

Evaluación de tolerancia a *Pyricularia oryzae* en híbridos de arroz obtenidos bajo cruzamientos dialélicos

Evaluation of Tolerance to *Pyricularia oryzae* in Rice Hybrids Obtained under Diallelic Crossings

Greivin Chaves Cambronero ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0995-1120>

Andrés Zúñiga Orozco * ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8214-4435>

Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.

Autor de correspondencia: azunigao@uned.ac.cr

Resumen

Objetivo: evaluar la tolerancia de 14 híbridos de arroz a *P. oryzae* bajo las condiciones de producción de la región Pacífico Central de Costa Rica. **Materiales y métodos:** se obtuvo la semilla realizando un bloque de cruzamientos en el que se utilizaron cinco parentales con tolerancia a *P. oryzae*. Además de la tolerancia al hongo, cuantificada en escala de severidad, se midieron variables de interés agronómico como altura de planta (cm), panículas por planta, granos por panícula, granos llenos por panícula, granos vanos por panícula y peso de 1 000 granos (g), todas ellas siguiendo el protocolo de medición estándar IRRI para arroz. **Resultados:** el cruce 3x1 mostró alta tolerancia a *P. oryzae* ($p < 0.05$). Para el análisis de habilidad combinatoria específica (HCE), los cruces 3x1, 3x2 y 3x4 presentaron los valores de mayor tolerancia al hongo, así como de la mayoría de componentes del rendimiento. Para la heterosis media (HM), los cruces 3x1 y 3x4 fueron los que presentaron mayor tolerancia a *P. oryzae*, así como para los componentes de rendimiento. Finalmente, al analizar la habilidad combinatoria general (HCG), se encontró

Abstract

Objective: this study was to evaluate the tolerance of 14 rice hybrids to *P. oryzae* under the production conditions of the Central Pacific region of Costa Rica. **Material and methods:** the seed was obtained by carrying out a crossing block in which five parentals with tolerance to *P. oryzae* were used. In addition to tolerance to the fungus, quantified on a severity scale, variables of agronomic interest were measured such as plant height (cm), panicles per plant, grains per panicle, full grains per panicle, vain grains per panicle, and weight of 1000 grains (g), all of them following the standard IRRI measurement protocol for rice. **Results:** the 3x1 cross showed high tolerance to *P. oryzae* ($p < 0.05$). For the analysis of specific combinatorial ability (HCE), the 3x1, 3x2 and 3x4 crosses presented the highest tolerance values to the fungus, as well as the majority of performance components. For the mean heterosis (HM), the 3x1 and 3x4 crosses were those that presented the highest tolerance to *P. oryzae*, as well as for the yield components. Finally, when analyzing the general combinatorial ability (HCG), a pattern was found where the hybrids in which

un patrón donde los híbridos, en los cuales se utilizó como progenitor al parental 3, fueron los que presentaron la mayor tolerancia al hongo. Conclusión: se determinó que el parental 3 es un progenitor promisorio, así como los cruces derivados de éste, tanto a nivel aditivo como no aditivo.

Palabras clave

Oryza sativa, genotipos, germoplasma, habilidad combinatoria, heterosis.

the parent 3 was used as the progenitor, were those that presented the highest tolerance to the fungus. Conclusion: parental 3 was determined to be a promising parent, as well as the crosses derived from it, both at an additive and non-additive level.

Keywords

Oryza sativa, genotypes, germplasm, combinatorial ability, heterosis.

Introducción

Para Costa Rica, el arroz representa el alimento más importante en su dieta con un consumo de 46.96 kg *per cápita*, según la Corporación Arrocería Nacional (CONARROZ, 2019).

El aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos ambientales relacionados con el cambio climático (sequías, inundaciones, entre otras), elevan la incidencia de plagas en los cultivos, por lo cual la investigación de nuevos métodos para el manejo de los diversos tipos de plagas presentes en los cultivos gana importancia. De acuerdo a Quiroga (2016), el sector agrícola sería el más afectado por las condiciones del cambio climático, debido a la generación de condiciones propicias para el desarrollo de plagas y enfermedades, lo que podría afectar entre 12 y 13% de rendimiento en los ocho principales cultivos para la alimentación y la industria, lo cuales ocupan más de 50% del área cultivable en el mundo.

En el cultivo del arroz, la principal enfermedad y la mayor causante de pérdidas económicas es conocida como *Pyricularia*, causada por el hongo *Pyricularia oryzae* Cavara (forma sexual de *Magnaporthe grisea*). Esta enfermedad puede afectar hasta un 100% de la plantación y causar daños económicos considerables; por ejemplo, en el año 2003, la India sufrió pérdidas por el orden de las 266 000 t de arroz, el equivalente a 8% de la producción de ese país (Garcés *et al.*, 2012). El principal enfoque de manejo lo representa la obtención e identificación de materiales que muestren resistencia a la enfermedad de forma parcial o completa; sin embargo, muchas variedades de arroz pierden frecuentemente su resistencia en periodos de tres a cinco años luego de su liberación debido a la alta variabilidad del hongo en el campo (Zhu *et al.*, 2016). En Costa Rica, las principales áreas de producción de arroz se caracterizan por alta humedad relativa y altas temperaturas, factores que favorecen el desarrollo de enfermedades fúngicas. *P. oryzae* genera daños de hasta 90% del cultivo cuando la afectación es severa (Madriz *et al.*, 1996).

De acuerdo a Garcés *et al.* (2012) y Kumar *et al.* (2012), para que la obtención de nuevas variedades sea exitosa, los genotipos deben ser resistentes a plagas y enfermedades, tolerantes a condiciones adversas del suelo y clima; aunado a ello, la calidad del grano debe ser adecuada al gusto de los consumidores. Por ende, las líneas avanzadas deben

seleccionarse y evaluarse ampliamente en las áreas donde finalmente serán recomendadas para evitar problemas de adaptabilidad y susceptibilidad a enfermedades, problemas que ya en la práctica contribuyen a reducir la vida útil de las variedades de arroz, liberadas en el país en años anteriores.

En la evaluación de cruzamientos es importante utilizar herramientas técnicas que permitan determinar con certeza si los cruzamientos y los parentales son los adecuados, para esto se requiere calcular la habilidad combinatoria general (HCG) y específica (HCE) en un set de cruzamientos o dialelo. La HCG se considera asociada a la acción génica de tipo aditivo y la HCE a la de tipo no aditivo (dominancia y sobredominancia) (Griffing, 1956; Montoya, 2019). La HCG es el comportamiento promedio de los progenitores en sus combinaciones híbridas, y el término HCE indica que ciertas combinaciones se comportan relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse sobre la base del comportamiento promedio de los progenitores involucrados (Ruelas-Hernández *et al.*, 2008; Hernández-Pérez *et al.*, 2011; Hijam *et al.*, 2019; Montoya, 2019). Al conocer la aptitud combinatoria de los progenitores se puede lograr mayor eficiencia en los programas de mejoramiento, lo cual permite seleccionar líneas con un buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de líneas que intervienen en el cruzamiento (Gordillo, 2011; Hijam *et al.*, 2019).

Para el cálculo de la HCG y HCE, una de las formas ampliamente utilizadas es el uso de la metodología propuesta por Griffing (1956), la cual consiste en que, “p” progenitores se aparean entre sí para producir un número determinado de progenies $p(p-1)$, si se incluyen los cruzamientos recíprocos y $p(p-1)/2$ si no se incluyen. La metodología de Griffing es necesaria acompañarla con un diseño dialélico, para la cual también es útil estimar la heterosis, con la que se puede evaluar el comportamiento de líneas en combinaciones híbridas y seleccionar ciertos padres o cruza como fuente de germoplasma mejorado. Este diseño genético permite establecer las relaciones entre los padres involucrados en los cruzamientos, siendo útiles en la identificación de híbridos y cruzamientos promisorios (Hernández-Pérez *et al.*, 2011).

En todo programa de fitomejoramiento es necesario contar con herramientas técnicas para evaluar cruzamientos para resistencia a enfermedades; sin embargo, es crucial poseer la fuente de resistencia genética (parentales) y establecer las condiciones idóneas para la infección del patógeno, con la finalidad de garantizar una efectiva selección y escoger el método de mejoramiento adecuado (Pérez *et al.*, 2015).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la tolerancia de 14 híbridos de arroz al hongo fitopatógeno *P. oryzae*, bajo las condiciones de producción de secano y edafoclimáticas de la región Pacífico Central en Costa Rica con cinco parentales altamente tolerantes a la enfermedad.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento fue realizado entre los meses de noviembre de 2018 a febrero de 2019. El área de estudio se ubicó en la provincia de Puntarenas, cantón de Parrita, específicamente en la finca experimental La Bandera de la Corporación Arrocería Nacional. La finca se encuentra ubicada a 6 msnm con una precipitación media de 3 000 mm y una temperatura promedio de 26.7 °C.

Material vegetal

El germoplasma utilizado en el estudio es propiedad de la Corporación Arrocería Nacional y provienen de convenios internacionales con la Empresa Cubana Exportadora y Comercializadora de Productos de la Ciencia y la Técnica Agropecuaria (CATEC, Cuba) y con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, Colombia). Los materiales utilizados corresponden a hibridaciones provenientes de parentales seleccionados por el área de mejoramiento genético de CONARROZ (cuadro 1).

Cuadro 1

Descripción de los materiales utilizados como parentales para las hibridaciones estudiadas

Material	Parental	Ciclo	Origen	Características importantes
CONARROZ 1	1	105	Colombia	Tolerancia a <i>Pyricularia oryzae</i> Alto rendimiento Buen comportamiento culinario
CIAT 54	2	120	Colombia	Tolerancia a <i>Pyricularia oryzae</i> . Alta calidad molinera Porte medio
IA CUBA 29	3	110	Cuba	Tolerancia a <i>Pyricularia oryzae</i> Alto rendimiento Buena respuesta en suelos degradados
IA CUBA 15	4	125	Cuba	Tolerancia a <i>Pyricularia oryzae</i> Buena respuesta a estrés hídrico y edáfico
CONARROZ 91	5	105	Cuba	Tolerancia a <i>Pyricularia oryzae</i> Alto rendimiento Porte alto

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones y cada repetición estuvo constituida por una planta. La distancia entre plantas fue de 0.2 m y entre bloques de 0.2 m. Cada una de los surcos se numeró de

izquierda a derecha, al finalizar cada bloque se continuó la numeración con el surco más próximo del siguiente bloque. Se sembró una variedad susceptible a *P. oryzae* (Palmar-18) alrededor de la parcela, para evitar el efecto borde sobre las unidades experimentales y pre-disponer a los genotipos a infectarse mediante la técnica de camas de infestación.

Manejo del cultivo

La siembra se efectuó bajo el sistema de trasplante manual pero inicialmente se colocaron las semillas de los tratamientos en bandejas germinadoras de 90 celdas. En campo se hizo la preparación del terreno con dos pases de motocultivador manual marca Pasqualli, posterior a ello se demarcaron los surcos de siembra con rayador metálico de 10 cm entre surcos y se procedió a realizar la demarcación del ensayo, utilizando cuerda y rótulos por cada bloque. A los 18 días de germinado en bandeja se trasplantaron las plantas en campo con una densidad de una planta por golpe en un marco de siembra de 0.20 m x 0.20 m y según correspondió el plan de siembra (figura 1).

Figura 1

Diseño experimental en bloques mediante el cual se llevó a cabo la evaluación de cruzamientos y parentales en cuanto a tolerancia a *P. oryzae* y variables de interés agronómico. Finca experimental La Bandera, Parrita Puntarenas, 2018-2019

Material susceptible				
B1	B2	B3	B4	B5
Parental 1	3x5	3x4	3x4	2x4
3x1	5x3	2x4	3x1	3x5
2x4	1x3	1x3	3x2	1x4
1x3	3x1	1x2	4x3	Parental 2
3x5	1x4	Parental 1	Parental 2	4x1
4x3	Parental 4	Testigo	1x2	3x4
Parental 2	Parental 1	4x3	2x4	1x3
Testigo	1x3	Parental 2	3x5	Parental 1
5x1	Parental 2	Parental 4	1x3	1x2
Parental 5	Testigo	Parental 5	5x3	3x2
1x2	Parental 3	3x1	5x1	Parental 3
1x4	1x2	Parental 3	1x3	5x1
Parental 3	3x2	4x1	4x1	4x3
4x1	4x3	5x3	Parental 1	Testigo
3x2	5x1	3x5	Parental 4	5x3
5x3	4x1	5x1	Testigo	3x1
Parental 4	3x4	3x2	1x4	1x3
1x3	2x4	1x3	Parental 3	Parental 5
3x4	Parental 5	1x4	Parental 5	Parental 4

Material susceptible

Para este experimento se hizo control de arvenses con los siguientes ingredientes activos en presembrado: glifosato (3 l/ha), pendimetalina 50EC (3 l/ha) y butaclor 600EC (4 l/ha). También se realizó el control de gusanos de tierra o minadores en las etapas tempranas del cultivo (siembra e inicio de macollamiento) utilizando imidacloprid (150 cc/ha), además se realizó control de chinche (*Oebalus insularis*) utilizando lambda-cihalotrina (120 cc /ha) cuando se presentó el 5% de floración y en estado lechoso. Con lo que respecta a predisponer los genotipos al hongo *P. oryzae*, se realizaron varias prácticas de manejo necesarias: se sembró un material susceptible al hongo (Palmar 18), no se aplicaron fungicidas, se sembró en una parcela *hot spot* de acuerdo con las metodologías de Cárdenas (2000), Tarquí *et al.* (2017) y Correa-Victoria (1995); asimismo, se aplicó riego por aspersión cada dos días, se colocaron plantas infectadas encima de las parcelas y se aplicó 25% adicional de nitrógeno en la fertilización granulada según Yalew (2019).

Recolección de datos y evaluaciones

Para las siete variables cuantificadas se utilizó el sistema de evaluación estándar del International Rice Research Institute en Filipinas (IRRI, 2013) adaptada por el CIAT. Según el protocolo mencionado, se utilizó una escala general con valores de 0-9, donde cero indica la inmunidad del material contra *P. oryzae* y nueve altas susceptibilidades (cuadro 2).

El procedimiento para la recolección de datos en las variables seleccionadas se efectuó desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha, como se aprecia en el cuadro 3.

Análisis de los datos

Los resultados cuantitativos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), así como a una prueba de comparaciones múltiples o de medias para determinar la significancia entre cruzamientos y parentales, utilizando la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95% ($p=0.05$) para todas las variables, y se utilizó el software estadístico Minitab®.

Para el análisis genético se utilizó el software AGD-R® del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en el cual se analizó un diseño de alelos parciales según el método II y modelo I de Griffing (1956), considerando usar un ANOVA con un nivel de confianza de 95% ($p=0.05$). El modelo lineal fue: $Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + e_{ijk}$; $i, j = 1, \dots, p$; $k = 1, \dots, r$; donde: Y_{ijk} es el valor observado de la cruce con progenitores i y j en la repetición k ; μ es el efecto medio de todas las observaciones; g_i fue el efecto de aptitud combinatoria general del progenitor i , S_{ij} representó el efecto de aptitud combinatoria específica de la cruce $i \times j$; y e_{ijk} el error experimental.

Las estimaciones de heterosis (H) se realizaron con base en la fórmula: $H = ((F_1 - VPM) / VPM) \times 100$; donde: F_1 es el valor promedio de la cruce y VPM es el valor promedio de los progenitores.

Cuadro 2
Escala general para evaluación de materiales de arroz adaptado de IRRI
modificada por CIAT (2013)

Grado en la escala	Calificación por			Utilidad	
	Severidad o incidencia	Comparación con testigos	Valoración cualitativa	Calificación	Comentarios
0	0 (inmune)		HR		
1	Menor a 1%	Igual al testigo resistente o mejor	R	Buena	Expresión varietal satisfactoria. Se puede usar como progenitor y como variedad comercial
2			MR		
3	1-5%		MR		
4	6-25%	Entre el testigo resistente y el susceptible	MS	Regular	Expresión varietal no tan buena como debería ser, pero se puede aceptar bajo ciertas circunstancias
5					
6					
7	26-50%	Igual al testigo más susceptible	S	Pobre	Expresión varietal desfavorable tanto para fines de mejoramiento genético como para fines comerciales
8					
9					

HR=altamente resistente; R=Resistente; MR=Moderadamente resistente; MS= Moderadamente susceptible; S=Susceptible; HS= Altamente susceptible.

Cuadro 3
Descripción de la recolección de datos y medición de variables

Variable	Etapas fenológicas en días después de germinado (ddg)
1. Piricularia en hoja (según escala)	Tres evaluaciones a los 20, 35 y 50 ddg en condiciones ambientales favorables al patógeno
2. Altura de la planta (cm)	Floración
3. Panículas por planta (número)	Cosecha
4. Granos por panícula (número)	Cosecha
5. Granos llenos por panícula (número)	Cosecha
6. Granos vanos por panícula (número)	Cosecha
7. Peso de 1 000 granos (g)	Cosecha

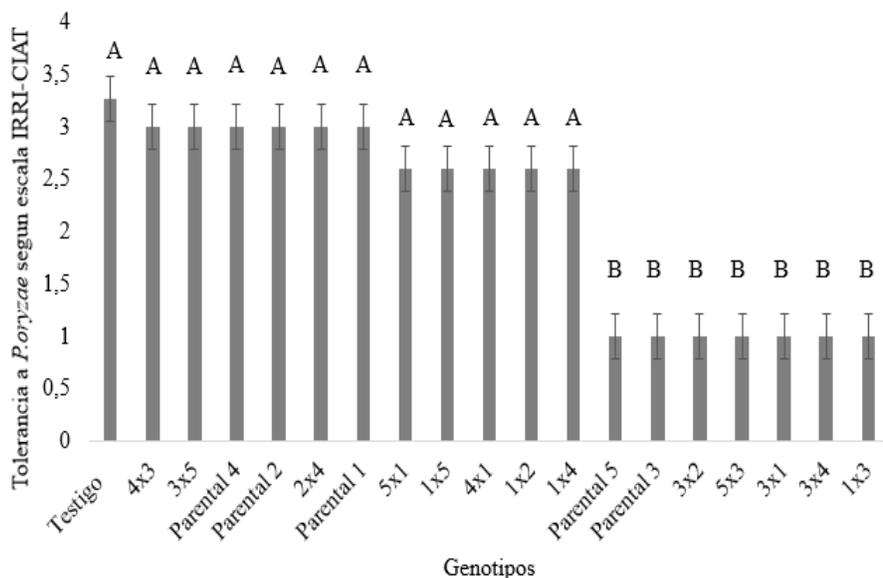
Resultados

Evaluación de *P. oryzae* a 20 ddg

Para la variable tolerancia a *P. oryzae* a los 20 ddg, las combinaciones 1x3, 3x4, 3x1, 5x3, 3x2 y los parentales 5 y 3 presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con los restantes cruzamientos, parentales y testigo del estudio. Cabe destacar que, para esta variable, los valores menores corresponden a mayor tolerancia a la enfermedad *P. oryzae*. Por otro lado, el testigo utilizado para determinar la incidencia de la enfermedad, presentó el nivel más bajo de tolerancia para la enfermedad indicada, es decir la más susceptible (figura 2).

Figura 2

Evaluación de *P. oryzae* a los 20 ddg según escala IRRI-CIAT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

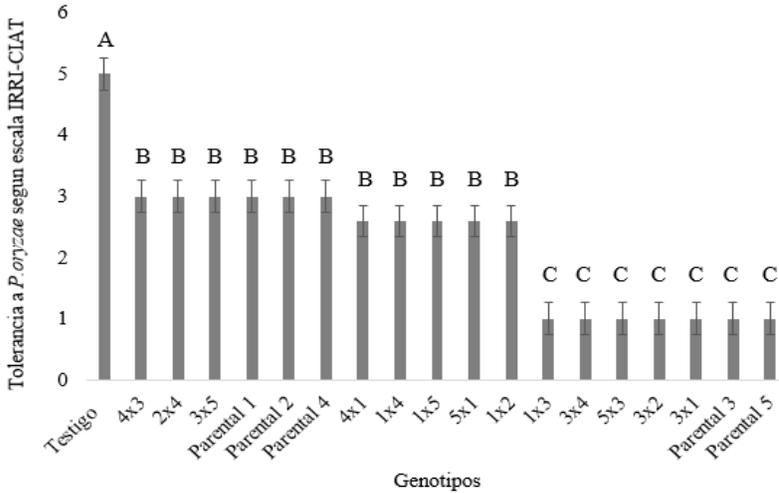


Evaluación de *P. oryzae* a 35 ddg

Los parentales 3 y 5, y los híbridos: 1x3, 3x4, 5x3, 3x2, y 3x1 mostraron la más alta tolerancia para *P. oryzae* con hasta 5% de afectación foliar, sin presentar diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre sí; sin embargo, hay diferencias significativas ($p < 0.05$) con los demás parentales y cruces presentes en el estudio. Por otro lado, en esta evaluación, el material testigo evidenció mayormente la susceptibilidad al hongo al presentarse la más alta severidad, en la que se encontró en el campo hasta un 50% del área foliar afectada según la escala utilizada (figura 3).

Figura 3

Evaluación de *P. oryzae* a los 35 ddg según escala IRRI-CIAT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

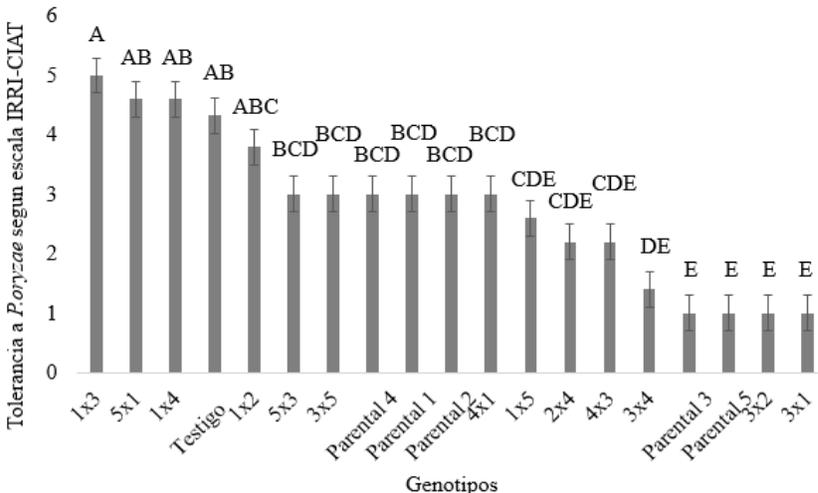


Evaluación de P. oryzae a 50 ddg

Los parentales 3 y 5, junto a los híbridos F1: 3x2 y 3x1 mostraron la mayor tolerancia para la enfermedad, en esta etapa del cultivo, los que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con la mayor parte de los genotipos en estudio, incluyendo al testigo (figura 4).

Figura 4

Evaluación de *P. oryzae* a 50 ddg según escala IRRI-CIAT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)



Determinación de la habilidad combinatoria general (HCG)

Los valores calculados indican cual o cuales parentales pueden hacer los mayores aportes a nivel aditivo para cada variable (cuadro 4). Se presentaron valores significativos con respecto a la media para todas las variables medidas ($p < 0.05$).

Cuadro 4

Habilidad combinatoria general (HCG) evaluada en un ambiente para los parentales en estudio, según análisis de dialelo

Parental	h-Pl*	Pn/Pl*	Gr/ Pn*	Gr-Ll/Pn*	Gr-Vn/Pn*	P-1000 Gr*	Susceptibilidad**		
							P.o /20 ddg	P.o /35 ddg	P.o /50 ddg
1	-5.73	3.14	-35.72	-31.98	-3.12	1.36	0.36	0.36	0.34
2	-2.60	1.60	30.95	23.53	6.27	-1.65	0.34	0.34	0.03
3	4.41	-0.65	-18.03	-9.51	-7.13	0.25	-0.76	-0.76	-0.46
4	-0.62	-1.70	-1.30	-4.32	2.55	-0.25	0.34	0.34	0.12
5	4.54	-2.40	24.11	22.28	1.43	0.28	-0.29	-0.29	-0.03

*h-Pl: Altura de planta (cm), Pn/Pl: Panículas por planta (número), Gr/Pn: Granos por panícula (número), Gr-Ll/Pn: Granos llenos por panícula (número), Gr-Vn/Pn: Granos vanos por panícula (número)

**Escala de susceptibilidad 1 a 9, individuos con valores cercanos a 1 son menos susceptibles y los valores cercanos a 9 indican individuos más susceptibles al patógeno. P-1000 Gr: peso de 1000 granos, P.o/20 ddg: *P. oryzae* a 20 ddg, P.o/35 ddg: *P. oryzae* a 35 ddg, P.o/50 ddg: *P. oryzae* a 50 ddg.

Para la variable h-Pl los parentales 3 y 5 presentaron los valores superiores para HCG. Los parentales 1 y 2 mostraron los valores superiores de HCG, para el carácter Pn/Pl. Los parentales 2 y 5 presentaron valores superiores para el carácter Gr/Pn. Los parentales 2 y 5 presentaron valores superiores de HCG para la característica de Gr-Ll/Pn. El parental 3 presentó el mejor comportamiento para la variable Gr-Vn/Pn. Los parentales que presentaron altos valores de HCG para el carácter P-1000 Gr fueron 1, 3 y 5, no obstante, el parental 1 fue el mayor de ellos.

Para las variables más importantes P.o/20 ddg, P.o/35 ddg y P.o/50 ddg, los parentales 3 y 5 presentaron los valores más negativos; sin embargo, en esta variable quiere decir que fueron los que se mantuvieron más sanos.

Determinación de la habilidad combinatoria específica (HCE)

En el cuadro 5 se presentan los valores correspondientes a la habilidad combinatoria específica (HCE). Los valores individuales por cada cruzamiento específico para cada variable medida representan los efectos no aditivos. Se presentaron valores significativos con respecto a la media para todas las variables medidas ($p < 0.05$). Para la variable h-Pl los cruzamientos con mayor valor fueron 5x3, 3x1, 3x2 y 3x4. Para la variable Pn/Pl, los cruces 1x4, 3x1 y 3x4 mostraron un buen comportamiento para esta característica, al presentar alta HCE. Los cruces 2x4 y 5x3 presentaron los valores superiores para HCE en Gr/ Pn. Las combinaciones de parentales que presentaron los valores superiores de

HCE para Gr-LI/Pn, fueron 2x4, 3x1 y 5x3, esta variable es deseable para seleccionar genotipos superiores.

Cuadro 5

Habilidad combinatoria específica (HCE) evaluada en un ambiente para los híbridos realizados, según análisis de dialelo parcial

Genotipo	h-PI*	Pn/PI*	Gr/ Pn*	Gr-LI/Pn*	Gr-Vn/Pn*	P-1000 Gr*	Susceptibilidad**		
							P.o/20 ddg	P.o/35 ddg	P.o/50 ddg
P1	-2.75	-0.47	-6.72	-7.22	-0.36	0.92	0.25	0.25	-0.18
1x2	-0.81	-0.19	-21.04	-25.80	5.82	4.01	-0.08	-0.08	0.85
1x4	-6.31	3.63	-15.48	-5.98	-9.24	-0.81	-0.08	-0.08	1.51
P2	-3.87	2.09	17.25	18.14	1.14	-3.70	0.28	0.28	0.40
2x4	-1.26	-1.01	80.73	58.12	22.97	-3.70	0.28	0.28	-0.43
3x1	6.44	1.62	15.60	20.52	-6.91	-1.49	-0.51	-0.51	-1.30
3x2	5.28	-0.62	-46.38	-33.34	-12.34	1.61	-0.50	-0.50	-1.01
P3	-9.05	-1.75	-12.78	-13.71	-1.29	-0.61	0.45	0.45	-0.55
3x4	3.41	3.10	-4.74	4.22	-9.61	0.64	-0.50	-0.50	-0.72
P4	1.53	-4.11	-31.26	-31.42	1.74	1.51	0.28	0.28	0.23
5x1	-3.86	0.54	-20.80	-22.21	1.74	0.99	0.46	0.46	1.65
5x3	10.69	-1.56	33.23	21.76	10.17	1.29	0.04	0.04	0.91
P5	0.56	-1.27	12.40	16.92	-3.83	-0.67	-0.36	-0.36	-1.36

*h-PI: Altura de planta (cm), Pn/PI: Panículas por planta (número), Gr/Pn: Granos por panícula (número), Gr-LI/Pn: Granos llenos por panícula (número), Gr-Vn/Pn: Granos vanos por panícula(número)

**Escala de susceptibilidad 1 a 9, individuos con valores cercanos a 1 son menos susceptibles y los valores cercanos a 9 indican individuos más susceptibles al patógeno. P-1000 Gr: peso de 1000 granos, P.o/20 ddg: *P. oryzae* a 20 ddg, P.o/35 ddg: *P. oryzae* a 35 ddg, P.o/50 ddg: *P. oryzae* a 50 ddg.

La respuesta de HCE para la variable Gr-Vn/Pn fue mejor en los cruces 1x4, 3x2 y 3x4. Los granos vanos por panícula es una característica no deseable, por ello las combinaciones que presenta alto valor de HCE para este carácter no son aceptables; por otra parte, aquellas con valores negativos representan lo que es deseable para la mejora genética.

El cruce 1x2 presentó altos valores de HCE para la variable P-1000 Gr.

En cuanto a los valores obtenidos para HCE en tolerancia a *P. oryzae* se observa que, en los tres momentos de evaluación, los cruces con valores más altos fueron 3x1, 3x2 y 3x4, así como los parentales P1, P3 y P5 a los 50 ddg.

Determinación de la heterosis media obtenida en los híbridos F1 con respecto a los parentales

Las combinaciones 3x4, 3x1, 3x2, 5x3, 3x5 y 4x1 presentaron un porcentaje de heterosis positivo respecto a la media de los parentales para cada cruce (cuadro 6). El cruce 5x3

fue el que mostró el mayor porcentaje de heterosis (15.6%) para la variable HM altura. Los cruces 3x4, 3x5 y 1x4 presentaron los porcentajes más altos de HM en la variable panículas por planta, siendo el cruce 3x4 el de mayor porcentaje (61.5 %) con respecto a la media de sus parentales.

Cuadro 6

Determinación de la heterosis media (% HM) de los híbridos F1 para las variables en estudio

Cruce	h-Pl*	Pn/Pl*	Gr/Pn*	Gr-LI/Pn*	Gr-Vn/Pn*	P-1000 Gr*	P.o/50ddg**
1x2	3.06	-5.78	-15.71	-22.59	20.71	22.76	26.67
3x4	7.81	61.50	13.68	25.42	-52.24	0.75	-30.00
3x1	14.49	19.26	23.95	33.81	-48.87	-6.05	-50.00
3x2	13.44	-5.38	-26.83	-22.77	-55.74	17.18	130.00
5x1	-3.07	10.51	-14.92	-19.81	20.00	3.20	30.00
5x3	15.60	-0.48	19.40	13.06	85.00	7.63	200.00
1x5	-8.62	20.62	-12.40	-21.17	50.24	-0.36	30.00
3x5	6.22	48.79	-13.89	-14.15	-11.25	3.05	200.00
4x1	10.82	8.86	47.17	64.43	-18.70	-8.71	0.00
2x4	-0.10	0.00	46.71	42.58	66.09	-11.59	0.00
1x4	-6.61	47.68	3.12	15.23	-43.09	-7.32	53.33
1x3	-13.88	-25.19	7.26	9.57	-9.77	-0.36	150.00
4x3	0.09	8.02	7.97	-5.58	84.08	3.73	10.00

*h-Pl: altura de planta (cm), Pn/Pl: Panículas por planta (número), Gr/Pn: Granos por panícula (número), Gr-LI/Pn: Granos llenos por panícula (número), Gr-Vn/Pn: Granos vanos por panícula (número), P-1000 Gr: peso de 1000 granos (número), P.o/50 ddg: susceptibilidad a *P. oryzae* a los 50 ddg (según escala IRRI-CIAT).

En el comportamiento de la HM para el carácter granos por panícula los cruces 3x4, 3x1, 5x3, 4x1 y 2x4 presentaron altos porcentajes de heterosis en la variable estudiada. Según los resultados presentados en el cuadro 6, los híbridos 4x1 (64.43%), 2x4 (42.58%), 3x1 (33.8%) y 3x4 (25.42%), mostraron la mayor respuesta de la HM para la característica granos llenos por panícula, con respecto a la media de los parentales. Los cruces 3x4, 3x1, 3x2, 4x1 y 1x4 presentaron valores muy deseables de HM para la variable granos vanos por panícula, aquí se hace la salvedad en que en esta variable se obtiene mejores resultados cuando es negativa, lo cual indica que en esos cruzamientos hay pocos granos vanos. Los cruces 1x2 y 3x2 presentaron los porcentajes más altos de HM para el peso de 100 granos con respecto a la media de los parentales. Los cruces 5x3 y 3x5 (siendo un cruce recíproco) mostraron mayor susceptibilidad a enfermarse por *P. oryzae* a 50 ddg; contrariamente, los cruces 3x1 y 3x4 presentaron HM negativa para esta característica, lo que indica un comportamiento de tolerancia en respuesta al patógeno.

Discusión

El hongo *P. oryzae* estuvo presente a lo largo del ensayo por las condiciones agroclimáticas de la zona, en las cuales se presentó en promedio 26 °C de temperatura (rango 25-33 °C), 83.2% de humedad (rango 81-86%) y 216 mm de precipitación (rango 142-344 mm) (Climate-Data, 2021), y para esta enfermedad se registran condiciones de desarrollo óptimas de 22-29 °C con humedad ambiental promedio de 90% (Sempere *et al.*, 2005; AGRI-NOVA Science, 2015). Por otra parte, al ser un área experimental habituada para este tipo de estudios y las prácticas de favorecimiento aplicadas para su establecimiento, se logró cuantificar su severidad. Prado (2016) señala que la incidencia de *P. oryzae* se favorece al existir estrés hídrico, altas aplicaciones de nitrógeno, alta densidad de siembra y periodos intermitentes de rocío o lloviznas.

Para determinar la tolerancia al hongo es importante leer la escala señalando los menores valores como positivos, es decir que señala los cruzamientos y parentales más sanos; por ejemplo, a los 20 ddg los parentales 1, 2 y 4 presentaron los valores más altos, pero esto se interpreta como una característica no deseable al indicar que su respuesta es perjudicial para este carácter. Caso contrario es el de los parentales 3, 5 y un grupo de cruzamientos que obtuvieron menor valor, lo cual se interpreta como una mayor tolerancia al hongo.

Durante el experimento al medir la tolerancia de los cruzamientos y parentales, durante tres etapas del cultivo (20, 35 y 50 ddg), se encontró que algunos cruces y parentales se mantuvieron más sanos en el tiempo, tal es el caso de los parentales 3 y 5, así como de los cruzamientos 3x2, 3x1 y 3x4. Lo anterior establece un patrón en el que se encuentra al parental 3 (IA Cuba 29), como el más destacado en propiciar tolerancia, no sólo a nivel individual sino al ser usado como progenitor. El parental 3 se caracterizó por poseer un alto vigor inicial, lo que posiblemente confirió alta tolerancia a las diversas causas de estrés (sequía, fertilidad y temperatura) presentes en el ambiente de cultivo debido a una mejor acumulación de fotoasimilados. Plantas con mejores reservas de azúcares pueden tolerar mejores circunstancias adversas, al incrementar la expresión de genes relacionados con enzimas antioxidantes o relacionados a formas reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) (Sami *et al.*, 2016). Además, la herencia poligénica presente en este parental fue el principal factor heredado a su progenie.

Es importante señalar que a los 35-40 ddg es la etapa de máximo macollamiento, por lo que los materiales que poseen mayor cantidad de follaje y vigor son más susceptibles a enfermarse (Yalew, 2019), es por esta razón que se decidió hacer una de las evaluaciones en esta etapa. En ese momento de evaluación se mantuvo un promedio de severidad de 2.1 en la escala de evaluación, en cuanto a los cruzamientos y parentales en comparación al testigo, este último alcanzó una severidad de 5.

En la evaluación a los 50 ddg, la severidad de la enfermedad aumentó y apareció un segundo grupo de cruzamientos que también mostraron tolerancia (3x4, 4x3 y 1x5), pero no fueron lo suficientemente mejores que el primer grupo señalado anteriormente (3x2, 3x1 y 3x4). Kumar *et al.* (2012) recomiendan utilizar siempre los genotipos más

tolerantes. Cabe resaltar que en este segundo grupo se evidenció nuevamente la presencia del parental 3.

Según la figura 4, donde se realizó la evaluación de severidad a los 50 ddg para la tolerancia a *P. oryzae*, se presentó mayor amplitud de materiales, como ya se mencionó anteriormente, los cuales presentaron diferentes comportamientos para la variable en estudio. Sin embargo, al observar los valores de HCG (cuadro 2), los parentales 3 y 5 fueron los que mostraron los valores más bajos, indicativo de mayor tolerancia al hongo. Al comparar esta información, es evidente que el parental 3 es un excelente progenitor en cuanto a materiales tolerantes a este hongo; además, se apoya en el hecho de que los cruces con mayor sanidad tuvieron a este parental como denominador común, ya que los cruzamientos 3x1, 3x2 y 3x4 obtuvieron mayor sanidad para la variable HCE con la menor presencia de *P. oryzae*. En estas hibridaciones, donde el parental 3 fue usado principalmente como hembra, se evidenció poseer la capacidad de combinarse entre sí de forma positiva para transferir genes aditivos y tolerancia al hongo en los híbridos obtenidos.

La tolerancia a *P. oryzae* está dada por múltiples genes en una herencia cuantitativa o aditiva, siendo encontrados los siguientes 11 genes relacionados: Pi-d2, Pi-z, Piz-t, Pi-9, Pi-36, Pi-37, Pi5, Pi-b, Pik-p, Pik-h y Pi-ta2 (Yan *et al.*, 2017), por lo que es importante la verificación molecular de la presencia de éstos en el parental 3.

Seguidamente para las demás variables y de acuerdo al cálculo de la HCG, se analizaron los componentes del rendimiento más importantes, como son el número de panículas, número de granos por panícula y peso de 1000 granos, ya que estas variables son las que determinan, en gran medida, la productividad final del arroz (Huang *et al.*, 2013). Sin embargo, previamente es necesario analizar la altura de la planta. En la variable h-Pl, los parentales 3 y 5 presentaron valores superiores (cuadro 4) lo que indica que poseen una habilidad para generar variedades con porte alto, posiblemente debido a su alta vigorosidad. Plantas muy altas no son deseables para los objetivos del mejoramiento genético en arroz, especialmente por ser susceptibles al acame. Degiovanni *et al.* (2010) mencionan que las variedades de alto rendimiento y vigor presentan alturas de entre 95-115 cm, y para el presente estudio estos parentales mostraron alturas superiores a los 125 cm. Es importante resaltar que estos parentales, a pesar de ser altos, destacaron en cuanto a heredar plantas tolerantes a *P. oryzae* (principalmente el parental 3), por lo que no se pueden descartar. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la altura es un carácter altamente influenciado por el vigor híbrido (heterosis), por ello es recomendable realizar la selección en generaciones subsiguientes a la F1, en las cuales disminuye la influencia de la heterosis (Vázquez, 2015), para posteriormente evaluar las líneas puras resultantes en una generación F5-F6. Cabe la posibilidad de que tengan que realizarse cruzamientos para ajustar la altura en las líneas resultantes de estos parentales.

Los parentales 1 y 2 presentaron los mejores valores de HCG para el carácter Pn/Pl, lo que indica que estos progenitores favorecen la transferencia de genes relacionados a la variable indicada, cuando se realizan hibridaciones. Cuando se utilizan progenitores con alta capacidad de macollamiento, las generaciones futuras del cruzamiento tienden a mantener dicha característica, como muestra de un carácter de alta heredabilidad. Los

valores altos de HCG para esta variable indican que los parentales 1 y 2 son progenitores que podrían utilizarse para la búsqueda de materiales con alta capacidad de macollamiento efectivo, definiéndolo como la capacidad de la planta de obtener tallos con panículas viables. La longitud de las panículas está gobernada por genes aditivos; sin embargo, hay genes mayores como SP1 y LP1, el primero la acorta y el segundo la alarga (Liu *et al.*, 2016).

Algunos autores destacan la importancia de la producción de tallos y su vínculo con el rendimiento del cultivo, ya que la capacidad de macollamiento está relacionada con la densidad de panículas, uno de los componentes del rendimiento con mayor influencia sobre la productividad del arroz; además, la capacidad de ahijamiento (producción de tallos) posee un fuerte componente genético, distinguiéndose cultivares con baja y alta capacidad de ahijado (Degiovanni *et al.*, 2010; Castro *et al.*, 2014). Por otro lado, es importante agregar que algunos cultivares poseen macollamiento alto, pero no efectivo, las panículas tienden a ser muy pequeñas o con pocos granos, por lo que se reduce el rendimiento final, por tal razón es que se realiza la cuantificación de granos por panícula (Gr/Pn).

Los parentales 2 y 5 presentaron los mejores valores para el carácter Gr/Pn y Gr-Ll/Pn, lo que indica que son favorables para realizar cruzamientos cuando lo que se desea mejorar es este carácter. Por otro lado, cabe destacar que el material 2 presenta HCG aceptable, tanto para número de Pn/Pl como para cantidad de Gr/Pn, sin embargo, el parental 2 mostró alta HCG para la variable Gr-Vn/Pn por panícula y, al ser esta variable de carácter negativa, no es recomendable utilizar progenitores que favorezcan la transferencia de este carácter a su progenie. Lo anterior apoya una selección más efectiva de materiales, puesto que no solamente es mejor tener mayor cantidad de panículas, sino que sean efectivas; es decir, que sus granos estén llenos (Díaz *et al.*, 2015). Otros autores informaron que los granos llenos por panícula mostraron el coeficiente máximo de variación fenotípica (Parikh *et al.*, 2012).

Aparentemente, cuando el número de panículas por planta tiende a aumentar, el porcentaje de fertilidad de panículas disminuye como una reacción de compensación a la planta. El porcentaje de granos llenos y fértiles está determinado por dos caracteres: el número de granos fertilizados y la capacidad de la planta para llenarlos (Díaz *et al.*, 2015).

Para la HCG para la variable Gr-Vn/Pn se observa que el parental 3 presenta el valor más bajo, es decir, menor cantidad de granos vanos y un valor alto para la variable P-1000 Gr (peso de 1000 granos) con 1.36. Lo anterior se suma a que fue el material más tolerante a *P. oryzae*. El peso de 1000 granos es importante porque apoya la selección en el hecho de tomar materiales con granos más pesados, esto es, con mayor acumulación de almidón en el grano, el cual está estrechamente relacionado con la radiación solar y la acumulación de materia seca en la planta (Díaz *et al.*, 2013; Díaz *et al.*, 2015). Asimismo, el peso del grano es una característica modificable genéticamente, este carácter es estable en buenas condiciones de cultivo, pero depende del genotipo, un incremento en el rendimiento se puede lograr seleccionando materiales de mayor peso en el grano (Díaz *et al.*, 2015). El peso del grano está controlado por muchos genes aditivos, aunque existen

genes con efectos dominantes; además, está positivamente correlacionado con caracteres como el largo, ancho, la relación largo/ancho y grosor de grano (Huang *et al.*, 2013).

Haghighi *et al.* (2017), encontraron diferencias significativas según el cálculo de HCG y HCE para las variables productividad, granos por panícula, peso de 1 000 granos, panículas por planta, contenido de amilosa y consistencia gelatinosa del grano, resultados que concuerdan con lo obtenido en la presente investigación, donde las variables granos por panícula, peso de 1 000 granos y panículas por planta fueron significativas y presentaron variación entre parentales y cruces.

En cuanto al análisis de HCE, aunque se presentaron algunos valores altos para diferentes cruces según cada variable individual, se encontró una tendencia a que los cruces 3x1, 3x2 y 3x4 fueran los más tolerantes, además de obtener algunas ventajas con respecto al resto de los cruces, en cuanto a menor cantidad de granos vanos y otros caracteres agronómicos. Lo anterior confirma el resultado de que el parental 3, especialmente usado como hembra, pudo transferir genes no solamente de tolerancia al hongo sino otros caracteres de importancia agronómica. En otros estudios realizados con la metodología de cruzamiento en dialelos en arroz, se ha logrado encontrar parentales promisorios y cruzamientos específicos seleccionables para programas de mejora genética en arroz (Hijam *et al.*, 2019; Fan *et al.*, 2020).

En cuanto al comportamiento de la HM, es importante resaltar que acompaña a los resultados de HCG y HCE, por lo que los cruces obtenidos pueden ser utilizados para cuantificar el incremento o reducción en un carácter debido al efecto de vigor híbrido. De acuerdo a lo anterior y retomando lo obtenido en este estudio, los cruces 3x4, 3x1, 3x2, 5x3, 3x5 y 4x1 para la variable altura de la planta, presentaron un porcentaje de heterosis positivo respecto a la media. Sarawgi *et al.* (2013) indicaron que plantas superiores a los 131 cm se agrupan como plantas altas, valores menores a estos son recomendables dado que la reducción en la altura de las plantas mejora la resistencia al acame y disminuyen sustancialmente las pérdidas de rendimiento asociadas a este rasgo. Por otro lado, plantas menores a 90 cm no son recomendables dado su pobre competencia con malezas.

Los híbridos 4x1 (64.43%) y 2x4 (42.58%) presentaron la mayor respuesta en HM para la característica granos llenos por panícula (Gr LI/Pn), con respecto a la media de los parentales. Porcentajes altos de heterosis sugieren que los progenitores utilizados presentaban distancias genéticas considerables, siendo así los resultados consecuentes con el origen de los materiales, puesto que el progenitor 1 era procedente de Colombia y el progenitor 4 de Cuba. Al proceder de programas de mejoramiento genético distintos, posibilitan la distancia genética entre ambos y colabora en la alta HM para el carácter analizado. Balderrama (2016) indica que, al utilizar germoplasma con distancias genéticas amplias, aumenta la respuesta heterótica en las hibridaciones.

Los cruces 1x2, 3x2, 5x3 presentaron los porcentajes más altos de HM para la variable peso de 1 000 granos con respecto a la media de los parentales. En general, variedades de grano largo presentan los pesos más altos cuando se mide esta variable, transfiriendo esta característica a su progenie (Huang *et al.*, 2013), explicando con ello

que los híbridos que poseen entre sus progenitores al parental 1 (material que presenta un grano largo) y 3 muestran alta HM para este carácter.

Conclusiones

Los híbridos procedentes del parental 3 presentaron la tolerancia más alta para *P. oryzae* en las tres evaluaciones realizadas, con altos valores de HCG y en combinaciones demostradas en el cálculo de la HCE. Lo anterior lo convierte en un progenitor promisorio para transmitir tolerancia para la enfermedad en estudio.

Aunque los parentales 3 y 5 son los más tolerantes al hongo, también son muy vigorosos y levemente más altos al resto, por lo cual se recomienda tomarlos como base para la tolerancia, pero se debe valorar cruzamiento con portes más bajos y con igual tolerancia en cuanto se alcance la homocigosis en F5-F6.

Según el análisis de HCE y HM, los cruces 3x1, 3x2 y 3x4 presentaron el mejor comportamiento para las diferentes variables agronómicas medidas, incluyendo su tolerancia a *P. oryzae*, por ello los siguientes estudios se deben centrar en las hibridaciones indicadas.

El cruce 4x1 presentó los mayores porcentajes de HM para la característica granos llenos por panícula y granos por panícula, mas no fue así para la tolerancia al hongo, por lo cual se descarta para heredar tolerancia pero se recomienda rescatar para mejorar algunos componentes del rendimiento.

Agradecimientos

A la institución CONARROZ por su contribución en brindar el material y recurso humano para la realización de esta investigación.

Literatura citada

- AGRI-NOVA Science (2015). La *Pyricularia oryzae* del arroz. http://www.infoagro.com/documentos/la_pyricularia_oryzae_del_arroz.asp (Consultado 6 marzo 2020).
- Balderrama, S. (2016). Formación de un patrón heterótico con líneas templadas y tropicales de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(3): 521-530.
- Cárdenas, R. (2000). Utilización de una nueva metodología para la evaluación de arroz (*Oryza sativa* L.) ante la infección producida por el hongo *Pyricularia grisea*. *Cultivos Tropicales.* 21(1): 63-66.
- Castro, R.; Díaz, S.; Álvarez, G.; Morejón, R. y Polón, R. (2014). Evaluación de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) para la práctica de cultivo de rebrote en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales.* 35(4): 85-91.
- CLIMATE-DATA (2021). Climate-Data.Org: Clima de Parrita, Puntarenas, Costa Rica. <https://es.climate-data.org/americadelnorte/costa-rica/puntarenas/parrita-29040/> (Consultado 10 abril 2021).
- CONARROZ (Corporación Arrocería Nacional, Costa Rica) (2019). *Informe Anual Estadístico Periodo 2018-2019*. San José. Costa Rica. CONARROZ. 59 p. Informe 2018-2019. https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2018_2019.pdf (Consultado 19 julio 2020).
- Correa-Victoria, F.J. (1995). Resistance Stability of Partial and Complete Resistance in Rice to *Pyricularia grisea* Under Rainfed Upland Conditions in Eastern Colombia. *Phytopathology.* 85: 977-982.

- Degiovanni, V.; Martínez, C. y Motta, F. (2010). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Cali, Colombia. CIAT. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf (Consultado 27 marzo 2019).
- Díaz, S.; Cristo, E.; Morejón, R.; Castro, R.; Shiraiishi, M.; Dhanapala, M.P. y Keisuke, A. (2013). Análisis de la estructura productiva y comportamiento del rendimiento de cuatro variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de diferentes orígenes en la prefectura de Ibaraki, Japón. *Cultivos Tropicales*. 34(1): 42-50.
- Díaz, S.; Morejón, R.; Lucinda, D., y Castro, R. (2015). Evaluación morfoagronómica de cultivares tradicionales de arroz (*Oryza sativa* L.) colectados en fincas de productores de la provincia Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. 36(2): 131-141.
- Fan, Z.; Wang, K.; Fan, Y.; Tao, L. y Yang, J. (2020). Combining ability analysis on rhizomatousness via incomplete diallel crosses between perennial wild relative of rice and Asian cultivated rice. *Euphytica*. 216(140). Doi: 10.1007/s10681-020-02676-w
- Garcés, F.; Díaz, G. y Aguirre, A. (2012). Severidad de la quemazón (*Pyricularia oryzae* cav.) en germoplasma de arroz F1 en la zona central del litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*. 5(2): 1-6.
- Gordillo, F. (2011). Estimación de la aptitud combinatoria general y específica en melón (*Cucumis melo* L.) en su eficiencia fisiotécnica y tolerancia a la cenicilla polvorienta. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. Coahuila, México.
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hernández-Pérez, M.; López-Benítez, A.; Borrego, F.; López-Betancourt, S. y Ramírez-Meraz, R. (2011). Análisis dialélico del rendimiento de Chile por el método IV de Griffing. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1): 37-43.
- Haghighi, A.; Farshadfar, E. y Allahgholipour, M. (2017). Genetic parameters and combining ability of some important traits in rice (*Oryza sativa* L.). *Genetika*. 49(3): 1001-1014
- Hijam, C.; Singh, N.B. y Laishram, J.M. (2019). Diallel analysis of yield and its important components in aromatic rice (*Oryza Sativa* L.). *Indian J. Agric. Res.* 53(1): 67-72.
- Huang, R.; Jiang, L.; Zheng, J.; Wang, T.; Wang, H.; Huang, Y. y Hong, Z. (2013). Genetic bases of rice grain shape: So many genes, so little known. *Trends in Plant Science*. 18(4): 218-225.
- IRRI (2013). International Rice Research Institute. Standard evaluation system for Rice. 5th Edition. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- Kumar, S.; Singh, S.S.; Kumar, A.; Elanchezian, U.R.; Sangale, U.R. y Sundaram, P.K. (2012). Evaluation of rice genotypes for resistance to blast disease under rainfed lowland ecosystem. *J.Pl.Dis. Sci.* 7(2): 175-178.
- Liu, E.; Liu, Y.; Wu, G.; Zeng, S.; Tran Thi, T.G.; Liang, L.; Liang, Y.; Dong, Z.; She, D.; Wang, H.; Zaid, I. y Hong, D. (2016). Identification of a Candidate Gene for Panicle Length in Rice (*Oryza sativa* L.) Via Association and Linkage Analysis. *Frontiers in plant science*. 7(596). Doi: 10.3389/fpls.2016.00596
- Montoya, M.E. (2019). Estimación de la Aptitud Combinatoria General y Específica de líneas F1 de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. Indica). Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.
- Parikh, M.; Motiramani, N.K.; Rastogi, N.K. y Sharm, B. (2012). Agro-morphological characterization and assessment of variability in aromatic rice germplasm. *Bangladesh J. Agril. Res.*, 37(1): 1-8.
- Pérez, N.; González, M.; Márquez, R.; Castro, R. y Aguilar, M. (2015). Utilización de haplotipos de *Pyricularia grisea* sacc. aislados en Cuba para la selección de cultivares de arroz resistentes a la piriculariosis. *Cultivos Tropicales*. 36(1): 129-133.
- Prado, G. (2016). Caracterización genética y patotípica del hongo *Magnaporthe oryzae* en cultivos de arroz en Colombia. Tesis de doctorado. Palmira, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Quiroga, A. (2016). Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos. <https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/impactos-del-cambio-climatico-en-la-incidencia-de-plagas-y-enfermedades-de-los-cultivos#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%a1tico%20causa%20la,por%20tanto%20reducciones%20en%20la> (Consultado 15 junio 2020)

- Ruelas-Hernández, P.G.; Caro-Velarde, F. de J.; Pérez-González, R. y Valdivia, B. (2008). Aptitud combinatoria y heterosis en un cruzamiento dialélico en Jamaica (*Hybiscus sabdariffa* L.). *Rev. Chapingo. Ser. Hortic.* 14(3): 325-330.
- Sami, F.; Yusuf, M.; Faizan, M.; Faraz, A. y Hayat, S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry.* 109: 54-61.
- Sarawagi, A; Subba Rao, L; Parikh, M; Sharma, B. y Ojha, G. (2013). Assessment of Variability of Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm using Agromorphological Characterization. *Journal of Rice Research.* 6(1): 15-28.
- Sempere, F.; Rosello, J. y Santamaría, M.P. (2005). Conocer a *Pyricularia oryzae* Cavara. *Phytohemoteca.* 172. <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemoteca/172-octubre-2005/conocer-a-pyricularia-oryzae-cavara> (Consultado 12 abril 2021).
- Tarquí, O.; Sotomayor, I.; Casanova, T.; Rodríguez, G.; Plaza, L. y Zambrano, F. (2017). Selección de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) con resistencia a escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) en Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología.* 10(1): 17-26.
- Vázquez, E. (2015). Hibridación entre biotipos de arroz maleza y variedades resistentes a imidazolinonas: Análisis morfológico y vigor híbrido. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.
- Yan L.; Bai-Yuan Y.; Yun-Liang P.; Zhi-Juan, Y.; Yu-Xiang, Z.; Han-Lin, W. y Chang-Deng, Y. (2017). Molecular Screening of Blast Resistance Genes in Rice Germplasms Resistant to *Magnaporthe oryzae*. *Rice Science.* 24(1): 41-47. Doi: 10.1016/j.rsci.2016.07.004
- Yalew, D. (2019). Review of the Rice Blast Diseases (*Pyricularia Oryzae*) Response to Nitrogen and Silicon Fertilizers. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences.* 5(5): 37-44.
- Zhu, D.; Kang, H.; Li, Z.; Liu, M.; Zhu, X.; Wang, Y.; Wang, D.; Wang, Z.; Liu, W. y Wang, G. (2016). A Genome-Wide Association Study of Field Resistance to *Magnaporthe Oryzae* in Rice. *Rice* 9(44). Doi: 10.1186/s12284-016-0116-3

Recepción: 26 de febrero 2021

Arbitraje: 23 de marzo 2021

Dictamen: 29 de abril 2021

Aceptado: 24 de mayo 2021