
CINCUENTA AÑOS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ EN VENEZUELA. ¿QUÉ SE HA LOGRADO?

ALEJANDRO J. PIETERS, EDUARDO GRATEROL, EDICTA REYES,
ROSA ÁLVAREZ Y ÁLEX GONZÁLEZ

RESUMEN

La producción de arroz en Venezuela ha aumentado sustancialmente los últimos 60 años debido a aumentos en el área cultivada e incrementos en el rendimiento. Las mejoras en rendimiento han sido producto de cambios en prácticas de manejo agronómico del cultivo y aumentos en el rendimiento per se de las variedades mejoradas, bien sea directamente por aumento del potencial genético del rendimiento o indirectamente por mayor tolerancia de las variedades ante plagas. La contribución de estos procesos al mejoramiento del rendimiento del arroz en el país se desconoce, siendo vital para el diseño de programas de mejoramiento genético con las restricciones actuales para la expansión de la frontera agrícola y el impacto de la agricultura sobre el ambiente. Para abordar esta incógnita se

plantaron las 14 variedades de arroz cultivadas en Venezuela desde 1950, incluyendo IR8 y dos liberadas en 2005. El experimento se llevó a cabo en dos localidades y dos épocas del año, con (CP) o sin (SP) protección contra plagas. El rendimiento mostró una tendencia positiva con el año de liberación. La protección no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento de las variedades más recientes, mientras que las tres más antiguas presentaron rendimientos menores en SP. Los componentes de rendimiento fueron mayores en CP y la incidencia de las principales enfermedades fue significativamente mayor en SP que en CP. Las variedades más susceptibles al daño del hongo *Pyricularia grisea* fueron liberadas antes de 1988, y las más resistentes fueron liberadas posteriormente.

El mejoramiento genético del arroz en Venezuela comenzó en 1943, en la Dirección Nacional Sectorial de Investigación del Ministerio de Agricultura y Cría (MAC; Salih, 1996; Torrealba *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2006). Esencialmente consistía en la evaluación de variedades introducidas principalmente de los EEUU

y de genotipos colectados en diversas zonas del país, para posteriormente otorgar su nominación como variedades. Las primeras variedades seleccionadas de estos trabajos fueron Zenith y Blue Rose. Posteriormente, se liberaron otras variedades introducidas, como Bluebonnet 50, ampliamente cultivada en Venezuela en la década de los años 50, con alta suscepti-

bilidad al virus de la hoja blanca. Los primeros trabajos de mejoramiento genético en Venezuela, que incluyeron la realización de cruces entre progenitores y evaluación de progenies, fueron iniciados en la década de los años 50 por Eduardo Chollet, considerado el padre del mejoramiento genético de arroz en Venezuela (Salih, 1996; Torres *et al.*, 2006).

PALABRAS CLAVE / Arroz / Mejoramiento Genético / Rendimiento / Tolerancia a Plagas /

Recibido: 01/11/2011. Modificado: 10/12/2011. Aceptado: 12/12/2011.

Alejandro J. Pieters. Biólogo, Universidad Central de Venezuela (UCV). Ph.D. en Ciencias Biológicas, University of Nottingham, RU. Investigador, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Dirección: Centro de Ecología, IVIC. Apartado 21827, Caracas 1020A, Venezuela. e-mail: apieters@ivic.gob.ve

Eduardo Graterol. Ingeniero Agrónomo y M.Sc. en Agronomía, UCV, Venezuela. Ph.D. en Mejoramiento y Genética de Plantas, University of Wisconsin, EEUU. Gerente de Investigación y Desarrollo, Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, Venezuela.

Edicta Reyes. Ingeniera Agrónoma, Universidad Experimental Francisco de Miranda, Venezuela. M.Sc. en Mejoramiento Genético en Plantas, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. Coordinadora de Fitomejoramiento en Arroz, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela.

Rosa Álvarez. Ingeniera Agrónoma, Universidad Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. M.Sc. en Mejoramiento Genético de Plantas, UCV, Venezuela. Investigadora, INIA, Venezuela.

Álex González. Técnico Superior Universitario en Agronomía, Instituto Universitario de Tecnología Agroindustrial Región Los Andes, Venezuela. M.Sc. en Agronomía y Ph.D. en Ciencias Agrícolas, UCV, Venezuela. Investigador, Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, Venezuela.

Prácticamente desde sus inicios, el mejoramiento genético del arroz se concentró en tres aspectos fundamentales: 1) aumentar el rendimiento, 2) incrementar la resistencia a las plagas más comunes del cultivo, y 3) mejorar la calidad molinera y culinaria del grano para satisfacer tanto los requerimientos de la industria como el gusto del consumidor final. El mejoramiento genético de estos tres aspectos condujo a la nominación de unas cuarenta variedades utilizadas comercialmente (Tabla I), que en mayor o menor grado cumplieron con tales requerimientos básicos. Sin embargo, las prácticas de manejo agronómico del cultivo se han modificado sustancialmente, así como han surgido especies o variantes de plagas que han limitado la producción del cultivo del arroz en Venezuela, enmascarando la contribución del mejoramiento genético sobre el arroz cultivado en el país. La construcción de sistemas de riego, la disponibilidad de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc.), algunos de ellos subsidiados, la adecuación de los momentos de siembra y aplicación de fertilizantes, la tecnificación en la preparación del suelo, densidad y forma de siembra, son solo algunas de las prácticas agronómicas que se han modificado de manera importante no solamente para el arroz, sino igualmente para otros cereales (Martínez, 1998).

Si bien el arroz ha sido uno de los cultivos más tecnificados y productivos en Venezuela, se requiere incrementar la producción de este cereal para satisfacer la demanda de alimentos de una población creciente. Este objetivo requiere afrontar desafíos de tipo ambiental, tecnológico y económico, entre otros. Por ejemplo, la expansión de la frontera agrícola supone la utilización de suelos marginales para el desarrollo agrícola, lo cual requeriría grandes inversiones en infraestructura y el empleo de mecanización e insumos agrícolas para garantizar su productividad; la alteración de ecosistemas naturales o poco intervenidos con fines agrícolas acarrearía además graves problemas ecológicos, como la pérdida de diversidad biológica. A este escenario debe sumarse la pérdida de resistencia a plagas de variedades de arroz originalmente seleccionadas como resistentes, por la aparición de nuevas cepas de virus, hongos y bacterias, y el estancamiento del rendimiento promedio alcanzado por los agricultores, que ha sido $\sim 5\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ durante los últimos 10 años (FAOSTATS, 2007). Este último dato es de particular importancia, ya que de no incrementarse sostenidamente la producción actual de arroz en el país, no será posible amortiguar el impacto del aumento de la población nacional sobre la demanda

TABLA I
VARIEDADES DE ARROZ LIBERADAS EN VENEZUELA DESDE 1943
HASTA 2005*

| Variedad | Año de liberación | Obtendor de la variedad | Origen |
|------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|
| Zenith | 1943 | MAC | EEUU |
| Blue Rose | 1943 | MAC | EEUU |
| Bluebonnet | 1944 | MAC | EEUU |
| Morotuto | 1946 | MAC | Venezuela |
| Bluebonnet 50 | 1951 | MAC | EEUU |
| Campesino | 1958 | MAC | Venezuela |
| Chollet | 1958 | MAC | Venezuela |
| Payara | 1958 | MAC | Venezuela |
| Llanero 501 | 1961 | MAC | Venezuela |
| Portuguesa I | 1965 | MAC | Venezuela |
| IR-8 | 1967 | MAC | IRRI, Filipinas |
| Bluebelle | 1969 | MAC | EEUU |
| Dawn | 1969 | MAC | EEUU |
| Starbonet | 1969 | MAC | EEUU |
| Llanero Mejorado | 1970 | MAC | Venezuela |
| Acarigua 350 | 1970 | MAC | Venezuela |
| Portuguesa II | 1970 | MAC | Venezuela |
| IR22 | 1972 | MAC | IRRI, Filipinas |
| Cica 4 | 1972 | MAC | CIAT, Colombia |
| Cica 6 | 1974 | MAC | CIAT, Colombia |
| Araure 1 | 1978 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Ciarllacen 1 | 1979 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Araure 2 | 1982 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Araure 3 | 1984 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Araure 4 | 1984 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Cimarrón | 1988 | FONAIAP | China |
| Palmar | 1988 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Fonaiap 1 | 1993 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Fonaiap 2 | 1993 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Fonaiap 2000 | 2000 | FONAIAP | CIAT, Colombia |
| Fundarroz PN-1 | 2000 | FUNDARROZ/INIA/ DANAC/ UNELLEZ | CIAT, Colombia |
| ZETA 15 | 2000 | MIDA-Calabozo/FUSAGRI | CIAT, Colombia |
| SETSA V-33 | 2001 | AGREVO-Venezuela | ND |
| D-Primera | 2001 | DANAC | CIAT, Colombia |
| Fedearroz 50 | 2001 | APROSCELLO | FEDEARROZ, Colombia |
| D-Sativa | 2003 | DANAC | CIAT, Colombia |
| Venezuela 21 | 2003 | INIA/FUNDARROZ | FLAR, Colombia |
| Fedearroz 2000 | 2004 | APROSCELLO | FEDEARROZ, Colombia |
| D-Oryza | 2005 | DANAC | CIAT, Colombia |
| Centauro | 2005 | INIA/FUNDARROZ | FLAR, Colombia |

* Adaptado de Torrealba *et al.* (2004) y Torres *et al.* (2006).

MAC: Dirección General Sectorial de Investigación, del Ministerio de Agricultura y Cría, Venezuela. FONAIAP: Fondo Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Venezuela. FUNDARROZ: Fundación Nacional del Arroz. INIA (anteriormente FONAIAP): Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. DANAC: Fundación para la Investigación Agrícola Danac. APROSCELLO: Asociación de Productores de Semillas Certificadas de los Llanos Occidentales. MIDA: Agroservicios MIDA Calabozo. FUSAGRI: Fundación Servicio para el Agricultor. IRRI: Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz, Filipinas. CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia. FEDEARROZ: Federación Nacional de Arroceros, Colombia. FLAR: Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego. ND: Información no disponible.

de este cereal. Por otro lado, los hábitos locales de consumo de cereales resultan en la ingesta de un 37% de trigo (95% del cual es importado), 45% de maíz y solo un 10% de arroz, a una tasa de $\sim 18\text{kg}$ por persona por año de arroz (INN, 2008).

En estas circunstancias, el papel del mejoramiento genético es fundamental para aumentar la producción nacional de arroz, desarrollando nuevas variedades adaptadas con mayor potencial de

rendimiento de granos y calidad de grano, y para disminuir el impacto de la actividad agrícola sobre el medio ambiente.

A fin de diseñar nuevos planes de mejoramiento genético es indispensable cuantificar y conocer la contribución de este proceso en las diferentes épocas. La forma de lograr este objetivo es mediante estudios retrospectivos en los que se comparan variedades liberadas en diferentes momentos, cultivadas bajo cier-

tas condiciones que permiten eliminar el efecto de las prácticas agronómicas sobre las características del cultivo y evidenciar así las diferencias debidas al genotipo (Slaffler *et al.*, 1994). Esta estrategia además permite acelerar el progreso genético al identificar las posibles limitantes del rendimiento y otras características del cultivo.

En este trabajo se presenta por primera vez indicadores del progreso genético para diversas características en variedades de arroz cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50. El estudio se enfoca en los cambios en el rendimiento y en la tolerancia a las principales plagas del cultivo del arroz.

Materiales y Métodos

Sistema experimental

Las 11 variedades más cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50 hasta el presente, incluyendo IR-8 y dos variedades de reciente liberación (D-Oryza y Centauro; Tabla II), fueron sembradas por trasplante, 21 días después de su siembra en semillero, en unidades experimentales de 12m² (5m de largo con 8 hileras cada una, separadas 0,3m entre sí y con una distancia entre plantas de 0,2m). El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente aleatorizados (BCA) con cuatro réplicas. Este arreglo se estableció en la parcela 178 del Sistema de Riego del Río Guárico (SRRG) y en la Finca La Toma en el Estado Portuguesa, durante agosto-noviembre 2006 (período lluvioso) y durante diciembre-abril 2006-2007 (período seco), con dos tipos de tratamiento (Tabla III): sin protección (SP) y con protección (CP) contra plagas. Se empleó el trasplante como sistema de siembra para minimizar la posibilidad de competencia entre

TABLA II
VARIEDADES EVALUADAS EN ENSAYOS PARA ESTIMAR LA CONTRIBUCIÓN DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ EN VENEZUELA EN DIVERSAS ÉPOCAS, DESDE LA DÉCADA DE LOS AÑOS 50

| Variedad | Pedigrí ¹ | Año de liberación |
|---------------|------------------------|-------------------|
| Bluebonnet 50 | No disponible | 1951 |
| IR 8 | IR8-288-3 | 1967 |
| Cica 4 | IR930-31-1-1B | 1972 |
| Araure 1 | P 849-45-1M-40-4-3-1M | 1978 |
| Araure 4 | P 1382-2-4M-2-1B-5-1-2 | 1984 |
| Cimarrón | CHIANUNG SEN YU 23 | 1988 |
| Palmar | P 2231-F4-138-6-2-1-1B | 1988 |
| Fonaiap 1 | P4070-F3-3-RH3-7-1BA | 1993 |
| Fedearroz 50 | FB0007-3-1-3-1-M | 2001 |
| Zeta 15 | CT8008 | 2001 |
| D-sativa | CT8008 16-31-3P-M | 2003 |
| Venezuela 21 | FL00147-8P-6-15P-M | 2004 |
| D-Oryza | CT10321-7-2-3P-4-1 | 2005 |
| Centauro | FL00984-11-2P-2P-M-M | 2005 |

¹Información sobre pedigrí tomada de Salih, 1996; Servicio Nacional de Semillas (SENASSEM) y registros propios.

plantas por luz y expresar el potencial genético de cada variedad.

Ensayos SP

Los ensayos sin protección (SP) contra plagas se establecieron con el fin de comparar el rendimiento de las 14 variedades, permitiendo el daño natural ocasionado por poblaciones de plagas y patógenos que afectan al cultivo del arroz.

Ensayos CP

Estos ensayos, con protección, recibieron aplicaciones de agroquímicos (insecticidas y fungicidas) para prevenir o reducir el daño causado por las principales plagas que afectan al cultivo del arroz.

Ambos ensayos fueron sembrados simultáneamente en ambas localidades, en lotes contiguos con condiciones edáficas similares.

Preparación del suelo

La preparación del suelo se realizó mediante dos a tres pases cruzados de rastra, con el suelo seco. Luego se introdujo agua por inundación, para proceder a dar de uno a tres pases de rotovator o cultivador. En algunos casos, se dio un pase de viga, o barra de acero, para nivelar el suelo antes de la siembra. Los lotes, generalmente preparados 1-5 días antes del trasplante, se mantuvieron con lámina de agua hasta el momento de la siembra, para retrasar la resurgencia de malezas.

Manejo agronómico

Control de malezas. Las malezas fueron eliminadas de forma manual y mediante la aplicación de herbicidas. La primera aplicación de herbicidas pos-emergentes se realizó entre 7-10 días después del trasplante.

Fertilización. La fertilización se realizó con 160kg·ha⁻¹ de nitrógeno en forma de urea, 60kg·ha⁻¹ de potasio en forma de KCl y 60kg·ha⁻¹ de fósforo en forma de superfosfato triple. La aplicación de K y P fue hecha en suelo húmedo entre 3 y 5 días después de la primera aplicación de herbicidas pos-emergentes, conjuntamente con 60kg·ha⁻¹ de urea. Los reabonos con urea se realizaron a los 45 y 65 días después del trasplante, hasta completar 160kg·ha⁻¹.

TABLA III
RESUMEN DEL MANEJO AGRONÓMICO PARA EL CONTROL DE PLAGAS

| Control | Tratamiento | Intervalo de la aplicación | Compuesto activo | Dosis aplicada |
|--|-------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <i>Pyricularia grisea</i> | CP | 15-30 dds | Carpropamida | 0,25-0,35l·ha ⁻¹ |
| <i>P. grisea</i> y otros hongos | CP | 15-25 dds | Monocotrofos | 1,0l·ha ⁻¹ |
| <i>Helminthosporium</i> y <i>P. grisea</i> | CP | 18-25 dds | Sulfato de cobre pentahidratado | 0,5l·ha ⁻¹ |
| <i>P. grisea</i> , <i>Rhizoctonia</i> sp., <i>Sarocladium</i> sp. y manchado de grano | CP | 45-70 dds | Isoprothiolane, Trifloxystrobin | 1,5 y 0,75l·ha ⁻¹ |
| Manchado de grano | CP | 80-90 dds | Difenoconazol, Propiconazol | 1,0l·ha ⁻¹ |
| Insectos del suelo | CP y SP | Antes de la siembra (semillas) | Imidacloprid | 0,3lkg ⁻¹ de semilla |
| Insectos varios | CP | 25-35 dds | Monocotrofos | 1,0l·ha ⁻¹ |
| <i>Lissorhophthrus oryzophilus</i> | CP | 35-70 dds | Carbofuran | 1,0-1,5l·ha ⁻¹ |
| <i>Tagosodes orizicolus</i> | CP | 35-45 dds | Thiamethoxan | 0,1kg·ha ⁻¹ |
| <i>Oebalus ypsilon-griseus</i> | CP y SP | 80-110 dds | Thiamethoxan | 0,1kg·ha ⁻¹ |
| <i>Syngamia</i> sp. y <i>O. ypsilon-griseus</i> | CP y SP | 100-110 dds | Metamidofos | 0,5l·ha ⁻¹ |
| Roedores | CP y SP | 60-120 dds | Brodifacouma | 1,0kg·ha ⁻¹ |

CP: con protección, SP: sin protección, dds: días después de la siembra.

Todas las plantas presentes en las seis hileras centrales fueron cosechadas, dejando una hilera sin cosechar en los extremos de cada parcela para disminuir el efecto de bordura. Previamente a la cosecha, se contó el número de plantas a cosechar, para calcular el peso promedio de granos por planta. La cosecha se realizó de forma manual, cuando la humedad promedio de los granos alcanzó un 20-22%. El rendimiento de grano se obtuvo a partir del peso y humedad de los granos cosechados. Se calculó el peso neto de la parcela (PN) ajustado al 12% de humedad mediante la expresión

$$PN = PB \left(100 - \frac{\%H}{88} \right)$$

donde PN: peso neto de la parcela, PB: peso bruto de la parcela, y %H: porcentaje de humedad en grano.

Componentes de rendimiento

Peso de 100 granos de arroz paddy. En el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de Fundación Danac se tomó una muestra al azar de 100 granos paddy al 12% de humedad, proveniente de cada parcela. La muestra se pesó en balanza digital.

Largo de la panícula. Fue evaluado en las etapas 7-9 de desarrollo de las plantas de arroz (IRRI, 2002). Se tomaron al azar cinco panículas de plantas diferentes. Se midió la longitud (cm) desde la base de la panícula (nudo ciliar) hasta el ápice.

Número de granos llenos por panícula. Se tomaron al azar cinco panículas de plantas diferentes por parcela, con cuidado de no causar desgrane. Luego, se contó el número total de espiguillas llenas en cada panícula. El valor utilizado por parcela fue el promedio de las cinco panículas.

Fertilidad de las espiguillas. El número de granos llenos se dividió entre el total de espiguillas (llenas y vacías), en las cinco panículas muestreadas. La proporción (espiguillas llenas/número total de espiguillas por panícula) \times 100, indicó el porcentaje de fertilidad de las espiguillas.

Porcentaje de tallos fértiles (%FT). Fue evaluado en las etapas 7-8 (IRRI, 2002). Se tomaron al azar cinco plantas dentro de cada parcela, evitando borduras. Se contó el número total de tallos por planta y el número de tallos con panículas. La proporción (número de tallos fértiles/total de tallos) \times 100, indicó el porcentaje de FT.

Estimación de daño por plagas

Se utilizaron las escalas de evaluación descritas en el Sistema de Evaluación Standar del IRRI (2002) para cada plaga observada en los ensayos CP y SP. En general, las escalas utilizadas constan de nueve grados, donde 1 es lo deseado y 9 lo peor. Las plagas cuyo daño fue evaluado fueron:

Piricularia en hoja. En esta etapa de daño, el hongo (*Pyricularia grisea*) causa necrosis en las hojas, con manchas que van desde puntos hasta manchas elípticas que pueden unirse. La evaluación de piricularia en hoja se realizó entre las etapas 2 y 3 del cultivo, con una escala donde 1 son pequeñas lesiones y 9 son lesiones elípticas en más de 75% de las plantas.

Piricularia en la panícula. Fue evaluado en la etapa 8, como porcentaje de plantas con lesiones severas (con síntomas alrededor de la base de la panícula o en el entrenudo más alto, antes de la panícula), con una escala de 1 a 9, donde 1 significa menos de 5% de las plantas infectadas y 9 más de 50% de las plantas infectadas.

Virus de hoja blanca (VHB). Fue evaluado entre las etapas 2 a 4, con una escala de 1 a 9 donde 1 es menos de 1% de plantas con síntomas y 9 más de 60%.

Helminthosporium (*Bipolaris oryzae*). Fue evaluado en las etapas 5-9. Según la escala de evaluación, 1 significa menos de 1% de incidencia y 9 más de 75% de incidencia.

Rhizoctonia (*Rhizoctonia solani*). Fue evaluado en las etapas 7-9, con escala basada en altura relativa de la lesión más alta, donde 1 son lesiones menores a 20% de la altura relativa de la planta y 9 a más de 65%.

Manchado de grano (complejo de hongos y bacterias). Fue evaluado en las etapas 8-9. Según la escala, 1 significa síntomas en menos de 1% de las plantas y 9 en más de un 50%.

Sarocladium (*Sarocladium oryzae*). Fue evaluado en las etapas 7-9. La escala se basó en el porcentaje de plantas infectadas, donde 1 es menos de 1% de infección y 9 más de 65%.

Exposición a inóculos virulentos de *P. grisea*

Plantas de las 14 variedades y un testigo susceptible (var. Fanny) fueron sembrados en macetas en invernadero y 15 días después de la siembra, las plantas fueron colocadas en cajas plásticas y asperjadas con 40ml de una

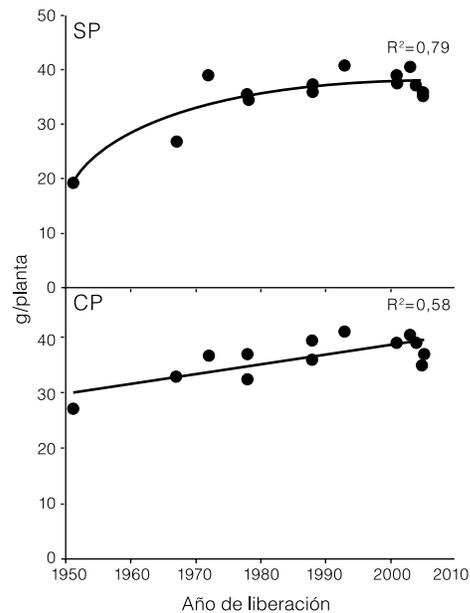


Figura 1. Progresión del rendimiento promedio en 14 variedades de arroz cultivadas sin protección (SP) y con protección (CP) contra las principales plagas y enfermedades del cultivo. El mejor ajuste fue obtenido mediante una hipérbola cuadrada para el caso de SP y una regresión lineal en el tratamiento CP.

solución que contenía 5×10^5 conidios/ml y Tween 20. Las cajas plásticas se cerraron para favorecer la infección y las plantas fueron evaluadas 24 días después de la inoculación. Para la elaboración del dendrograma se utilizó el coeficiente de Ward.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías, con variedad y tratamiento como efectos principales (Sokal y Rohlf, 1969). Para el análisis de la incidencia de enfermedades se utilizó la U de Mann Whitney. Se usaron los programas Statistica V 9.0 y el asistente de ajustes SIGMAPLOT, V 11.0.

Resultados

Rendimiento

La progresión del rendimiento del arroz en granos/planta, se muestra en la Figura 1. Tanto en el tratamiento SP como en el tratamiento CP, los rendimientos más bajos se observaron en las variedades más antiguas, aumentando progresivamente hasta estabilizarse en ~ 40 g/planta en las variedades liberadas a partir de 1980. Las tres variedades más antiguas (Bluebonnet 50, IR-8 y Cica4) presentaron rendimientos menores en el tratamiento SP que en el

TABLA IV
PROMEDIOS DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO
EN ENSAYOS CON Y SIN PROTECCIÓN, CICLO
DE INVIERNO 2006 Y VERANO 2006-2007, EN
LOCALIDADES DE GUÁRICO Y PORTUGUESA

| Característica | CP | SP | Diferencia entre SP y CP |
|-------------------------------|-------|-------|--------------------------|
| Peso de 100 granos | 2,6 | 2,6 | 0,0 ns |
| Largo de panícula (cm) | 27,2 | 26,5 | 0,7 ** |
| Granos/panícula (No) | 180,2 | 141,6 | 38,6 ** |
| Fertilidad de espiguillas (%) | 86,8 | 84,1 | 2,7 ** |
| Fertilidad de tallos (%) | 97,2 | 96,4 | 0,8 ** |

CP: ensayos con protección, SP: ensayos sin protección. ns: no significativo para $p < 0,05$; **: significativo para $p < 0,01$.

tratamiento CP, mientras que en las variedades más recientes los rendimientos fueron similares en ambos tratamientos.

La pendiente de la regresión lineal en el tratamiento CP indica una tasa de incremento anual del rendimiento producto del mejoramiento genético de 0,17 g/planta/año.

Componentes del rendimiento

Los resultados obtenidos para los componentes del rendimiento se muestran en la Tabla IV. Para ninguno de ellos se observó alguna tendencia asociada con el año de liberación (datos no mostrados). El control de plagas afectó significativamente todos los componentes del rendimiento analizados con la excepción del peso de 100 granos, encontrando los valores mayores en el tratamiento CP en comparación con el tratamiento SP.

Incidencia de enfermedades

Los daños causados por enfermedades fueron sistemáticamente mayores en SP que en CP (Tabla V), con la excepción del daño causado por *P. grisea* en la hoja y el daño causado por *Helminthosporium*, los cuales no difirieron significativamente entre tratamientos para las 14 variedades promediadas. En la Figura 2 se muestra un dendrograma donde se agrupan las 14 variedades, con base a resultados obtenidos en un ensayo del Laboratorio de Protección Vegetal de Fundación Danac. Esta comparación permitió diferenciar dos grupos generales de acuerdo a su susceptibilidad a este patógeno: uno conformado por los materiales Zeta 15, Palmar, Venezuela 21, Fonaiap 1, Fedearroz 50, D-Oryza, D-sativa, Centauro y Bbnt 50; y otro conformado por Araure4, IR-8, Cica4, Cimarrón, Fanny y Araure1.

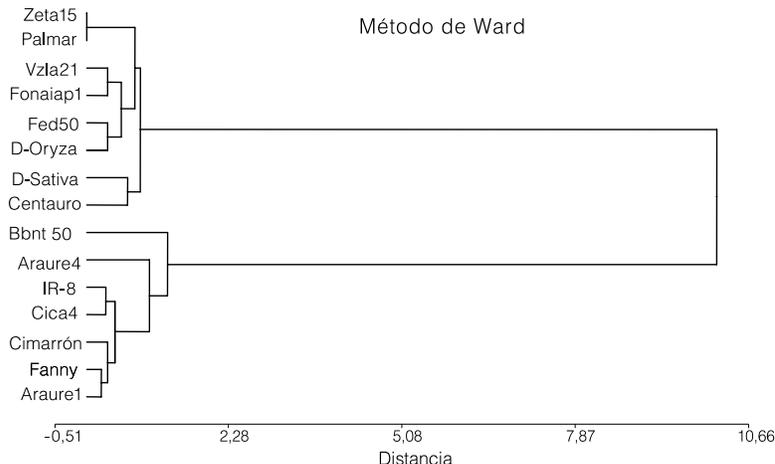


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento mediante el coeficiente de Ward de 14 variedades de arroz y un testigo susceptible (var. Fanny), expuestos por aspersión a inóculos virulentos de *Pyricularia grisea* en condiciones de umbráculo.

TABLA V
PROMEDIOS DE DAÑO CAUSADO POR PLAGAS EN
ENSAYOS DE RENDIMIENTO CON Y SIN PROTECCIÓN,
CON BASE A DATOS DE INVIERNO 2006
Y VERANO 2006-2007

| Característica | CP | SP | Diferencia entre SP y CP |
|---------------------------------------|-----|-----|--------------------------|
| Daño por <i>P. grisea</i> en hoja | 2,8 | 2,6 | 0,2 ns |
| Daño por <i>P. grisea</i> en panícula | 3,0 | 3,5 | 0,5 * |
| Daño por virus de hoja blanca | 2,9 | 3,3 | 0,4 ** |
| Daño por <i>Helminthosporium</i> | 2,0 | 2,5 | 0,5 ns |
| Daño por manchado de grano | 1,8 | 2,2 | 0,4 ** |
| Daño por <i>Rhizoctonia sp</i> | 2,0 | 2,6 | 0,6 ** |
| Daño por <i>Sarocladium sp.</i> | 1,7 | 2,5 | 0,8 ** |

Valores en escala de 1 a 9, donde 9 es máximo daño. CP: ensayos con protección, SP: ensayos sin protección. ns: no significativo para $p < 0,05$; *: significativo para $p < 0,05$; **: significativo para $p < 0,01$.

tiva y Centauro, las cuales resultaron menos susceptibles y fueron liberadas durante el periodo 1993 al 2005; el segundo grupo estuvo conformado por las variedades más susceptibles comprendido por Bluebonnet 50, Araure 4, IR-8, Cica4, Cimarrón, Fanny y Araurel, todas liberadas entre 1951 y 1988.

Discusión

En este estudio se presenta por primera vez datos experimentales que cuantifican el aporte del mejoramiento genético sobre el rendimiento y otras características de las plantas de arroz, en Venezuela, excluyendo el efecto de los cambios en las prácticas de manejo agronómico del cultivo.

El rendimiento del arroz producto del mejoramiento genético en Venezuela se ha incrementado en un 32% aproximadamente en los últimos 50 años, a una tasa de 0,17 g/planta/año. Esta tasa corresponde al 50-60% de la velocidad de

incremento de la producción de grano obtenida en el IRRRI para variedades adaptadas a las condiciones de China y el sur-este Asiático (calculada de Peng *et al.*, 2000) para el periodo 1966-1995. Sin embargo, al calcular lo ocurrido en Venezuela en un periodo equivalente (1967-1993), se encontró una tasa de 0,32 g/planta/año, comparable a la obtenida por el IRRRI (Peng *et al.*, 2000). En el tratamiento SP la tasa de incremento fue considerablemente mayor (0,54 g/planta/año) a la encontrada en CP, debido a que las variedades más antiguas presentaron rendimientos entre 20 y 30% menores en el tratamiento SP que en CP. Uno de los criterios de selección utilizados local y globalmente por los mejoradores ha sido la resistencia o tolerancia a plagas (Peng y Khush, 2003; Torres *et al.*, 2006); es muy probable que la menor producción de grano en las variedades más antiguas en el tratamiento SP comparada con el tratamiento CP se deba a una mayor susceptibilidad a las principales plagas en las variedades libera-

das antes de 1980. Esto es apoyado por la disminución de casi todos los componentes de rendimiento en el tratamiento SP comparado con CP, particularmente el número de granos por panícula que fue 21% menor en SP que en CP. De hecho, en el tratamiento SP la incidencia de las principales enfermedades del cultivo fue mayor que en CP, lo que confirma que la menor producción de grano de las variedades más antiguas en el tratamiento SP pudo ser consecuencia de un mayor impacto de las plagas sobre el desa-

rollo de la planta. Posiblemente, las variedades más antiguas se hicieron más susceptibles con el paso de los años, debido a la prevalencia de cepas que al momento de su liberación no estaban presentes en los campos de arroz en el país.

La diferencia encontrada en el progreso de la producción de grano entre SP y CP indica que si bien el mejoramiento genético ha tenido un impacto directo sobre el rendimiento del arroz, éste ha estado mediado por una mayor tolerancia o resistencia a enfermedades, evidente en las variedades más recientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la asistencia de Carlos Lozada, Zulay Peña, Shaybeth Irazábal y Héctor Cabrera en el trabajo de campo, así como el financiamiento recibido del FONACIT, proyecto

2006000168, al IVIC y a la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC.

REFERENCIAS

- FAOSTAT (2007) *Statistical Database*. United Nations Food and Agriculture Organization. Roma, Italia. www.fao.org
- INN (2008) *Hoja de Balance de Alimentos 2007* (Versión preliminar). Instituto Nacional de Nutrición. ISSN 1316-4929. www.ine.gov.ve/consumo/consumo.asp?Año=2010.
- IRRI (2002) *Sistema de Evaluación Estándar de Arroz*. 4ª ed. Instituto Internacional de Investigación en Arroz. Filipinas. 56 pp.
- Martínez P (1998) *Situación Actual del Cultivo del Arroz en Venezuela*. Fundación Polar. Caracas, Venezuela. 127 pp.
- Peng S, Khush GS (2003) Four decades of breeding for varietal improvement for irrigated rice in the International Rice Research Institute. *Plant Prod. Sci.* 6: 157-164.
- Peng S, Laza RC, Visperas RM, Sanico AL, Cassman KG, Kush, GS (2000) Grain yield of rice

cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crop Sci.* 40: 307-314.

- Salih A (1996) Mejoramiento genético de arroz en Venezuela. En INGER (Ed.) *INGER América Latina - Informe 1995*. Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz. INGER-América Latina. Cali, Colombia. pp. 11-17.
- Slafer GA, Satorre EH, Andrade FH (1994) Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. En Slafer GA (Ed.) *Genetic Improvement of Field Crops*. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 1-68.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1969) *Biometry*. Freeman. San Francisco, CA, EEUU. 776 pp.
- Torrealba G, Acevedo M, Castrillo, W, Ramos A, Urdaneta L (2004) Variedades de arroz en Venezuela. *INIA Divulga 2* (mayo-agosto) pp. 9-10.
- Torres O, Salazar M, Navas M, Álvarez R, Reyes E, Moreno O, Delgado N, Torrealba G, Acevedo M, Castrillo W (2006) Mejoramiento genético de arroz en Venezuela: Resumen histórico. *INIA Divulga 8* (mayo-agosto) pp. 14-18.

FIFTY YEARS OF GENETIC IMPROVEMENT OF RICE IN VENEZUELA: WHAT HAS BEEN ACHIEVED?

Alejandro J. Pieters, Eduardo Graterol, Edicta Reyes, Rosa Álvarez and Álex González

SUMMARY

Rice production in Venezuela has increased substantially over the last 60 years, due to increases in both cultivated land and yield. Improvements in yield have been the result of changes in management practices and of the actual increase in yield, either directly by enhancement of the yield genetic potential, or indirectly by an increased tolerance to the main plagues of the crop. The relative importance of these processes in Venezuela is poorly understood and is crucial for the design of new breeding strategies, which must consider current restrictions on cultivated land expansion and the impact of agriculture on the environment. To gauge the significance of genetic improvement on rice production in Venezuela, an experiment was set out comparing the 14 most cultivated varieties since 1950s, including

IR8 and two that were released in 2005. The experiment was carried out in two locations during two consecutive crop seasons, either with (P) or without (NP) protection against pests. Yield showed a positive relationship with the year of release. Protection against pest and diseases did not have any effect on yield in the most recently released varieties, whereas the oldest varieties showed lower yields in the NP treatment compared to the P treatment. Yield components were higher in the P treatment than in NP, and the incidence of the main diseases was largest in NP. The most susceptible varieties to the damage caused by *Pyricularia grisea* were those released before 1988, and the most resistant were those released later on.

CINQUENTA ANOS DE MELHORAMENTO GENÉTICO DO ARROZ NA VENEZUELA. O QUE TEM SIDO ALCANÇADO?

Alejandro J. Pieters, Eduardo Graterol, Edicta Reyes, Rosa Álvarez e Álex González

RESUMO

A produção de arroz na Venezuela tem aumentado substancialmente nos últimos 60 anos devido ao aumento da área cultivada e incrementos no rendimento. As melhoras no rendimento têm sido produto de mudanças nas práticas de manejo agrônomo do cultivo e aumentos no rendimento per se das variedades melhoradas, seja diretamente pelo aumento do potencial genético do rendimento ou indiretamente pela maior tolerância das variedades frente às pragas. A contribuição destes processos ao melhoramento do rendimento do arroz no país se desconhece, sendo vital para o desenho de programas de melhoramento genético com as restrições atuais para a expansão da fronteira agrícola e o impacto da agricultura sobre o ambiente. Para abordar esta incógnita foram plantadas as

14 variedades de arroz cultivadas na Venezuela desde 1950, incluindo IR8 e duas liberadas em 2005. O experimento se realizou em duas localidades e duas épocas do ano, com (CP) ou sem (SP) proteção contra pragas. O rendimento mostrou uma tendência positiva com o ano de liberação. A proteção não teve efeito significativo sobre o rendimento das variedades mais recentes, enquanto que as três mais antigas apresentaram rendimentos menores em SP. Os componentes de rendimento foram maiores em CP e a incidência das principais enfermidades foi significativamente maior em SP que em CP. As variedades mais suscetíveis ao dano do fungo *Pyricularia grisea* foram liberadas antes de 1988, e as mais resistentes foram liberadas posteriormente.