1970. Effects of air temperature and water temperature on the percentage of sterile grains. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 39:401-408.
- Terres, A.L. 1991. Revisão sucinta dos efeitos do frio em arroz (*Oryza sativa* L.). In: Diálogo XXXIII: Mejoramiento de arroz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Uruguay. Montevideo, Uruguay. p. 91-103.
- Toriyama, K. 1962. Studies on the low temperature tolerance of rice cultivars, with special references to testing methods and incidences of delayed heading. Bulletin of the Aomori Agricultural Experimental Station 7:109-153.
- Vargas, J.P. 1985. El arroz y su medio ambiente. In: Tascón, E.; García, E. (eds.). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. p. 19-35.
- Yordanov, I.; Velikova, V. 2000. Photoinhibition of photosystem 1. Acad. M. Popov, Institute of Plant Physiology in Sofia, Bulgaria. *Bulgary Journal of Plant Physiology* 26(1-2):70-92.