

COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) SELECCIONADOS PARA TOLERANCIA A LAS BAJAS TEMPERATURAS EN SIEMBRA TEMPRANA DE FRÍO

Sandra H. Díaz[✉], R. Morejón, R. Castro y Noraida Pérez

ABSTRACT. The work was carried out in “Los Palacios” Rice Research Station, where the behavior of rice genotypes selected for cold tolerance under field conditions in early cold seeding was studied. A group of morphologic and agronomic traits previous to crop harvest was evaluated. Data were statistically processed by multivariate techniques of Principal Components and Cluster. Genotypes were grouped in 15 classes and there was a differentiated answer of genotypes to cold conditions.

Key words: rice, *Oryza sativa* L., cold tolerance, varieties, genotypes

RESUMEN. El trabajo se realizó en la Estación Experimental del Arroz Los Palacios, donde se estudió el comportamiento de genotipos de arroz, seleccionados para tolerancia a las bajas temperaturas en condiciones de campo en siembra temprana de frío. Se evaluó un grupo de caracteres morfológicos y agronómicos previo a la cosecha del cultivo. Los datos fueron procesados estadísticamente mediante las técnicas multivariadas de Componentes Principales y Conglomerados. Los genotipos fueron agrupados en 15 clases y hubo respuesta diferenciada de los genotipos a las bajas temperaturas.

Palabras clave: arroz, *Oryza sativa* L., tolerancia al frío, variedades, genotipos

INTRODUCCIÓN

El arroz forma parte importante de la dieta del cubano, el cual consume más de 60 kg per cápita por año. En Cuba se siembran anualmente más de 200 000 ha en diferentes tecnologías y ecosistemas, todos ellos con diferentes factores que limitan la producción; dentro de estos se puede señalar la incidencia de factores abióticos como la sequía, salinidad y bajas temperaturas (1).

Las bajas temperaturas provocan la aparición de distintas alteraciones en el cultivo, como el crecimiento anormal o los daños en las distintas partes de la planta, lo que depende del estado de desarrollo del arroz y la duración e intensidad del período de frío. En general, los síntomas visibles provocados por temperaturas adversas durante el estado vegetativo del cultivo, son la baja germinación, decoloración de las hojas, muerte de las plantas, bajo número de tallos, detención del desarrollo y reducción de la capacidad de macollamiento; durante el estado reproductivo producen excersión incompleta de la panícula, degeneración de las espiguillas, polen inviable, alteración de la antesis, esterilidad y deformación de granos (2).

En este sentido, cada día cobra mayor importancia la búsqueda de fuentes de resistencia en los programas

de mejoramiento, con el propósito de minimizar los cuantiosos daños que provocan las bajas temperaturas. Atendiendo a los criterios anteriores se realizó el presente trabajo, con el objetivo de evaluar el comportamiento de un grupo de genotipos de arroz seleccionados para tolerancia a las bajas temperaturas en siembra temprana de frío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Provenientes de la selección individual realizada en condiciones controladas, se sembraron 46 genotipos de diferentes generaciones procedentes de distintas combinaciones híbridas y 12 genotipos que incluyen variedades resistentes a las bajas temperaturas (Tabla I).

La siembra se realizó primeramente en placas petri el 24 de octubre de 2003 y 10 días después se hizo el transplante en condiciones de campo a surcos de 2 m, con distancia de plantación de 15x15 cm. Las atenciones culturales de fertilización, riego y tratamientos fitosanitarios se efectuaron según lo estipulado en el Instructivo técnico del cultivo del arroz (3).

Previo a la cosecha del cultivo se evaluaron los siguientes caracteres:

- X1. Altura Final
- X2. Número de panículas por planta
- X3. Granos vanos por panícula
- X4. Peso de 1 000 granos
- X5. Granos llenos por panícula
- X6. Longitud de la panícula
- X7. Rendimiento

Ms.C. Sandra H. Díaz y Ms.C. R. Morejón, Investigadores Agregados; Ms.C. R. Castro y Noraida Pérez, Investigadores Auxiliares de la Estación Experimental del Arroz “Los Palacios”, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal1, San José de las Lajas., La Habana, CP 32 700.

✉ sanroge2006@yahoo.es, shdiaz@inca.edu.cu

Tabla I. Genotipos evaluados en condiciones de campo

Genotipo	Cruzamiento	Generación	Genotipo	Cruzamiento	Generación
1	J-104 / China	F8	30	J-104 / China	F5
2	J-104 / China	F8	31	J-104 / China	F5
3	J-104 / China	F8	32	J-104 / China	F5
4	J-104 / China	F8	33	J-104 / China	F5
5	J-104 / China	F8	34	J-104 / China	F5
6	J-104 / China	F5	35	J-104 / China	F5
7	J-104 / China	F5	36	J-104 / China	F5
8	J-104 / China	F5	37	J-104 / China	F5
9	J-104 / China	F5	38	Somewake / INCA LP-11	F8
10	J-104 / China	F5	39	China / INCA LP-2	F6
11	J-104 / China	F5	40	China / INCA LP-2	F6
12	J-104 / China	F5	41	China / INCA LP-2	F6
13	J-104 / China	F5	42	China / INCA LP-2	F6
14	J-104 / China	F5	43	China / INCA LP-2	F6
15	J-104 / China	F5	44	China / INCA LP-2	F6
16	J-104 / China	F5	45	China / INCA LP-2	F6
17	J-104 / China	F5	46	China / INCA LP-2	F6
18	J-104 / China	F5	47	Dodo	
19	J-104 / China	F5	48	IR 837	
20	J-104 / China	F5	49	J-104	
21	J-104 / China	F5	50	China	
22	J-104 / China	F5	51	INCA LP-2	
23	J-104 / China	F5	52	INCA LP-5	
24	J-104 / China	F5	53	INCA LP-11	
25	J-104 / China	F5	54	Vietnamita 2084	
26	J-104 / China	F5	55	ECIA 1715	
27	J-104 / China	F5	56	IAC-22	
28	J-104 / China	F5	57	8811	
29	J-104 / China	F5	58	8822	

El sistema de evaluación estándar y el formulario de descripción varietal para el arroz fueron las metodologías empleadas para realizar las evaluaciones. Los datos obtenidos se analizaron utilizando las técnicas estadísticas multivariadas de Componentes Principales y Conglomerados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla II muestra las correlaciones entre los siete caracteres evaluados. Se aprecian correlaciones fuertes y positivas del rendimiento con el número de panículas por planta, la longitud de la panícula, los granos llenos por panícula y la altura final, coincidiendo con otros resultados obtenidos cuando se estudió el comportamiento de variedades de arroz de diferente procedencia en Los Palacios y la aplicación de técnicas multivariadas en la clasificación morfoagronómica de genotipos de arroz obtenidos en este mismo lugar, respectivamente (4, 5).

Además, se ha examinado la relación entre la tolerancia al frío y el tipo de planta o habilidad productiva.

Las líneas F3 derivadas de un cruce, en el cual *Somewake*, un cultivo nativo con muy alta tolerancia al frío, fue usado como uno de los progenitores, exhibió las siguientes relaciones: una correlación significativamente positiva entre la tolerancia al frío y el ciclo, la longitud de la panícula y el número de granos por panícula y correlaciones significativamente negativas entre la tolerancia al frío y el número de hijos y panículas (6).

En Chile, se ha informado una relación positiva entre la temperatura media y el rendimiento en granos, 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 cinco días posteriores a la siembra disminuyen la población de arroz; el período de la siembra a la 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 (7, 8).

La longitud de la panícula aparece correlacionada también directamente con la altura final y los granos llenos por panícula, y de forma indirecta con los granos vanos de estas.

Asimismo, numerosos estudios han sido conducidos respecto a las relaciones entre la tolerancia al frío en las etapas de inflorescencia y anthesis (9). Sin embargo, los resultados varían significativamente entre los estudios; estas variaciones pueden en su mayoría deberse a diferencias en los cultivares usados; por lo tanto, serán necesarias futuras investigaciones en este sentido.

De igual forma, el carácter granos llenos por panícula estuvo correlacionado inversamente con los granos vanos y el peso de 1 000 granos. Resultados similares se obtuvieron en otras investigaciones al clasificar morfoagronómicamente genotipos de arroz usando técnicas multivariadas (5).

Teniendo en cuenta el Análisis de Componentes Principales (Tabla III), las dos primeras componentes recogen el 60.9 % de la variabilidad total observada. En este caso el rendimiento, la longitud de la panícula y los granos llenos por panícula fueron las variables que caracterizaron la componente 1 y el peso de 1 000 granos y los granos vanos por panícula a la componente 2.

Tabla II. Matriz de correlaciones fenotípicas

	Altura final	Número panículas/planta	Granos vanos/panícula	Peso 1000 granos	Granos llenos/panícula	Longitud/panícula
Número panículas/planta	0.238					
Granos vanos/panícula	-0.122	-0.061				
Peso 1000 granos	0.002	-0.065	0.363			
Granos llenos/panícula	0.192	0.255	-0.514	-0.386		
Longitud/panícula	0.397	0.353	-0.379	0.034	0.439	
Rendimiento	0.410	0.593	-0.251	-0.061	0.415	0.526

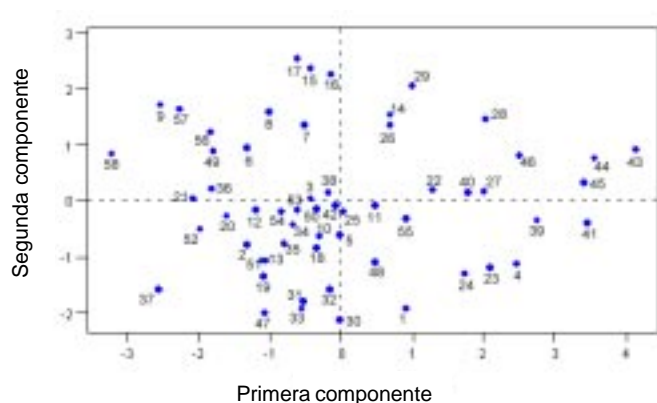
Los coeficientes mayores a 0.3541 representan las asociaciones significativas para $p \geq 0.01$

Tabla III. Valores propios y porcentaje de contribución y acumulado de las componentes y correlaciones de estas con las variables originales

	C1	C2	C3	C4	C5
Valores propios	2.8268	1.4368	0.8624	0.7169	0.4470
% contribución	0.404	0.205	0.123	0.102	0.064
% acumulado	0.404	0.609	0.732	0.835	0.899
Altura final	-0.319	0.310	-0.372	0.779	0.019
Número panículas/planta	-0.360	0.321	0.642	-0.107	0.225
Granos vanos/panícula	0.350	0.464	0.329	0.216	-0.634
Peso 1000 granos	0.182	0.610	-0.393	-0.471	-0.055
Granos llenos/panícula	-0.436	-0.333	-0.008	-0.139	-0.731
Longitud/panícula	-0.449	0.173	-0.374	-0.301	-0.076
Rendimiento	-0.471	0.267	0.217	-0.053	0.071

También en otros trabajos se utilizó el Análisis de Componentes Principales de varios caracteres, para estudiar el efecto de la selección para tolerancia al frío sobre el tipo de panícula en generaciones avanzadas. Las poblaciones híbridas sometidas al análisis fueron resultantes de un cruzamiento entre cultivares Indicas y Japónicas, con el objetivo de desarrollar genotipos mejorados con tolerancia al frío y alta productividad (10).

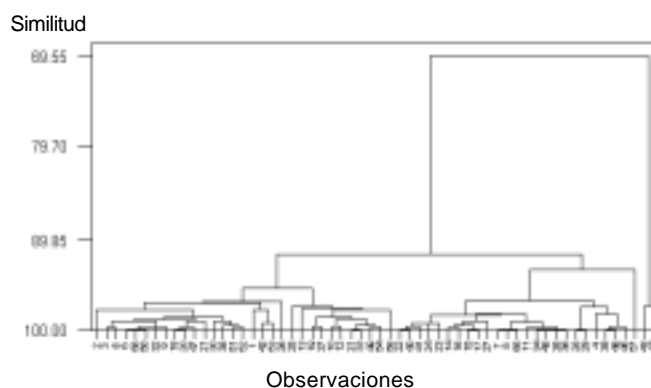
La distribución de los genotipos según las componentes consideradas (C1 y C2) se representa en la Figura 1, apreciándose una gran dispersión, por lo que se decidió no realizar ningún tipo de agrupamiento varietal; sin embargo, es importante destacar que los individuos que se encuentran a la izquierda de la componente 2, o sea, en los cuadrantes II y III, resultaron ser los de mejor comportamiento al presentar los mayores rendimientos, más granos llenos por panícula y las panículas más grandes. A su vez, los que se ubicaron en el cuadrante II combinaron las características antes mencionadas con los mayores valores para el peso de 1 000 granos y granos vanos por panícula.

**Figura 1. Distribución de los genotipos para las dos primeras componentes**

Las bajas temperaturas afectan directamente la diferenciación de la panícula y el consiguiente potencial de rendimiento y la fertilidad de las espiguillas, resultando en unos pocos granos. Estos daños son particularmente significativos durante la etapa de microesporogénesis del polen y causaron esterilidad masculina. Segundo, el deterioro de la fotosíntesis reduce el crecimiento y resulta en

pérdidas directas del rendimiento, ya que están menos disponibles los carbohidratos para la producción de granos (11).

El dendrograma resultante del Análisis de Conglomerados aparece en la Figura 2 y en la Tabla IV se presentan las medias por variables y los genotipos pertenecientes a las 15 clases conformadas.

**Figura 2. Dendrograma obtenido a través del Análisis de Conglomerados**

Las clases XIV y XV integradas por las líneas 8811 y 8822, respectivamente, se caracterizaron por presentar mayor altura, panículas por planta, panículas más grandes y mejores rendimientos, solo superadas en este último carácter por la línea 13 de la combinación híbrida J-104/China, que se ubicó de forma independiente en la clase 7, presentando además el mayor número de granos llenos por panícula. Está demostrado que dentro del rango crítico de bajas y altas temperaturas, estas pueden afectar el rendimiento de la planta a través de su influencia sobre el macollamiento, la formación de espiguillas y su maduración, lo cual puede cambiar de acuerdo con el genotipo.

Por otra parte, la variabilidad entre los genotipos de arroz se esperaba, debido a los diferentes orígenes y las subespecies a que pertenecen. Sin embargo, la variabilidad para la tolerancia a las bajas temperaturas dentro de la subespecie Indica, resulta interesante para el mejoramiento de genotipos tolerantes al frío y ser cultivados en Río Grande del Sur, así como utilizados como progenitores, previniendo los problemas de esterilidad que se presentan en los cruzamientos de Indica x Japónica (12).

Tabla IV. Distribución de los genotipos y las medias por clase, según el Análisis de Conglomerados

Clases	Altura final	Número panículas/planta	Granos vanos/panícula	Peso 1000 granos	Granos llenos/panícula	Longitud/panícula	Rendimiento
I	67.0000	13.0000	19.0000	27.0500	140.0000	22.3700	3.2900
II	87.5000	10.0000	8.0000	30.3200	171.0000	25.8700	3.3600
III	96.1720	12.0000	14.9333	29.1300	154.4000	25.5447	4.2407
IV	79.6250	10.2500	34.2500	30.0500	112.0000	22.2700	2.2575
V	91.2500	12.3333	31.7222	29.1317	133.7778	23.7094	3.4583
VI	94.5000	12.6250	23.2500	27.8275	181.8750	24.6038	3.5963
VII	84.0000	11.0000	21.0000	29.1000	199.0000	24.6200	4.8400
VIII	80.0000	13.0000	37.0000	28.8000	175.0000	25.2500	3.6300
IX	96.0000	13.0000	39.0000	31.6000	157.0000	25.2500	2.5300
X	100.0000	11.5000	38.5000	31.1500	106.0000	24.3100	3.1600
XI	76.0000	14.5000	19.0000	30.1600	158.0000	24.4050	4.1300
XII	83.0000	10.0000	38.0000	31.0000	64.0000	21.0000	1.9200
XIII	84.0000	11.0000	37.0000	31.0000	86.0000	21.4200	1.7000
XIV	123.5000	15.0000	24.0000	28.5700	128.0000	28.3600	4.6800
XV	113.0000	17.0000	25.0000	28.1700	188.0000	27.8900	4.3800
Clases	Genotipos						Efectivos
I	1						1
II	2						1
III	3.5.6.56.50.32.9.18.20.47.21.30.38.51.52						15
IV	4.39.46.45						4
V	22.40.41.24.23.14.16.15.17.27.7.8.55.11.34.48.35.36						18
VI	19.37.10.12.31.33.49.54						8
VII	13						1
VIII	25						1
IX	26						2
X	28.29						2
XI	42.53						1
XII	43						1
XIII	44						1
XIV	57						1
XV	58						1

Siguieron en orden con respecto al rendimiento, las clases III y XI, donde se incluyen nueve líneas resultantes del cruzamiento J-104/China, una línea de la combinación híbrida *Somewake*/INCA LP-11 y otra de China/INCA LP-2. En estas clases se encuentran también las variedades INCA LP-2, INCA LP-5, INCA LP-11, IAC-22, Dodo y China. Estos genotipos se destacaron, además, al alcanzar los menores valores para la variable granos vanos por panícula, solo superados por la línea 2 (clase II) del cruzamiento entre los cultivares J-104 y China, aspecto que resulta sumamente importante en estas condiciones, ya que las bajas temperaturas pueden causar malformaciones y elevar la tasa de esterilidad de las espiguillas, con el correspondiente incremento del porcentaje de granos vacíos durante la fase reproductiva, desde la iniciación de la panícula hasta el final de la floración. La persistencia de días fríos y lluviosos al inicio del espigado puede retrasar la floración. El frío también puede inducir esterilidad durante la antesis, retrasando la apertura de las flores e inhibiendo la frecuencia (13).

También estas clases presentaron un buen comportamiento para el carácter granos llenos por panícula. Los cultivares que acumularon mayores cantidades de espermita en las plántulas produjeron más cantidades de biomasa ($r=0.663$; $p\leq 0.01$), lo que trae como resultado la menor esterilidad de las espiguillas o el incremento de la tolerancia al estrés por frío en el estado reproductivo (11).

Los peores rendimientos fueron característicos de los genotipos correspondientes a las clases XIII y XII; en ese orden, están integradas por dos líneas de la combinación híbrida China/INCA LP-2 (F6), las cuales están entre las de menor número de panículas por planta, granos llenos por panícula, longitud de la panícula y un mayor número de granos vanos, lo que pudo haber influido negativamente en el rendimiento.

Temperaturas nocturnas por debajo de 17°C son significativas para causar daños en el desarrollo de la panícula del arroz. Recientemente, el incremento de la profundidad de la lámina de agua (20 cm) es la mejor estrategia de manejo para los productores, con el fin de proteger sus cultivos de las bajas temperaturas durante la etapa reproductiva (14).

Sin embargo, estas clases se destacaron por tener valores altos para el peso de 1 000 granos; no obstante, este carácter, de forma general, tuvo un buen comportamiento.

La pobre o falta de capacidad para acumular osmoprotectores puede ser una de las razones del pobre o débil vigor de las plántulas de arroz en condiciones de bajas temperaturas. Aplicaciones extremas de espermita y glicinebetaine han mostrado ser efectivas en el incremento de la tolerancia al estrés de bajas temperaturas en arroz en las etapas de plántula y reproductiva. Recientemente, se ha demostrado la importancia del áci-

do giberélico para la tolerancia al frío en plántulas, a través de la aplicación externa de AG, mejorando significativamente el vigor de los cultivares de arroz susceptibles al frío (11).

Líneas de las combinaciones híbridas J-104/China y China/INCA LP-2 se concentraron en las clases I, II, V, VI, VIII y X; igualmente las variedades ECIA 1715, IR 837, J-104 y Vietnamita 2084, que si bien no alcanzaron valores significativos de rendimiento, para condiciones experimentales, superaron la media de producción nacional, a lo que hay que añadir que estos valores corresponden a siembras tempranas en la época de frío, donde se presentan las mayores afectaciones como consecuencia de las bajas temperaturas.

Se encontraron diferencias en el comportamiento de los genotipos sembrados en este período, resultando interesante la respuesta de algunas líneas. No obstante, considerando los cuantiosos daños y pérdidas que ocurren en la fase reproductiva, así como la complejidad de las relaciones causales entre la exposición a las bajas temperaturas y la esterilidad, resultaría esencial realizar estudios en la floración, usando parámetros como el número de polen y tamaño de la antera, entre otros.

REFERENCIAS

- Hernández, J. L.; Ginarte, A.; Gómez, P. I.; Suárez, E.; Alfonso, R.; Polanco, R.; Avila, J. y Puldón, V. Estado actual de la resistencia genética para estrés bióticos y abióticos en la política varietal del arroz en Cuba. En: Encuentro Internacional del Arroz. Programas y Resúmenes. (3:2005:La Habana), 2005. 137 p.
- Castillo, D. y Alvarado, J. R. Caracterización de germoplasma de arroz para tolerancia a frío en la etapa de germinación. *Agric. Téc.*, 2002, vol. 62, no. 4, p. 12.
- Cuba. MINAGRI. Instructivo técnico del arroz. La Habana: Instituto de Investigaciones del Arroz, 2002.
- Díaz, S. H. y Morejón, R. Comportamiento de variedades de arroz de diferente procedencia en la localidad de Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 2, p. 63-67.
- Morejón, R.; Díaz, S. H. y Pérez, N. Aplicación de técnicas multivariadas en la clasificación morfoagronómica de genotipos de arroz obtenidos en la Estación Experimental del Arroz Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 22, no. 1, p. 43-48.
- Toriyama, N. Tolerance for environmental stress. Inheritance of resistance. En: Differentiation and inheritance of characters. Science of the Rice Plant Genetics. Japan-Tokyo, 1962. t. 3.
- Alvarado, R. y Grau, P. Mejoramiento del arroz en Chile por tolerancia a frío. En: Reunión sobre mejoramiento de arroz en el cono sur. Diálogo XXXIII. Goiania, Brasil. 1991. p. 105-114.
- Alvarado, R. Influence of fair temperature on rice population length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. En: II Temperate Rice conference. University of California, Davis, California, USA. 1999.
- Matsuo, T. /et al./ Science of the Rice Plant Genetics. Tokyo, Japan, Food and Agriculture Policy Research Center, 1997, vol. 3.
- Nishimura, T. /et al./ Tolerance for environmental stress. Inheritance of resistance. En: Differentiation and inheritance of characters. Science of the Rice Plant Genetics. Japan-Tokyo, 1984. t 3.
- Budapati, N; Gunawardena, T. y Fukai, S. Increasing cold tolerance in rice by selecting for high polyamine and gibberellic acid content. University of Queensland, School of land and food sciences. RIRDC. Australia. 2005. 20 p.
- Pereira da Cruz, R. y Kothe Milach, S. C. Cold tolerance at the germination stage of rice: Methods of evaluation and characterization of genotypes. *Sci. Agri. Brazil.*, 2004, vol. 61, no. 1, p. 1-6.
- Aguilar, M. Cultivo del arroz en el Sur de España. Centro de Investigación e Información Agraria. Sevilla. España. 2001, 189 p.
- Cooperative Research Centre for Sustainable Rice Production. Cold tolerance at the plant level. Rice Science. Australia, 2003.

Recibido: 19 de octubre de 2005

Aceptado: 16 de febrero de 2006