



SELECCIÓN DE MUTANTES DE ARROZ DE BUEN COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO EN CONDICIONES DE BAJO SUMINISTRO DE AGUA

Selecting rice mutants with good agronomic performance under conditions of low water supplies

María C. González Cepero[✉] y Anirebis Martínez Romero

ABSTRACT. The present work is part of the researches that are carried out in the Regional Project of the International Organization of Atomic Energy (IAEA) "Mutation Breeding of Alimentary Cultivations in Latin America" where Cuba participates. The aim of this project is to obtain new rice varieties tolerant to drought using nuclear techniques, for that which is necessary to determine indicators for early selection of tolerant genotypes and to identify somaclones and/or mutants of good behavior under low water supply. For this study were used, 13 mutants obtained in the National Institute of Agricultural Sciences (INCA) as well as the rice varieties Amistad-82 and J-104. The response to the hydric stress under field conditions was determined, using irrigation during the first 45 days, interrupting later for the plant cycle, were determined: I) the height of the plant, II) weigh of 1000 grains, III) length of panicle, IV) number of full grains, V) vain grains, VI) number of panicle for lineal meter and VII) yield for square meter. Likewise *in vitro* the answers to the drought with a concentration of 5 g L⁻¹ of PEG-6000 to simulate the hydric stress and the Relative Tolerance Index of root and of height were evaluated. Some indicators for early selection of tolerant genotypes starting from the existent correlation among the characters evaluated in the field *in vivo* and *in vitro* were also determined. The INCA genotypes LP-10 and 8552 showed a better behavior under conditions of low supplies of water and INCA LP 16 genotypes and mutant 8553 were the most susceptible because they could not panicle under the same conditions.

RESUMEN. El presente trabajo formó parte de las investigaciones realizadas en el Proyecto Regional de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) "Fortalecimiento de Cultivos Alimentarios en América Latina" y que tuvo como objetivo obtener nuevas variedades de arroz tolerantes a la sequía, mediante el empleo de técnicas nucleares, para lo cual se hizo necesario determinar indicadores para la selección temprana de genotipos tolerantes e identificar somaclones y mutantes de arroz de buen comportamiento en condiciones de bajo suministro de agua. Para el estudio se emplearon 13 mutantes obtenidos en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), así como las variedades Amistad 82 y J-104. Se determinó la respuesta al estrés hídrico en condiciones de campo, utilizándose riego durante los primeros 45 días, suspendiéndose posteriormente durante todo el ciclo de la planta, determinando: I) la altura de la planta; II) peso de 1000 granos; III) longitud de la panícula; IV) granos llenos; V) granos vanos; VI) número de panícula por metro lineal y VII) rendimiento por metro cuadrado. Asimismo *in vitro*, se evaluaron las respuestas a la sequía con una concentración de 5 g L⁻¹ de PEG-6000 para simular el estrés hídrico y se determinó el Índice de Tolerancia Relativo de la raíz y de la altura de la plántula. También se determinaron los indicadores para la selección temprana de genotipos tolerantes, a partir de la correlación existente entre los caracteres evaluados *in vivo* e *in vitro*. Los genotipos INCA LP-10 y 8552 fueron los de mejor comportamiento en condiciones de bajo suministro de agua y los genotipos INCA LP 16 y el mutante 8553 resultaron ser los más susceptibles, pues no lograron panicular bajo las mismas condiciones.

Key words: rice, evaluation, genotypes, drought

Palabras clave: arroz, evaluación, genotipos, sequía

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el segundo alimento básico de importancia para el hombre después del trigo, se encuentra entre los cultivos alimentarios más importantes del mundo, teniendo en cuenta el

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

✉ mcaridad@inca.edu.cu

porcentaje de la población mundial que emplean dicho grano como la principal fuente de calorías. Actualmente se destaca como el alimento primario de más de la mitad de la población mundial y se estima que en el año 2025 la población humana será de 8300 millones de los cuales el 50 % lo consumirán. Estas cifras indican que la producción global debe incrementarse en un 70 % para satisfacer la demanda de la población^A.

En Cuba, el arroz constituye uno de los principales cultivos, debido al gran hábito de consumo del mismo, reportándose un consumo per cápita anual estimado en alrededor de 70 kg, muy por encima de casi todos los países del continente americano (1). Sin embargo, el rendimiento agrícola promedio se ha mantenido alrededor de las 3 t ha⁻¹, inferior a la media mundial y no logra satisfacer la demanda nacional. Los bajos rendimientos de este cultivo están asociados a la escasez de riego, las altas temperaturas, la salinización de los suelos, el manejo inadecuado en la producción y las afectaciones provocadas por plagas y enfermedades^B.

Durante los últimos años, los cambios globales en las condiciones climáticas han propiciado la intensificación y la prolongación de la sequía (2).

La deficiencia de agua provoca la inducción del déficit hídrico en las plantas debido a una disminución de su disponibilidad en el suelo (3). El déficit hídrico es el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento de las plantas (4, 5, 6) y especialmente uno de los factores limitantes en la producción del arroz (7, 8, 9).

El uso de variedades adaptadas con determinado grado de tolerancia a las condiciones de déficit hídrico y el perfeccionamiento de tecnologías de manejo del agua, constituyen importantes alternativas para minimizar los efectos de una deficiencia de agua en el suelo. En Cuba, se han desarrollado diferentes programas de mejoramiento genético encaminados a la obtención de variedades de arroz con adaptabilidad a las condiciones de bajos suministros de agua, a través de métodos convencionales de mejoramiento genético y el uso de las técnicas nucleares y biotecnológicas^{C, D}.

Resulta de particular interés para el mejorador, contar con métodos de tamizajes rápidos y tempranos e indicadores del grupo de tolerancia que permitan incrementar la eficiencia en la selección de germoplasma con tolerancia al estrés hídrico.

^A Aguilar, M. P. "Funciones del agua". En: *Cultivo del arroz en el Sur de España*, edit. Las Torres-Tomejil, España, 2006, p. 189.

^B González, T. A. Conferencia "Retos y perspectivas de la producción de granos". En: ECOARROZ, Los Palacios, Cuba, 2015.

^C Instituto de Investigaciones del Arroz. *Instructivos Técnicos para el Cultivo del Arroz*. 2005, 112 p.

^D González, M. C. "Resultados obtenidos en el programa de mejoramiento genético para la tolerancia al estrés hídrico y salino en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) a partir del empleo de técnicas biotecnológicas". En: *Encuentro Internacional del Arroz*, La Habana, Cuba, 2008, p. 3.

MATERIALES Y MÉTODOS

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN GRUPO DE GENOTIPOS DE ARROZ EN CONDICIONES DE BAJO SUMINISTRO DE AGUA EN EL CAMPO

En el área experimental del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) se sembraron un grupo de genotipos obtenidos en dicha institución, mediante el empleo de técnicas biotecnológicas y nucleares (Tabla I).

La siembra se realizó de forma directa sobre un suelo Ferralítico rojo y se aplicó 0,4 t ha⁻¹ en fertilización de fondo^C. A los 15 y 45 días después de germinados los 15 genotipos se le hizo una aplicación de urea empleando (0,2 t ha⁻¹). Se utilizó riego por goteo durante los primeros 45 días, suspendiéndose posteriormente durante todo el ciclo.

Se evaluaron 30 plantas por cada variedad al momento de la cosecha. Se empleó el Sistema de Evaluación Estándar para el Arroz (10), para evaluar los caracteres que se relacionan a continuación:

- ♦ Granos llenos por panículas (GLL/panícula)
- ♦ Granos vanos por panículas (GV/panícula)
- ♦ Rendimiento por metro cuadrado (R/m²)
- ♦ Longitud de la panícula (cm)
- ♦ Peso de 1000 granos (gramos)
- ♦ Altura de la planta (cm)
- ♦ Panículas por metro lineal

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza simple por cada carácter y en los casos que existieron diferencias significativas se realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan, utilizando el software estadístico (SPSS) (11).

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA TOLERANCIA RELATIVA A LA SEQUÍA DE UN GRUPO DE SOMACLONES Y SEMILLAS DE ARROZ

Semillas de los genotipos evaluados en condiciones de campo se colocaron en placas Petri con papel de filtro como soporte, las cuales se humedecieron con una concentración de 5 g L⁻¹ de Polietilenglicol 6000 (PEG.6000). Se emplearon 50 semillas por cada placa y dos repeticiones por tratamiento. Al control solo se le aplicó agua destilada.

A los 15 días se le evaluó a cuatro plantas por tratamiento, la altura de la planta (cm) y la longitud del sistema radical (cm).

Con los valores obtenidos se determinó el índice de tolerancia relativo, según la siguiente fórmula:

$$ITR_{\text{altura}} = \frac{\text{Altura planta (control)} - \text{Altura de la planta (PEG)}}{\text{Altura de la planta (control)}} \cdot 100$$

$$ITR_{\text{raiz}} = \frac{\text{Long.del.sist.radical (control)} - \text{Long.del sist.radical (PEG)}}{\text{Long.del.sist.radical (control)}} \cdot 100$$

Tabla I. Genotipos de arroz utilizados en los experimentos y su procedencia

No	Genotipos	Origen	Lugar
1	Lp7	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
2	Lp8	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
3	Lp9	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
4	Lp10	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
5	Lp12	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
6	Lp13	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
7	Lp16	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
8	Lp17	Mutantes Amistad 82	Cuba (INCA)
9	J-104	IR480-5-9-2/IR-930-16-1	Cuba (IIA)
10	A-82	IR-1529ECICA/UN11R3223	Cuba (IIA)
11	Gines	Mutante J-104(20Gy)	Cuba (INCA)
12	8551	Mutante J-104(20Gy)	Cuba (INCA)
13	8552	Mutante J-104(20Gy)	Cuba (INCA)
14	8553	Mutante J-104 (20 Gy)	Cuba (INCA)
15	8555	Mutante J-104 (20 Gy)	Cuba (INCA)

(IIA) Instituto de Investigación de Granos

DETERMINACIÓN DE INDICADORES PARA LA SELECCIÓN EN CONDICIONES DE BAJO SUMINISTRO DE AGUA Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS TOLERANTES

Para la identificación de los posibles indicadores a emplear en la selección temprana de genotipos tolerantes a bajo suministro de agua, se realizaron análisis de correlaciones simples entre los caracteres evaluados *in vivo* e *in vitro*, asimismo se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para determinar los genotipos de mejor comportamiento en condiciones de estrés hídrico, utilizando el paquete estadístico (SPSS) (11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN GRUPO DE GENOTIPOS DE ARROZ EN CONDICIONES DE BAJO SUMINISTRO DE AGUA EN EL CAMPO

Al analizar los resultados del efecto del bajo suministro de agua en la altura de la planta (Figura 1), se observó que el genotipo LP-16, seguido por el mutante 8553, fueron los más afectados en condiciones de bajo suministro de agua. Esto pudiera atribuirse, entre otras causas, a los mecanismos que presentan las plantas para adaptarse a la sequía, como es el caso del cierre estomático que no es más que la capacidad para cerrar los estomas completamente antes de que la célula se lesione por desecación, también por la reducción del crecimiento de las plantas durante las deficiencias hídricas, lo que puede producir afectaciones en la fotosíntesis (12). A su vez, otros autores han señalado, que el estrés hídrico puede producir el alargamiento celular, por lo que el genotipo juega un papel importante teniendo en cuenta que los más resistentes sufren menos afectaciones (12, 13).

Este criterio corrobora los resultados de otras investigaciones que reflejan la susceptibilidad o la tolerancia de variedades y somaclones de arroz en esas condiciones de bajo suministro de agua (14, 15).

Algunos investigadores han señalado que la resistencia al estrés no constituye un fenómeno simple y que puede darse en dos formas: la primera es cuando las plantas desarrollan mecanismos internos de forma tal que las células no se encuentren bajo estrés; la segunda es cuando existe la tolerancia al estrés, que es la capacidad de sobrevivir y aun funcionar adecuadamente bajo condiciones internas y de extrema sequía^E. Además el estrés hídrico es, en cuanto a la cantidad de material vegetal afectado, el más importante que pueden sufrir las plantas (16). Del mismo modo lo catalogan como el factor más depresivo de la productividad del arroz, ya que afecta al metabolismo del carbono y del nitrógeno, por lo que la productividad y el rendimiento disminuyen (17, 18).

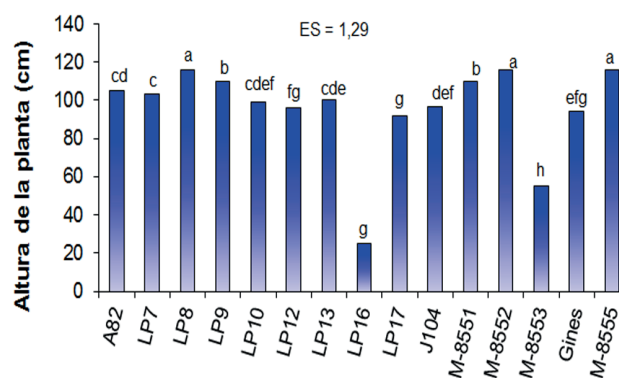


Figura 1. Efectos del bajo suministro de agua sobre la altura de la planta con las diferentes variedades

^ELima, H. "Resistencia a factores adversos". En: *La resistencia genética de las plantas cultivadas*, La Habana, Cuba, 2006, p. 100.

Al analizar el número de panículas por metro lineal (Figura 2) se observó que hubo diferencias significativas entre los genotipos estudiados. El cultivar de mayor número de panículas fue el LP-8 con 134 panículas por metro cuadrado. Se señala que al aumentar la temperatura del suelo se incrementa la concentración de la enzima N-N amoniacal en condiciones de estrés, estimulando la cantidad de panículas por metro cuadrado y el número de granos llenos por panícula (3). Los genotipos de menor número de panículas fueron la LP-17, J-104, Gines y 8555.

En cuanto a la longitud de la panícula (Figura 3), se observó que no hubo diferencias significativas entre los genotipos evaluados, con excepción de la LP-16 y la línea 8553, que no llegaron a desarrollarse, pues murieron antes de la paniculación.

En los granos vanos por panícula (Figura 4) se observaron diferencias significativas, apreciándose que las variedades 8552 y Gines presentaron valores elevados de granos vanos y el resto de los genotipos se mantuvieron con valores aceptables.

En los granos llenos por panícula (Figura 5) se observaron diferencias significativas. Los mutantes 8552 y 8555 fueron los de mejores valores de este indicador, manteniéndose los otros genotipos con valores aceptables.

En algunos casos y en ciertas condiciones climáticas, el porcentaje de granos llenos puede ser más limitante para el rendimiento que el número de panículas; por ello, para cada situación dada, se debe examinar las causas de la variación del rendimiento y sus componentes^f.

Una característica sobresaliente de los arrozos tolerantes a bajos suministros de agua es su habilidad para producir, en forma consistente, panículas completamente fértiles, contribuyendo a la estabilidad de los rendimientos, aunque estos sean relativamente bajos^A.

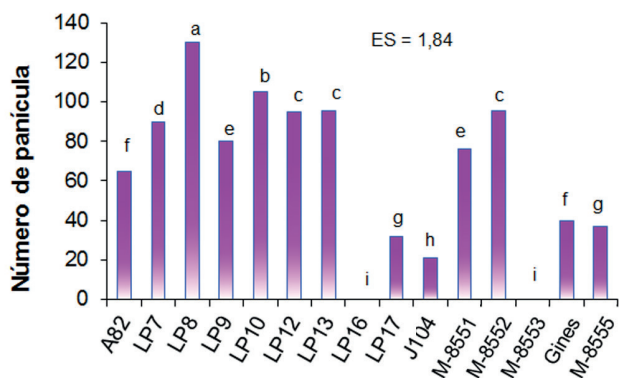


Figura 2. Efectos del bajo suministro de agua sobre el número de panículas por metro lineal con las diferentes variedades

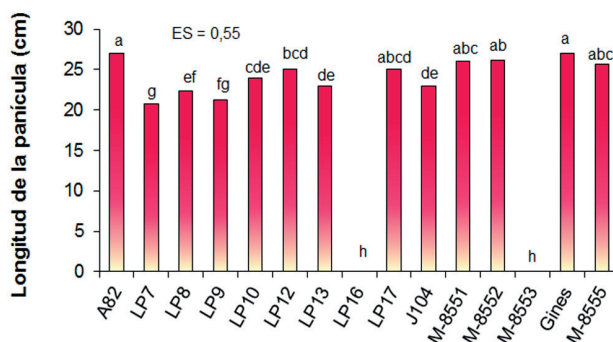


Figura 3. Efectos del bajo suministro de agua sobre la longitud de la panícula con las diferentes variedades

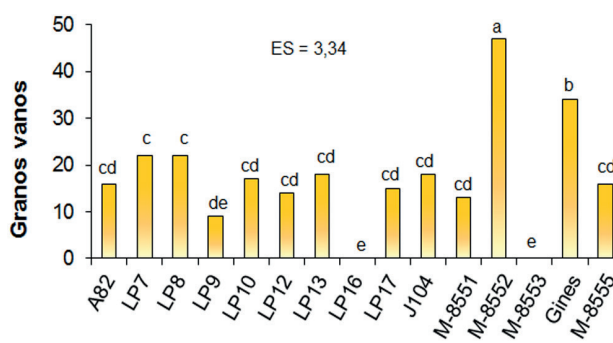


Figura 4. Efectos del bajo suministro de agua sobre los granos vanos con las diferentes variedades

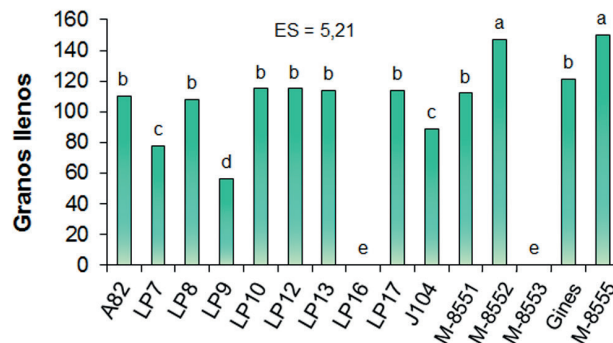


Figura 5. Efectos del bajo suministro de agua sobre los granos llenos con las diferentes variedades

A partir de los análisis realizados (Figura 6) se pudo constatar que el genotipo de mayor peso de los granos por panícula, en condiciones de bajos suministros de agua, en condiciones de campo, fue INCA LP-9. El resto de las genotipos mostraron un comportamiento adecuado bajo estas mismas condiciones.

Al analizar los resultados del rendimiento agrícola (Figura 7) se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en estudio, destacándose el genotipo 8552 con el más alto rendimiento en condiciones de campo. Los genotipos LP-8, LP-10 y LP-12 también mostraron rendimientos adecuados, bajo las mismas condiciones. El genotipo de menor comportamiento agrícola fue la variedad J-104.

^f Socorro, M.; Alemán, L. y Sánchez, S. "El cultivo del arroz en Cuba". En: Taller Nacional FAO/MINVECI/A, La Habana, Cuba, 2000, p. 8.

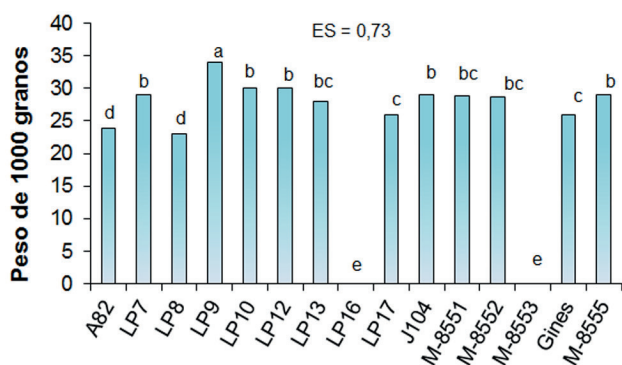


Figura 6. Efectos del bajo suministro de agua sobre el peso de 1000 granos con las diferentes variedades

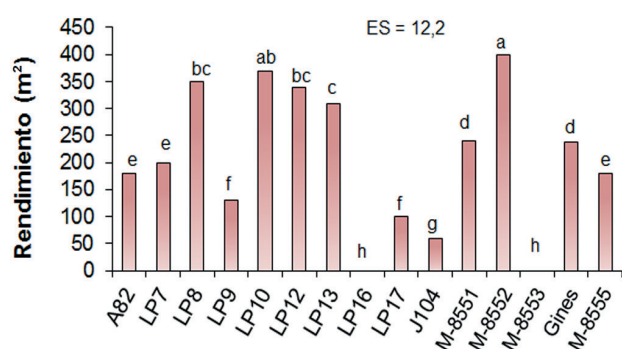


Figura 7. Efectos del bajo suministro de agua sobre el rendimiento por metro cuadrado con las diferentes variedades

El rendimiento tiene gran importancia por el peso que tiene como criterio a la hora de seleccionar variedades para introducirlas a la producción. Varios autores han encontrado que el déficit hídrico inducido en la fase vegetativa disminuye el rendimiento de plantas de arroz (18).

Debe señalarse que las temperaturas durante el desarrollo de los experimentos, fueron elevadas (32 a 34 °C). Por lo general, los valores críticos de temperatura se encuentran por debajo de 20 °C y por encima de 30 °C por lo que, estos genotipos además de tolerar el estrés hídrico garantizan un adecuado llenado de los granos en condiciones de altas temperaturas.

Se plantea que cuando aumenta la temperatura se incrementa la tasa de respiración y se reduce la translocación de los productos fotosintéticos hacia los granos, por lo que disminuye la masa de los granos; aumenta el número de granos estériles o parcialmente llenos y se reduce la cantidad y calidad del grano (19, 20).

RESULTADOS DE LOS TAMIZAJES REALIZADOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO

El índice de tolerancia, determinado a partir de la evaluación de la longitud del sistema radical y la altura de la planta en condiciones semicontroladas, evidenció la existencia de diferencias en cuanto a la tolerancia de los genotipos en los estadios iniciales de desarrollo, en

condiciones de laboratorio con una concentración de 5 g L⁻¹ de PEG 6000. El genotipo LP-10 fue el de menor índice de tolerancia relativo, en relación con la altura de la planta (Figura 8). Sin embargo, el genotipo 8553 fue el de mayor índice de tolerancia relativo bajo estas mismas condiciones.

El crecimiento es un proceso asociado, tanto con el incremento del número de células (división celular), como en su tamaño (alargamiento celular) (21). La disminución de la altura de las plantas expuestas a déficit hídrico, se pudiera interpretar como una inhibición en el alargamiento celular, ya que el alargamiento celular es más sensible a la reducción de la turgencia que la división celular (22, 23). Así mismo se ha señalado una reducción en la extensión de la pared celular de los tejidos en hojas de plantas de arroz, que redonda en su crecimiento (24).

En cuanto al Índice de Tolerancia Relativo de la raíz, los genotipos LP16 y LP17 fueron las más susceptibles (Figura 9) con valores por debajo del 60 %, por la acción del déficit hídrico; sin embargo, en los genotipos LP-8 y 8552 (Figura 9) hubo un adecuado crecimiento del sistema radical en condiciones de estrés hídrico provocado por el PEG 6000.

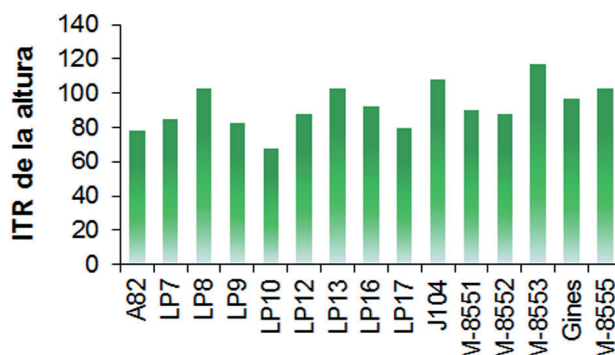


Figura 8. Índice de Tolerancia Relativa de la altura de las diferentes variedades

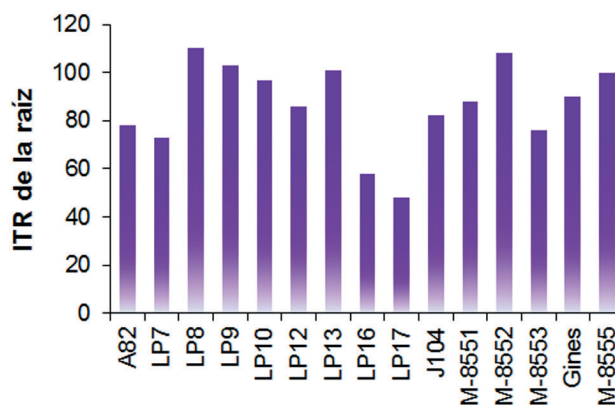


Figura 9. Índice de Tolerancia Relativa de la raíz de las diferentes variedades

El desarrollo del sistema radical es una característica deseable en variedades de arroz de buen comportamiento frente al déficit hídrico (9) y contribuye al aumento de la absorción de agua por la planta (25, 26). Esta respuesta adaptativa está muy relacionada con las características del genotipo.

Se han encontrado diferencias en el crecimiento de las raíces entre variedades de arroz expuestas a déficit hídrico, donde las variedades de adaptabilidad mayor a las condiciones de secano, han presentado una profundidad mayor del sistema radical y un número menor de raíces (8).

En plantas de arroz, desarrolladas en condiciones de sequía, se ha detectado una mayor longitud del sistema radical en variedades tolerantes a la sequía y lo asociaron a un mecanismo de evasión del déficit hídrico, que contribuye a una absorción mayor del agua acumulada en las capas más profundas del suelo (27, 28). Se ha planteado que la longitud de la raíz es uno de los caracteres más relacionado a la evasión de la sequía en el cultivo del arroz (29, 30).

De manera general, podemos señalar, que la longitud del sistema radical es una de las características fundamentales de las especies resistentes a la sequía por lo que, poseer un sistema radical profundo que le permita a la planta, ante bajos potenciales hídricos, continuar su desarrollo a través de la absorción de la humedad presente a una mayor profundidad del suelo (29, 30); es un indicador a tener en cuenta para la selección de variedades con adaptabilidad a estas condiciones (31, 32).

DETERMINACIÓN DE INDICADORES PARA LA SELECCIÓN

El rendimiento en condiciones de bajos suministros de agua mostró correlaciones positivas y significativas con la altura de la planta, el índice de tolerancia relativo del sistema radical, el número de panículas por metro, la longitud de las panículas, el número de granos llenos y con el peso de 1000 granos. Sin embargo, no mostró correlaciones significativas con el Índice de Tolerancia Relativa de la altura en la planta (Tabla II), lo que concuerda con lo encontrado en ensayos del

rendimiento, utilizando variedades originadas a través de técnicas biotecnológicas^g.

El rendimiento se establece en función de sus componentes: panículas por planta, granos llenos, peso de 1000 granos^g. Estos análisis muestran un efecto positivo directo de las panículas y los granos llenos sobre el rendimiento; sin embargo, estos indicadores se evalúan al momento de la cosecha, por lo que se podría emplear el índice de tolerancia del sistema radical para la selección temprana de genotipos tolerantes a la sequía.

SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE BUEN COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES DE BAJOS SUMINISTROS DE AGUA

A partir del análisis de Componentes Principales realizado, se evidenció que con el empleo de las dos primeras componentes (C1 y C2) se pudo explicar el 77,45 % de la variabilidad existente y que los caracteres de mayor correlación con la primera componente fueron el índice de tolerancia relativo de la raíz, la altura de la planta, el número de panícula, longitud de la panícula, los granos llenos, el peso de 1000 granos y el rendimiento. La segunda componente estuvo explicada por el índice de tolerancia relativo de la altura de la planta (Tabla III).

En cuanto a la distribución de los genotipos estudiados a partir de los indicadores evaluados, se pudo observar gran dispersión, lo que evidencia la elevada variabilidad existente en el comportamiento de los mismos, en condiciones de bajos suministro de agua (Figura 10). Los genotipos de mejor comportamiento general en condiciones de bajos suministros de agua fueron la LP-10 y la 8552. Los genotipos LP-16 y 8553 fueron los más susceptibles pues no soportaron el estrés y murieron antes de la paniculación, seguidos por LP-17 y J-104.

^g Madruga, A. "Cuba por aumentar sus rendimientos arroceros". *Granma*, La Habana, Cuba, 2009.

Tabla II. Correlaciones fenotípicas entre los diferentes caracteres evaluados *in vivo* e *in vitro*

Caracteres	Rendimiento	ITR altura	ITR raíz	Altura	Número panícula/m	Longitud panícula	Granos llenos	Granos vanos	Peso de 1000 granos
Rendimiento	1	-0,330	0,603*	0,633*	0,908**	0,636*	0,691**	0,412	0,582*
ITR altura	-0,330	1	0,227	-0,165	-0,300	-0,350	-0,274	-0,281	-0,356
ITR raíz	0,603*	0,227	1	0,620*	0,634*	0,428	0,395	0,558*	0,431
Altura	0,633*	-0,165	0,620*	1	0,664**	0,917**	0,800**	0,710**	0,909**
Número panícula/m	0,908**	-0,300	0,634*	0,664**	1	0,612*	0,525*	0,411	0,636*
Longitud panícula	0,636*	-0,350	0,428	0,917**	0,612*	1	0,908**	0,660**	0,934**
Granos llenos	0,691**	-0,274	0,395	0,800**	0,525*	0,908**	1	0,553*	0,746**
Granos vanos	0,412	-0,281	0,558*	0,710**	0,411	0,660**	0,553*	1	0,677**
Peso de 1000 granos	0,582*	-0,356	0,431	0,909**	0,636*	0,934**	0,746**	0,677**	1

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Tabla III. Valores de la contribución de los componentes a la variación total en plantas de arroz. Correlación de los componentes con las variables estudiadas

Variables	Componentes	
	C1	C2
ITA	-0,342	0,831
ITR	0,648	0,686
Altura	0,936	-0,8377
# panícula	0,804	0,143
Longitud de la panícula	0,932	-0,178
Granos llenos	0,855	-0,133
Granos vanos	0,743	-0,0457
Peso 1000 granos	0,905	-0,164
Rendimiento	0,818	-0,8695
% varianza	63,316	14,134
% acumulativo	63,316	77,450

ITA: índice de tolerancia relativo de altura, ITR: índice de tolerancia de raíz, P.1000 granos: peso de 1000 granos

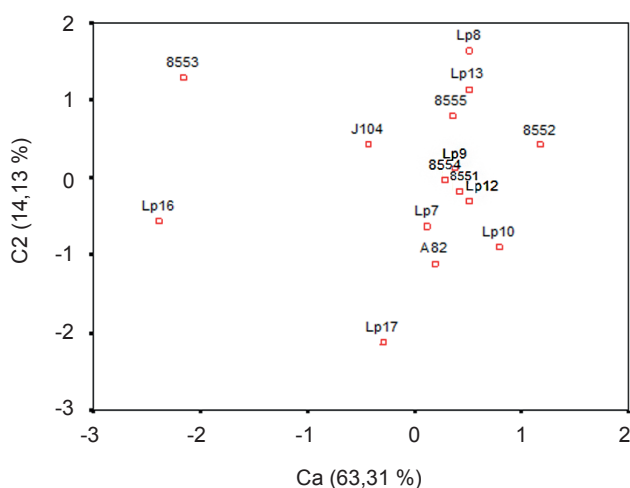


Figura 10. Distribución de los indicadores para las variables evaluadas

BIBLIOGRAFÍA

1. Morejón, R. R.; Díaz, S. H. y Hernández, J. J. "Comportamiento de tres variedades comerciales de arroz en áreas del complejo agroindustrial arrocero Los Palacios". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 1, marzo de 2012, pp. 46-49, ISSN 0258-5936.
2. Parry, M.; Amell, N.; Berry, P.; Dodman, D.; Fankhauser, S.; Hope, C.; Kovats, S.; Nicholls, R.; Satterthwaite, D.; Tiffin, R. y Wheeler, T. *Assesing the Costs of Adaptation to Climate Change: A review of the UNFCCC and other recent estimates*. International Institute for Environment and Development and Grantham. Institute for Climate Change, London, 2009, 116 p, ISBN 978-1-84369-745-9.
3. Polón, R. y Castro, R. "Aplicación del estrés hídrico como una alternativa para incrementar el rendimiento en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 20, no. 3, 1999, pp. 37–39, ISSN 0258-5936.

4. Chaves, M. M.; Maroco, J. P. y Pereira, J. S. "Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant". *Functional Plant Biology*, vol. 30, no. 3, 1 de enero de 2003, pp. 239-264, ISSN 1445-4408, DOI <http://dx.doi.org/10.1071/FP02076>.
5. Volaire, F. "Seedling survival under drought differs between an annual (*Hordeum vulgare*) and a perennial grass (*Dactylis glomerata*)". *New Phytologist*, vol. 160, no. 3, 1 de diciembre de 2003, pp. 501-510, ISSN 1469-8137, DOI 10.1046/j.1469-8137.2003.00906.x.
6. Chaves, M. M. y Olivera, M. M. "Mechanisms underlying plant resistance to water deficits: prospects for water-saving agriculture". *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, no. 407, 11 de enero de 2004, pp. 2365-2384, ISSN 0022-0957, 1460-2431, DOI 10.1093/jxb/erh269.
7. Hemmatollah, P.; Zinolabedin, T. S.; Ghorbanali, N. y Ismail, A. "Study of water stress in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars". En: *Proceeding of the 4th International Crop Science Congress*, Australia, 2004, ISBN 1-920842-20-9.
8. Pirdashti, H.; Sarvestani, Z. T.; Nematzadeh, G. y Ismail, A. "Effect of Water Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes". *Journal of Agronomy*, vol. 2, no. 4, 2003, pp. 217-222, ISSN 1812-5379.
9. Kato, Y.; Kamoshita, A.; Yamagishi, J.; Imoto, H. y Abe, J. "Growth of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply 3. Root system development, soil moisture change and plant water status". *Plant Production Science*, vol. 10, no. 1, 2007, pp. 3–13, ISSN 1349-1008, 1343-943X.
10. IRRI-CIAT. *SISTEMA de evaluación estándar para arroz*. edit. CIAT, 1983, 61 p.
11. *IBM SPSS Statistics* [en línea]. versión 17, [Windows], edit. IBM Corporation, U.S, 2011, Disponible en: <<http://www.ibm.com>>.
12. Jerez, E. y Morales, D. "Comportamiento de dos variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico". *Cultivos Tropicales*, vol. 20, no. 3, 1999, pp. 33–35, ISSN 0258-5936.
13. Tudela, D. y Tadeo, F. "Respuestas y adaptación de las plantas al estrés". En: Azcon J. y Talón M., *Fisiología y bioquímica vegetal*, edit. McGraw-Hill Interamericana, 1993, pp. 537-553, ISBN 978-84-486-0033-4.
14. García, A. y González, M. C. "Marcadores morfológicos para la selección temprana de variedades de arroz tolerantes a la sequía". *Cultivos Tropicales*, vol. 18, no. 2, 1997, pp. 47-50, ISSN 0258-5936.
15. Cristo, E.; González, M. C.; Pérez, N. y Cárdenas, R. M. "Evaluación de líneas de arroz obtenidas mediante el cultivo *in vitro* de anteras para condiciones de bajos suministros de agua". *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, 2010, pp. 47–50, ISSN 1819-4087.
16. Ramos, M. L. G.; Gordon, A. J.; Minchin, F. R.; Sprent, J. I. y Parsons, R. "Effect of Water Stress on Nodule Physiology and Biochemistry of a Drought Tolerant Cultivar of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Annals of Botany*, vol. 83, no. 1, 1 de enero de 1999, pp. 57-63, ISSN 0305-7364, 1095-8290, DOI 10.1006/anbo.1998.0792.

17. Sarvestani, Z. T.; Pirdashti, H.; Sanavy, S. y Balouchi, H. "Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars". *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 11, no. 10, 2008, pp. 1303-1309, ISSN 1812-5735, DOI <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2008.1303.1309>.
18. Rahman, M. T.; Islam, M. T. y Islam, M. O. "Effect of water stress at different growth stages on yield and yield contributing characters of transplanted Aman rice". *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 5, no. 2, 2002, pp. 169-172, ISSN 1812-5735, DOI <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2002.169.172>.
19. Morita, S. "Effects of high air temperature on ripening in rice plants-analysis of ripening performance in growth chamber experiments.". *Japanese Journal of Crop Science*, vol. 69, no. 3, 2000, pp. 391-399, ISSN 0011-1848, DOI 10.1626/jcs.69.391, CABDirect2.
20. Zakaria, S.; Matsuda, T.; Tajima, S. y Nitta, Y. "Effect of High Temperature at Ripening Stage on the Reserve Accumulation in Seed in Some Rice Cultivars". *Plant Production Science*, vol. 5, no. 2, 2002, pp. 160-168, ISSN 1349-1008, 1343-943X, DOI 10.1626/pps.5.160.
21. Taiz, L. y Zeiger, E. *Plant Physiology*. 3.^a ed., edit. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, 2002, 675 p., ISBN 0-87893-823-0.
22. Maroco, J. P.; Pereira, J. S. y Manuela, C. M. "Growth, photosynthesis and water-use efficiency of two C₄Sahelian grasses subjected to water deficits". *Journal of Arid Environments*, vol. 45, no. 2, junio de 2000, pp. 119-137, ISSN 0140-1963, DOI 10.1006/jare.2000.0638.
23. Hsiao, T. C. y Xu, L. K. "Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport". *Journal of Experimental Botany*, vol. 51, no. 350, 9 de enero de 2000, pp. 1595-1616, ISSN 0022-0957, 1460-2431, DOI 10.1093/jexbot/51.350.1595.
24. Tardieu, F. "Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress". *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 337, no. 1-2, enero de 2005, pp. 57-67, ISSN 1631-0713, DOI 10.1016/j.crte.2004.09.015.
25. Malamy, J. E. "Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture". *Plant, Cell and Environment*, vol. 28, no. 1, 2005, pp. 67-77, ISSN 0140-7791, 1365-3040.
26. Kamoshita, A.; Rodriguez, R.; Yamauchi, A. y Wade, L. J. "Genotypic Variation in Response of Rainfed Lowland Rice to Prolonged Drought and Rewatering". *Plant Production Science*, vol. 7, no. 4, 2004, pp. 406-420, ISSN 1349-1008, 1343-943X, DOI 10.1626/pps.7.406.
27. Kamoshita, A.; Wade, L.; Ali, M.; Pathan, M.; Zhang, J.; Sarkarung, S. y Nguyen, H. "Mapping QTLs for root morphology of a rice population adapted to rainfed lowland conditions". *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 104, no. 5, abril de 2002, pp. 880-893, ISSN 0040-5752, 1432-2242, DOI 10.1007/s00122-001-0837-5.
28. Ali, M. L.; Pathan, M. S.; Zhang, J.; Bai, G.; Sarkarung, S. y Nguyen, H. T. "Mapping QTLs for root traits in a recombinant inbred population from two indica ecotypes in rice". *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 101, no. 5-6, octubre de 2000, pp. 756-766, ISSN 0040-5752, 1432-2242, DOI 10.1007/s001220051541.
29. Zheng, H.; Babu, M. R Chandra; Pathan, M. S.; Ali, L.; Huang, N.; Courtois, B. y Nguyen, H. T. "Quantitative trait loci for root-penetration ability and root thickness in rice: Comparison of genetic backgrounds". *Genome*, vol. 43, no. 1, 1 de febrero de 2000, pp. 53-61, ISSN 0831-2796, DOI 10.1139/g99-065.
30. Boersma, L.; Feng, Y. y Li, X. "Plant responses to drought and salinity stresses" [en línea]. En: eds. Lieth H. y Masoom A. A. A., *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, edit. Springer Netherlands, 1993, pp. 13-26, ISBN 978-94-010-4822-4, [Consultado: 1 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1860-6_2>.
31. Salih, A. A.; Ali, I. A.; Lux, A.; Luxová, M.; Cohen, Y.; Sugimoto, Y. y Inanaga, S. "Rooting, Water Uptake, and Xylem Structure Adaptation to Drought of Two Sorghum Cultivars". *Crop Science*, vol. 39, no.1, 1999, p. 168, ISSN 0011-183X, DOI 10.2135/cropsci1999.0011183X003900010027x.
32. Zuño, A. C.; Loresto, G. C.; Obien, M. y Chang, T. T. "Differences in root volume of selected upland and lowland rice varieties.". *International Rice Research Newsletter*, vol. 15, no. 2, 1990, p. 8, ISSN 0115-0944, CABDirect2.

Recibido: 4 de julio de 2014

Aceptado: 16 de abril de 2015