

# EVALUACIÓN DE LÍNEAS DE ARROZ DE GRANO DELGADO PARA RIEGO EN MÉXICO

Edwin Javier Barrios Gómez, Víctor Hugo Rodríguez Morelos, Leonardo Hernández Aragón, Leticia Tavitas Fuentes, Anselmo Hernández Pérez, Luis Mario Tapia Vargas y José Miguel Pinzón García

## RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en el año 2013 con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de 15 líneas avanzadas de arroz de grano largo delgado provenientes del Fondo Latinoamericano del Arroz de Riego (FLAR), en tres regiones agroecológicas de México bajo condiciones de riego. Se evaluaron 15 materiales de arroz y tres testigos locales, en tres ambientes: Nayarit, Michoacán y San Luis Potosí. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis individual y combinado mediante un análisis de varianza en serie de experimentos utilizando al programa SAS. Las líneas con mejor

comportamiento fueron FL08224-3P-2-1P-3P-M y FL06747-4P-10-5P-3P-M, con rendimientos  $>9t\text{-ha}^{-1}$ , las que además presentaron en dos ambientes, Michoacán y Nayarit, buena tolerancia al manchado del grano, enfermedad de alta incidencia en México. En San Luis Potosí todas las líneas mostraron susceptibilidad al manchado de grano, a excepción de FL08224-3P-2-1P-3P-M, que resultó resistente. Estas dos líneas mostraron alto porcentaje de recuperación de granos enteros y buena calidad para uso industrial, y serán propuestas para su caracterización y registro para las condiciones de riego en el trópico mexicano.

## Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el cultivo más importante para el consumo humano; constituye el alimento básico para más de la mitad de la población mundial (Ruiz *et al.*, 2012). En México, este cereal es uno de los cuatro alimentos básicos de la población, después del maíz, trigo y frijol (Galarza-Mercado *et al.*, 2010). Durante el periodo 2010-2013, el cultivo de arroz fue establecido en una superficie promedio de 38436ha distribuidas en 13 estados, con una producción de arroz paddy (palay) de 187175t, siendo establecida en

condiciones de riego el 57,8% de la superficie (SIAP, 2015). De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el 2014 en México se produjo 232157t de arroz paddy, de los cuales el 79,38% fue bajo el sistema de riego y el resto en condiciones de temporal (SIAP, 2015). La producción nacional de arroz paddy es insuficiente para abastecer el consumo de la población en México y además existen notables diferencias en el tipo de arroz que se produce y consume en el país. Por ejemplo, el arroz de calidad Sinaloa (grano delgado y cristalino) es consumido en el 75% del país y en su mayoría

es importado, mientras que el 25% del territorio prefiere arroz de calidad Morelos (grano grueso con 20% de panza blanca) y arroz de calidad Milagro (grano corto con 10% de panza blanca), tipos de arroz que son abastecidos con la producción nacional (Chávez-Murillo *et al.*, 2011; Hernández-Santiago *et al.*, 2014). Actualmente no se cuenta con suficientes variedades de arroz de grano largo adaptadas a las condiciones agroecológicas de las regiones arroceras del país, especialmente en condiciones de riego. El mejoramiento de arroz generalmente se ha enfocado en generar características agro-

nómicas, tales como el aumento de rendimiento por unidad de superficie y la inducción de resistencia a plagas y enfermedades comunes en el cultivo (Martínez *et al.*, 2005). En el presente, el mejoramiento genético de este cereal se enfoca al tipo de grano que determina la preferencia del consumidor y que además cumpla con una alta calidad molinera, culinaria y nutricional. La evaluación de genotipos para determinar su estabilidad en rendimiento bajo diferentes condiciones del medio ambiente es esencial en los programas de mejoramiento genético en todos los cultivos (Orona *et al.*,

## PALABRAS CLAVE / Ambientes / Genotipos / Grano Palay / *Oryza sativa* L. /

Recibido: 09/02/2016. Modificado: 03/06/2016. Aceptado: 06/06/2016.

**Edwin Javier Barrios Gómez.** Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestro y Doctor en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados (COLPOS), México. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (INIFAP), México. Dirección: Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Km. 0.5 Carr. Zacatepec-Galeana, Zaca-

tepec, Morelos, México. e-mail: barrios.edwin@inifap.gob.mx.  
**Leonardo Hernández Aragón.** Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Maestro en Ciencias en Fitopatología y Doctor, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.  
**Leticia Tavitas Fuentes.** Bióloga, Universidad del Autónoma del Estado de Morelos, México. Investigadora, INIFAP, México.

**Víctor Hugo Rodríguez Morelos.** Licenciado en Biología, Universidad Veracruzana, México. Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.  
**Anselmo Hernández Pérez.** Ingeniero Agrónomo, UAAAN, México. Investigador, INIFAP, México.  
**Luis Mario Tapia Vargas.** Ingeniero Agrónomo Fitomejorador, Universidad Michoaca-

na de San Nicolás de Hidalgo, México. Maestría en Ciencias en Riego y Drenaje, UAAAN, México. Doctor en Edafología, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.  
**José Miguel Pinzón García.** Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestría en Ciencias Biológicas Agropecuarias, Universidad Autónoma de Guadalajara, México. Investigador, INIFAP, México.

## EVALUATION OF LINES OF THIN GRAIN RICE FOR IRRIGATION IN MEXICO

Edwin Javier Barrios Gómez, Víctor Hugo Rodríguez Morelos, Leonardo Hernández Aragón, Leticia Tavitas Fuentes, Anselmo Hernández Pérez, Luis Mario Tapia Vargas and José Miguel Pinzón García

### SUMMARY

This work was performed in 2013 in order to evaluate the agronomic performance of 15 advanced lines of thin long-grain rice from the FLAR, in three agro-ecological regions of Mexico under irrigation. The experimental design randomized complete block with four replications was established. Individual and combined analysis was performed by analysis of variance in series of experiments using the SAS program. The best lines were FL08224-3P-2-1P-3P-M and FL06747-4P-10-5P-3P-M, with

yields  $>9t\text{-ha}^{-1}$ ; also, they presented in two environments, Michoacán and Nayarit, good tolerance to the staining grain disease, currently with a high incidence in Mexico. In San Luis Potosí all lines were susceptible to staining grain, except FL08224-3P-2-1P-3P-M which showed resistance. These two lines showed high percent recovery of whole grains and both have good quality for industrial use, and will be proposed for characterization and registration for irrigated conditions in the Mexican tropics.

## AVALIAÇÃO DE LINHAS DE ARROZ DE GRÃO FINO PARA IRRIGAÇÃO NO MÉXICO

Edwin Javier Barrios Gómez, Víctor Hugo Rodríguez Morelos, Leonardo Hernández Aragón, Leticia Tavitas Fuentes, Anselmo Hernández Pérez, Luis Mario Tapia Vargas e José Miguel Pinzón García

### RESUMO

Este trabalho foi realizado no ano 2013 com o objetivo de avaliar o comportamento agrônomo de 15 linhas avançadas de arroz de grão comprido e fino provenientes do Fundo Latinoamericano do Arroz Irrigado (FLAR), em três regiões agroecológicas do México sob condições de irrigação. Avaliaram-se 15 materiais de arroz e três testemunhos locais, em três ambientes: Nayarit, Michoacán e San Luis Potosí. O desenho experimental foi de blocos completos aleatórios com quatro repetições. Foi realizada avaliação individual e combinada mediante uma análise de variação em série durante experimentos utilizando o programa SAS. As linhas

com melhor comportamento foram FL08224-3P-2-1P-3P-M e FL06747-4P-10-5P-3P-M, com rendimentos  $>9t\text{-ha}^{-1}$ , as quais, além disso, apresentaram em dois ambientes, Michoacán e Nayarit, boa tolerância à mancha-de-grãos, enfermidade de alta incidência no México. Em San Luis Potosí todas as linhas mostraram susceptibilidade à mancha-de-grãos, com exceção de FL08224-3P-2-1P-3P-M, que resultou resistente. Estas duas linhas mostraram alta porcentagem de recuperação de grãos inteiros e boa qualidade para uso industrial, e serão propostas para sua caracterização e registro para as condições de irrigação no trópico mexicano.

2013). El conocimiento de las causas de la interacción genotipo×ambiente puede identificar el rango de adaptabilidad y potencial de rendimiento de una variedad (Camargo-Buitrago *et al.*, 2014). Los estudios de parámetros de estabilidad de rendimientos de líneas avanzadas de arroz en México se han realizado principalmente en condiciones de temporal (Castañón, 1994; García *et al.*, 2010; Orona *et al.*, 2013) y no para condiciones de riego.

El Fondo Latinoamericano del Arroz de Riego (FLAR) es un organismo de investigación y transferencia de tecnología especializado en el cultivo de arroz, donde se han integrado 15 países de Latinoamérica y el Caribe (Degiovanni *et al.*, 2010), entre ellos México, lo cual ha generado un proyecto nacional para evaluar germoplasma de arroz de riego y de esta manera generar variedades

comerciales de arroz de grano largo delgado (GLD) para las distintas regiones productoras de arroz (Tapia *et al.*, 2013).

El objetivo de esta investigación fue conocer el comportamiento agronómico de 15 líneas avanzadas de arroz de grano largo delgado proveniente del FLAR, en tres regiones agroecológicas de México bajo condiciones de riego.

### Materiales y Métodos

#### Sitios experimentales

Los materiales fueron sembrados y evaluados en tres ecosistemas de riego del trópico mexicano:

a) *Trópico seco de la vertiente del Pacífico*. Sauta, Santiago Ixcuincla, Nayarit.  $21^{\circ}43'35.81''\text{N}$  y  $105^{\circ}09'38.84''\text{O}$ . Tiene clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación

de 1200mm en promedio distribuida entre los meses de junio a septiembre, altitud de 20msnm y temperatura media de  $24^{\circ}\text{C}$ ; su tipo de suelo predominante es migajón arcilloso (García, 1973).

b) *Trópico seco de la Depresión del Balsas*. Lombardía, Apatzingán, Michoacán.  $19^{\circ}10'12''\text{N}$  y  $102^{\circ}01'55''\text{O}$ . Presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, altitud de 800msnm, precipitación de 900mm en promedio, distribuida entre los meses de junio a septiembre, y una temperatura media de  $24^{\circ}\text{C}$ ; su tipo de suelo predominante es vertisol (García, 1973).

c) *Trópico sub-húmedo de la Planicie Huasteca*. Ébano, San Luis Potosí.  $22^{\circ}10'22.5''\text{N}$  y  $102^{\circ}27'57.40''\text{O}$ . Se caracteriza por clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación de 1000mm en

promedio distribuida entre los meses de junio a septiembre, así como altitud media de 50msnm y temperatura media de  $23^{\circ}\text{C}$ ; su tipo de suelo predominante es vertisol (García, 1973).

#### Genotipos

Entre los años 2011 y 2012 fueron evaluados los viveros VF-2005, VF-2006, VF-2007, VF-2008, VF-2009 y VF-2011 del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR), con sede en Palmira, Colombia, donde en diferentes años se fueron seleccionando las mejores líneas. No fue hasta el ciclo primavera-verano (P-V) de 2013, cuando se evaluaron 18 materiales de arroz en tres ambientes de México, 15 de grano largo delgado del FLAR y tres testigos locales. Los 18 genotipos se presentan en el Tabla I.

TABLA I  
GENOTIPOS EVALUADOS EN TRES AMBIENTES DE MÉXICO (P-V 2013)

Origen	Nº	Genotipo	Origen	Nº	Genotipo
VF-2005	1	FL04621-2P-1-3P-3P-M	VF-2009	10	FL08378-3P-5-2P-2P-M
VF-2006	2	FL05372-7P-3-2P-2P-M	VF-2009	11	FL08417-16P-2-1P-1P-M
VF-2006	3	FL05392-3P-12-2P-2P-M	VF-2009	12	FL08224-3P-2-1P-3P-M
VF-2007	4	FL06747-4P-10-5P-3P-M	VF-2011	13	FL010124-12P-4-2P-3P-M
VF-2008	5	FL07562-7P-3-3P-2P-M	VF-2011	14	FL010164-7P-3-1P-1P-M
VF-2008	6	FL07162-7P-3-3P-3P-M	VF-2011	15	FL010164-7P-3-3P-1P-M
VF-2008	7	FL07201-6P-5-3P-1P-M		16	Testigo 1 (El Silverio)
VF-2008	8	FL07201-6P-5-3P-3P-M		17	Testigo 2 (Morelos A-08)
VF-2009	9	FL08224-3P-2-1P-2P-M		18	Testigo 3 (variedad local)

P-V: primavera-verano, VF: vivero del FLAR. El año representa la liberación de ese material a los países miembros.

### Diseño experimental

Los factores de estudio fueron por un lado los genotipos y por otro lado los tres diferentes ambientes. En cada uno de los tres ambientes se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas de cada genotipo fueron de 5m<sup>2</sup> y el área de muestreo de 1m<sup>2</sup>.

### Manejo del cultivo

La preparación de terreno consistió de dos rastreos (una normal y la segunda de forma cruzada). Se trazaron o marcaron los surcos a cada 25cm con ayuda de una sembradora (Swissmex, 2617 SH), para posteriormente hacer la siembra de forma manual. Cada material se sembró en cinco surcos de 5m de longitud, dejando un metro de calle al final de cada bloque. El control de malezas se ejecutó dos días después de haber realizado el primer riego, mediante la aplicación en preemergencia del producto comercial Ronstar® (1,5l·ha<sup>-1</sup>). Un mes después de la siembra se aplicó la mezcla de Herbipol®+Propavel® (1+4l·ha<sup>-1</sup>) y 20 días después se aplicó la mezcla Propavel®+Hierbester® (4+1 l·ha<sup>-1</sup>) para controlar las malezas más persistentes. Se realizaron deshierbes manuales para controlar malezas en las calles y bordos, principalmente.

### Riego

Durante la etapa vegetativa del cultivo los riegos se realizaron cada tres días, de forma rodada o por gravedad, manteniendo el suelo saturado con una lámina de riego de ~10cm.

Durante la etapa de embuche y la floración los riegos fueron continuos, manteniendo el suelo completamente inundado hasta la madurez fisiológica de los materiales.

### Evaluaciones

Durante la fase reproductiva y madurez fisiológica de los materiales se registraron las siguientes variables:

-Días a floración (DAF), cuando el 50% de las plantas se encuentran en antesis.

-Días a madurez fisiológica (DMF), cuando el 50% de las plantas de la parcela se encuentran en madurez, considerando madurez cuando un 90% de los granos de la panícula están maduros. Se puede presentar diferencias entre genotipos pero principalmente se observa por el cambio de coloración del grano.

-Altura de planta (AP), tomada del tallo principal o del tallo más alto, desde la base de la planta hasta el ápice de la panícula, en 10 plantas por parcela.

-Rendimiento de grano (RG), que se cuantificó en 1m<sup>2</sup> en cada parcela y en los cuatro bloques.

### Tolerancia a enfermedades

Esta se midió principalmente para el complejo del denominado 'manchado del grano', principalmente causado por *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker = *Helminthosporium oryzae* Breda de Haan [anam.] (Hernández-Arenas *et al.*, 2012), enfermedad frecuente actualmente en México.

La medición se realizó de acuerdo a la escala propuesta por CIAT (1983) de 1 a 9, siendo 1 la mayor tolerancia y 9 la mayor susceptibilidad.

### Calidad molinera de las líneas evaluadas

Para las pruebas de calidad molinera se aplicó la metodología del CIAT (1989) adaptada por Tavitas *et al.* (2009). El estudio se realizó solamente para las líneas de alto potencial de rendimiento en cada una de las localidades. Este análisis, conjuntamente con las evaluaciones en campo (comportamiento agronómico, potencial de rendimiento y su tolerancia a enfermedades) son esenciales para que una línea pueda ser registrada como variedad, ya que el carácter recuperación de grano entero pulido o arroz súper extra, es una de las características que la industria o molinero toma como variable de calidad para su aceptación, sin menospreciar la calidad culinaria o contenido de amilosa-amilopectina. Además, la clasificación

del grano se realizó en una sola localidad, con material cosechado en el estado de Morelos, de acuerdo a esta misma metodología. Se utilizó a la variedad Morelos A-2010 como variedad local de referencia para esta evaluación.

### Análisis estadístico

Para el análisis de varianza de los datos obtenidos, éstos se ordenaron en hojas de cálculo y posteriormente se analizaron estadísticamente con el programa SAS (2000). Los datos recabados se analizaron como una serie de experimentos con el modelo  $Y_{ijk} = \mu + L_i + T_j + LT_{ij} + B_{(i)k} + E_{ijk}$  e individual para cada localidad como un bloque completos al azar bajo el modelo  $Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$ . Con la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) se determinó el mejor genotipo de cada ambiente, el mejor ambiente, el mejor genotipo y, a su vez, la interacción entre los genotipos y los ambientes evaluados.

### Resultados y Discusión

El análisis de varianza para los diferentes ambientes evaluados mostró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) y para el análisis combinado también se encontró diferencias altamente significativas para los tratamientos/líneas (18) y para ambientes (3), siendo además altamente significativa la interacción entre tratamientos×ambientes, lo cual significa que los materiales se comportaron indistintamente en cada ambiente. Por ello lo

TABLA II  
ANÁLISIS ESTADÍSTICO INDIVIDUAL Y COMBINADO EN SERIE DE EXPERIMENTOS PARA RENDIMIENTO DE GRANO EN ENSAYOS DE ARROZ EN TRES AMBIENTES EN MÉXICO (P-V 2013)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Significancia ( $p \leq 0,01$ )**
Tratamientos (T)			
Líneas (Nayarit)	17	8969,7	**
Líneas (Michoacán)	17	14922,1	**
Líneas (San Luis Potosí)	17	5413,6	**
Combinado			
Ambientes (A)	2	652154,3	**
Tratamientos (T)	17	16169,7	**
A×T	34	6567,6	**

más recomendable es que para cada ambiente se libere la línea con mejor comportamiento.

En Nayarit, los genotipos FL04621-2P-1-3P-3P-M y FL05372-7P-3-2P-2P-M presentaron mayor rendimiento de grano, con un rendimiento promedio de 7,4 y 7,6t·ha<sup>-1</sup>. Estas mismas líneas mostraron además una menor altura de planta (<1,4m) y gran precocidad (<117 días a madurez fisiológica). Asimismo, otros cuatro materiales tuvieron buen potencial de rendimiento, ya que estuvieron por arriba de 7t·ha<sup>-1</sup>: FL06747-4P-10-5P-3P-M, FL07562-7P-3-3P-2P-M, FL08224-3P-2-1P-2P-M y FL08224-3P-2-1P-3P-M. Por el contrario, el genotipo El Silverio (T<sub>1</sub>), obtuvo un rendimiento de 2,2t·ha<sup>-1</sup>, siendo el más bajo; sin embargo, fue el genotipo más precoz, con 77 días a floración y 107 días a cosecha. Los materiales más tardíos fueron FL07562-7P-3-3P-2P-M y FL07162-7P-3-3P-3P-M, con 98 y 97 días a floración y 128 días a madurez.

De acuerdo a los resultados obtenidos en potencial de rendimiento fueron seleccionadas seis materiales: FL04621-2P-1-3P-3P-M, FL05372-7P-3-2P-2P-M, FL06747-4P-10-5P-3P-M, FL07562-7P-3-3P-2P-M, FL08224-3P-2-1P-2P-M y FL08224-3P-2-1P-3P-M, a los que le fueron realizados análisis de calidad industrial. La recuperación de granos pulidos enteros registró valores de 62 a 67%, siendo FL06747-4P-10-5P-3P-M y FL08224-3P-2-1P-3P-M las líneas de mejor calidad para porcentaje de grano entero con valores de 66 y 67%, respectivamente. Las líneas de mejor comportamiento, FL04621-2P-1-3P-3P-M y FL05372-7P-3-2P-2P-M, son líneas que entraron al país en 2005 y tienen más de cinco evaluaciones en campo, en las que su porcentaje de granos enteros fueron en promedio >60%, motivo por el cual no se les realizó el análisis de calidad molinera.

En relación con la clasificación del grano, solamente las líneas FL08224-3P-2-1P-3P-M y FL07562-7P-3-3P-2P-M poseen

grano extra-largo delgado con 100% de endospermo cristalino. Las líneas restantes poseen grano largo delgado y con apariencia del 90 a 100% de grano cristalino. En este ambiente, casi todas las líneas superaron a las variedades testigos, obteniendo un mayor rendimiento de grano pero también fueron más tardíos para la fecha de madurez en comparación con la variedad El Silverio. Estos resultados permiten identificar genotipos con alto potencial de rendimiento que puedan ser liberados como nuevas variedades en la región.

Para la localidad de Michoacán, el mejor rendimiento fue de 13,96t·ha<sup>-1</sup>, que correspondió al genotipo FL08224-3P-2-1P-3P-M, seguido por un grupo de líneas que superan las 12t·ha<sup>-1</sup>: FL05392-3P-12-2P-2P-M, FL010124-12P-4-2P-3P-M, FL010164-7P-3-1P-1P-M, FL010164-7P-3-3P-1P-M, FL07162-7P-3-3P-3P-M y FL06747-4P-10-5P-3P-M. Cabe mencionar que por las condiciones de agua y luz, esta localidad ha sido por mucho una de las mejores para que las líneas expresen su máximo potencial de rendimiento. El rendimiento más bajo fue de 5,2 t·ha<sup>-1</sup>, del genotipo Morelos A-08 (testigo) que también fue el más precoz, iniciando su floración a los 82 días después de la siembra y con 106 días a madurez, mientras que los más tardíos obtuvieron 108 días a floración y 132 días a madurez, correspondiendo a los materiales FL07562-7P-3-3P-2P-M y FL07162-7P-3-3P-3P-M. Los materiales de porte bajo fueron FL08417-16P-2-1P-1P-M y FL07562-7P-3-3P-2P-M, con una altura de planta de 65cm, mientras que el más alto fue FL07201-6P-5-3P-1P-M, con 94cm.

Se seleccionaron tres líneas por su comportamiento agrónomico y alto potencial de rendimiento para su análisis de calidad. Entre las mejores líneas por sus características estuvieron FL05392-3P-12-2P-2P-M, seguida por FL06747-4P-10-5P-3P-M y por último FL05392-3P-12-2P-2P-M, con 57, 56 y 55% de granos enteros, respectivamente. Cabe mencionar que

se considera con un aceptable rendimiento molinero a aquellas que tengan una recuperación de granos enteros >50%.

Finalmente, en San Luis Potosí los mejores genotipos fueron FL08224-3P-2-1P-3P-M, FL06747-4P-10-5P-3P-M, FL04621-2P-1-3P-3P-M y FL010124-12P-4-2P-3P-M, con rendimientos superiores a 7t·ha<sup>-1</sup>; solo acercándose a este rendimiento la variedad comercial Milagro Filipino. Los demás testigos estuvieron con rendimientos bajos. FL08224-3P-2-1P-3P-M y FL06747-4P-10-5P-3P-M presentaron los rendimientos más altos con 8,2 y 7,8t·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que FL07201-6P-5-3P-1P-M y Morelos A-08 (T<sub>2</sub>) mostraron rendimientos bajos, con 3,8 y 4,0t·ha<sup>-1</sup>. El genotipo Morelos A-08 fue el más precoz, con 84 días a floración después de la siembra y 106 días a cosecha.

Por otra parte, los materiales El Silverio (T<sub>1</sub>) (García-Angulo *et al.*, 2011) y Milagro (T<sub>3</sub>) fueron los más tardíos, con 103 días a floración y 120 días a madurez. Para altura de planta, el genotipo FL08417-16P-2-1P-1P-M presentó la paja más corta con 96,5cm de altura y el más alto fue el FL07201-6P-5-3P-1P-M, con 158,7cm. En esta última localidad se identificaron varias líneas con buen rendimiento de campo; las líneas que se seleccionaron para el análisis de calidad fueron cuatro y la mejor fue FL06747-4P-10-5P-3P-M con 67%, seguida por FL04621-2P-1-1-3P-3P-M con 65% y la línea FL08224-

3P-2-1P-3P-M, que fue la de mayor rendimiento de campo y tuvo 64% de granos enteros.

#### Análisis combinado de localidades y genotipos

El análisis estadístico mostró que la localidad de Michoacán fue la que obtuvo los valores más altos para la mayoría de las variables estudiadas. Este fue el caso de rendimiento de grano, días a floración y días a madurez fisiológica. Por otra parte, para altura de planta fue estadísticamente la que en promedio obtuvo el valor más bajo. Para rendimiento de grano las otras dos localidades fueron estadísticamente iguales (Tabla III).

La prueba de comparación de medias indicó que Michoacán presentó el mayor rendimiento de grano para los genotipos evaluados con 11,39t·ha<sup>-1</sup>, mientras que Nayarit presentó el más bajo con 5,96t·ha<sup>-1</sup>; sin embargo, en este último ambiente los materiales evaluados expresaron mayor precocidad para el inicio de la floración y la madurez, aunque también presentó una mayor altura de planta. En algunos trabajos se ha encontrado que aquellos ambientes con ciclo más largo son de mayor productividad, posiblemente debido a la mayor cantidad de luz convertida a fotoasimilados, siendo este el caso de las variedades Morelos A-98 y A-2010, cuyo ciclo es de ~180 días de siembra a madurez fisiológica (Salcedo y Barrios, 2012). Estudios anteriores también reportan diferencias significativas

TABLA III  
PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA TRES AMBIENTES EVALUADOS EN MÉXICO (P-V 2013)

Ambientes	RG (t ha <sup>-1</sup> )	DAF	DAM	AP (cm)
Nayarit	5,96 b	90,73 c	120,7 b	129,3 a
Michoacán	11,39 a	102,22 a	126,2 a	74,0 c
San Luis Potosí	6,96 b	94,08 b	113,8 c	110,6 b
MG	8,10	95,68	120,23	104,63
DMS	0,573	1,69	1,65	4,04
CV (%)	16,79	4,11	3,19	8,96
R <sup>2</sup>	0,77	0,69	0,70	0,84

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). RG: rendimiento de grano, DAF: días a floración, DAM: días a madurez, y AP: altura de planta. MG: media general, DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación, y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación.

entre genotipos evaluados en diferentes localidades, encontrando menores rendimientos en localidades que presentan problemas de sequía durante las etapas de floración y llenado del grano, así como incidencia de enfermedades (García *et al.*, 2010).

Los ensayos de rendimiento le permiten al fitomejorador seleccionar genotipos en diferentes ambientes con mejor comportamiento que el testigo, ya que estos experimentos son conducidos en sitios representativos donde el testigo está completamente adaptado (Camargo *et al.*, 2014). La conducción de ensayos en múltiples localidades, durante varios años o diferentes ambientes, es necesaria para caracterizar los patrones de respuesta de las localidades agrupadas en regiones y para identificar cultivares con alta productividad de grano para cada región (Camargo *et al.* 2011).

El genotipo que presentó mayor rendimiento promedio de los tres ambientes evaluados fue FL08224-3P-2-1P-3P-M, con un rendimiento de 9,7t·ha<sup>-1</sup>; es decir, obtuvo una mejor adaptabilidad en las diferentes condiciones en las que se estableció, seguida por FL06747-4P-10-5P-3P-M con 9,11t·ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, los genotipos El Silverio (T<sub>1</sub>) y Morelos A-08 (T<sub>2</sub>), presentaron el rendimiento más bajo, con 6,1 y 4,5t·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. FL04621-2P-1-3P-3P-M y Morelos A-08 (T<sub>2</sub>) se comportaron como precoces en la mayoría de los ambientes evaluados (88 días a floración y 112 días a madurez); por el contrario, los más tardíos fueron FL07162-7P-3-3P-3P-M y Milagro (T<sub>3</sub>), con 102 días a floración y 126 días a madurez.

Los resultados obtenidos coinciden con los reportados en República Dominicana por Adames (2014), quien al analizar el ciclo vegetativo y los componentes del rendimiento de tres genotipos de arroz en dos épocas de siembra encontró diferencias significativas, atribuyendo los resultados al genotipo, ya que uno de ellos era de ciclo largo y dos de ciclo intermedio. Además, encontró que

TABLA IV  
PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS  
PARA 18 GENOTIPOS EVALUADOS EN TRES  
AMBIENTES DE MÉXICO (P-V 2013)

	Genotipo	RG (t ha <sup>-1</sup> )	DAF	DAM	AP (cm)
1	FL04621-2P-1-3P-3P-M	8,76 ab	88,3 e	112,6 e	104,0 cd
2	FL05372-7P-3-2P-2P-M	8,44 ab	89,9 ed	114,5 ed	112,0 ab
3	FL05392-3P-12-2P-2P-M	8,88 ab	94,62 cd	119,5 c	106,6 cd
4	FL06747-4P-10-5P-3P-M	9,11 ab	97,68 ab	122,4 ab	110,6 bc
5	FL07562-7P-3-3P-2P-M	8,69 ab	101,0 ab	125,8 ab	99,0 de
6	FL07162-7P-3-3P-3P-M	8,25 ab	101,5 a	126,0 a	105,0 cd
7	FL07201-6P-5-3P-1P-M	7,40 cd	94,5 cd	119,4 c	123,5 a
8	FL07201-6P-5-3P-3P-M	7,59 de	96,0 c	119,8 c	100,7 cd
9	FL08224-3P-2-1P-2P-M	8,44 ab	96,5 bc	121,1 bc	100,1 de
10	FL08378-3P-5-2P-2P-M	8,18 ab	94,7 cd	119,7 c	97,2 e
11	FL08417-16P-2-1P-1P-M	7,89 bc	96,6 bc	121,3 ab	99,8 de
12	FL08224-3P-2-1P-3P-M	9,71 a	97,2 ab	122,1 ab	105,3 cd
13	FL010124-12P-4-2P-3P-M	8,61 ab	95,6 c	120,4 c	100,0 de
14	FL010164-7P-3-1P-1P-M	8,44 ab	96,1 bc	120,6 c	98,5 e
15	FL010164-7P-3-3P-1P-M	7,70 ef	96,6 bc	121,3 ab	118,8 ab
16	El Silverio (T <sub>1</sub> )	6,19 fg	95,5 c	119,1 cd	100,4 cd
17	Morelos A-08 (T <sub>2</sub> )	4,61 g	87,37 e	112,6 e	105,3 cd
18	Milagro (T <sub>3</sub> )	7,81 cd	102,1 a	125,6 ab	97,0 e
	DMS	1,65	4,90	4,78	11,6

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales. RG: rendimiento de grano, DAF: días a floración, DAM: días a madurez, y AP: altura de planta. MG: media general, y DMS: diferencia mínima significativa.

en cuanto al rendimiento, durante la segunda época de siembra la fase de reproducción del cultivo coincidió con los días más cortos, menos radiación solar y temperaturas más bajas, lo que explicó la reducción del rendimiento en la segunda época respecto a la primera.

Para la altura de planta, los materiales FL08378-3P-5-2P-2P-M, FL010164-7P-3-1P-1P-M y Milagro (T<sub>3</sub>) presentaron la paja más corta con 97cm y el más alto fue FL07201-6P-5-3P-1P-M con 123,5cm en promedio para los diferentes ambientes, como se aprecia en la Tabla IV. El arquetipo que se busca con las nuevas variedades es que sean de paja corta, lo que les provee mayor tolerancia al acame, problema muy frecuente en algunas localidades bajo condiciones de riego. La evaluación de líneas en diferentes condiciones contribuye a determinar apropiadamente su potencial genético, productivo y la estabilidad fenotípica.

Cuando se realizan evaluaciones en diferentes ambientes, se expresa la interacción genotipo×ambiente (G×A), la cual afecta el comportamiento de la planta dificultando la selección de los genotipos superiores. Al

estudio de este fenómeno es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad, para definir el comportamiento de genotipos. La adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente y la estabilidad es la capacidad de los genotipos de mostrar su comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental (Adames *et al.*, 2013).

El rendimiento de grano de un mismo genotipo fue muy variable al pasar de un ambiente a otro. Morelos A-08 (T<sub>2</sub>) mostró mayor estabilidad en el rendimiento en comparación con los demás, aunque su rendimiento fue bajo y no superó la media general. En un estudio similar, Orona *et al.* (2013) concluyeron que un germoplasma de arroz evaluado bajo condiciones naturales tiene alto grado de estabilidad del rendimiento si presenta una respuesta lineal y baja variabilidad a través de los ambientes, el cual sería el caso de las líneas FL08224-3P-2-1P-3P-M y FL06 747-4P-10-5P-3P-M evaluadas en el presente experimento. Uno de los propósitos de los programas de mejoramiento

genético es la generación e identificación de nuevos genotipos con comportamiento superior y adaptados a un rango amplio de ambientes, característicos de regiones tropicales donde las condiciones agroclimáticas son cambiantes y contrastantes, dificultando la identificación de los genotipos superiores con la mejor adaptabilidad (Camargo *et al.*, 2005, 2014).

#### *Evaluación del complejo del manchado de grano en las 18 líneas*

En general, los 18 genotipos mostraron buena tolerancia en Nayarit al manchado del grano, enfermedad de alta incidencia en México, y moderada en Michoacán. En San Luis Potosí todas las líneas mostraron gran susceptibilidad a la enfermedad, a excepción de FL08224-3P-2-1P-3P-M que resultó ser tolerante.

#### *Clasificación del grano de arroz*

Con respecto a la clasificación del grano de acuerdo con los análisis de referencia, se encontró que solamente las líneas FL07562-7P-3-3P-2P-M y FL07162-7P-3-3P-3P-M poseen grano extra-largo delgado, junto con el testigo Morelos A-2010. De las restantes líneas del presente estudio, también poseen grano largo delgado y cristalino los genotipos FL053 72-7P-3-2P-2P-M, FL06747-4P-10-5P-3P-M, FL07201-6P-5-3P-3P-M, FL08224-3P-2-1P-2P-M, FL08224-3P-2-1P-3P-M, FL010164-7P-3-1P-1P-M y FL01 0164-7P-3-3P-1P-M.

#### **Conclusiones**

Para las condiciones de riego las mejores líneas fueron FL08224-3P-2-1P-3P-M y FL06 747-4P-10-5P-3P-M, ambas con rendimientos >9t·ha<sup>-1</sup>. Además, éstas presentaron buena tolerancia al manchado del grano en Michoacán y Nayarit, mientras que en San Luis Potosí solo FL08224-3P-2-1P-3P-M resultó ser resistente. Las dos

líneas mostraron un buen porcentaje de recuperación de granos enteros, buen tamaño de grano y buena forma y apariencia, características importantes para el industrial y el consumidor, y serán propuestas para su caracterización y próximo registro para condiciones de riego para el trópico mexicano.

## REFERENCIAS

- Adames A, Flores D, Colón J, Gómez A (2013) Selección de genotipos superiores de arroz a través de tres ambientes contrastantes de la República Dominicana. *Rev. Agropec. Forest.* 2: 1-8.
- Adames A (2014) Evaluación de genotipos de arroz por época de siembra en la zona noroeste de la República Dominicana. *Rev. Agropec. Forest.* 3: 9-16.
- Camargo BI, Martínez R L, Batista ME, Him HP, Quirós RE, Name TB (2005) Evaluación de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones de secano y riego. 2002-2003. *Agron. Mesoamer.* 16: 117-125.
- Camargo BI, Quirós ME, Gordón MR (2011) Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesq. Agropec.* 46: 1061-1069.
- Camargo BI, Quirós ME, Camargo GVM (2014) Selección de nuevos genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo. *Agron. Mesoamer.* 25: 63-71.
- Castañón G (1994) Estudio de la estabilidad en líneas avanzadas y variedades de Arroz (*Oryza sativa* L.) usando dos metodologías. *Agron. Mesoamer.* 5: 118-125.
- Chávez-Murillo CE, Wang Y, Quintero-Gutiérrez AG, Bello-Pérez LA (2011) Physicochemical, Textural, and nutritional characterization of Mexican rice cultivars. *Cereal Chem.* 88: 245-252.
- CIAT (1989) *Evaluación de la Calidad Culinaria y Molinera del Arroz; Guía de Estudio para Ser Usada como Complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el Mismo Tema.* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 73 pp.
- Degiovanni BVM, Martínez RCP, Motta OF (2010) *Producción Eco-Eficiente del Arroz En América Latina.* Publicación N° 370. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 487 pp.
- Eberhart SA, Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- García Angulo JL, Jiménez Chong JA, Fuentes Tavitas L, Hernández Aragón L (2010) Selección de líneas de arroz bajo temporal en la región central del Golfo de México. *Natura. Desarr.* 8: 6-17.
- García Angulo JL, Hernández Aragón L, Tavitas Fuentes L (2011) El Silverio: nueva variedad de arroz para el trópico mexicano. *Rev. Mex. Cs. Agríc.* 2: 607-612.
- Galarza-Mercado JM, Miramontes-Piña U, Muñoz-Pérez D, Gómez-Galeana P (2010) *Situación Actual y Perspectiva del Arroz en México 1990-2010.* Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 124 pp.
- Hernández-Arenas MG, Barrios-Gómez EJ, Canul-Ku J, Berriozabal-Onofre A, Rodríguez-Espinoza JJ (2012) Calidad fitosanitaria y tratamiento químico para control de patógenos en semillas de arroz tipo Morelos. *Invest. Agropec.* 9: 103-111.
- Hernández-Santiago L, Sánchez-Abarca C, Barrios-Gómez EJ, Hernández-Aragón L, Canul-Ku J (2014) Evaluación de vigor y calidad industrial en líneas de arroz de grano delgado. *Invest. Agropec.* 11: 99-106.
- IRRI-CIAT (1983) *Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.* 2ª ed. Internacional Rice Research Institute - Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 58 pp.
- Martínez AL, Ventura E, Maldonado U, Sánchez MM, Bazaldúa C, Del Villar AA (2005) Characterization of storage proteins and anther culture for the development of high nutritional quality rice genotypes. *Biotechnol. Aplic.* 22: 41-44.
- Orona Castro F, Medina Méndez J, Tucuch Cauich FM, Soto Rocha JM, Almeyda León IH, (2013) Parámetros de estabilidad en r endimient y adaptabilidad de 25 genotipos de arroz en Campeche, México. *Phyton* 82: 255-261.
- Ruiz Sánchez M, Muñoz Hernández Y, Vázquez Del Llano B, Cuéllar Olivero N, Polón Pérez R, Ruiz Lozano JM (2012) La simbiosis micorrizica arbuscular en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico. Parte I. Mejora la respuesta fisiológica. *Cult. Trop.* 33: 47-52.
- Salcedo-Aceves J, Barrios-Gómez EJ (2012) Morelos A-2010, nueva variedad de arroz para siembra directa para el centro de México. *Rev. Mex. Cs. Agríc.* 3: 1453-1458.
- SAS (2000) *SAS® Procedure Guide,* Version 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 pp.
- SIAP (2014) *Producción Agropecuaria y Pesquera.* Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México. [www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/) (Cons. 30/11/2015).
- Tapia Vargas LM, Hernández Pérez A, Larios Guzmán A, Vidales Fernández I (2013) *Producción de Arroz Palay en la Región del Valle de Apatzingán.* Folleto Técnico N° 1. Campo Experimental Valle de Apatzingán. Michoacán, México. 64 pp.
- Tavitas FL, Hernández AL, Valle VM (2009) *Actualización de las Técnicas para la Determinación de la Calidad del Grano de Arroz.* Folleto Técnico N° 36. Campo Experimental Zacatepec. SAGARPA-INIFAP-CIRPAS. México. 29 pp.