

SELECCIÓN DE NUEVOS GENOTIPOS DE ARROZ BASADOS EN LA PROBABILIDAD DE SUPERAR AL TESTIGO¹

Ismael Camargo-Buitrago², Evelyn Itzel Quirós-McIntire², Víctor Manuel Camargo-García²

RESUMEN

Selección de nuevos genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo. El objetivo de este trabajo fue validar una metodología estadística para estimar la confiabilidad o respuesta normalizada (RN_i) y la estabilidad de cuatro genotipos elite de arroz, en comparación con el testigo IDIAP 145-05. Se utilizó la base de datos del proyecto de mejoramiento genético de arroz del IDIAP, proveniente de los experimentos realizados entre el 2009 y 2011, en 31 ambientes bajo condiciones de secano. Los resultados del estudio permitieron verificar que los nuevos genotipos superaron significativamente ($P < 0,05$) en rendimiento al testigo. Los cuatro genotipos IDIAP FL 106-11, IDIAP FL 137-11, IDIAP FL 155, e IDIAP FL 156 presentaron una confiabilidad promedio de 0,79; 0,75; 0,75 y 0,74, respectivamente. La probabilidad normalizada del IDIAP FL 106-11 representó una respuesta diferencial en rendimiento mayor que cero con respecto al IDIAP 145-05, en ocho de cada diez casos. La confiabilidad estuvo relacionada con los parámetros de estabilidad basados en modelos de regresión (b_i y S^2_{di}). El modelo multivariado AMMI, considerando el PCA1, identificó el genotipo IDIAP FL 156, como el más estable. El modelo Biplot GGE, basado en el PCA2, indicó que el genotipo IDIAP FL 155, tuvo mayor estabilidad. La confiabilidad o respuesta normalizada, puede ser útil para hacer recomendaciones más precisas para la utilización de los nuevos genotipos a nivel comercial.

Palabras claves: interacción genotipo por ambiente, confiabilidad o respuesta normalizada, estabilidad fenotípica, mejoramiento genético en arroz.

ABSTRACT

Choosing new genotypes of rice based on the probability of overcoming the test-check. The objective of this work was to validate a statistical methodology for estimating the reliability or normalized response (RN_i) and stability of four elite rice genotypes, compared with the control IDIAP 145-05. We used the database from the rice breeding program IDIAP, from experiments conducted from 2009 to 2011, in 31 environments under dryland conditions. The results of the study allowed us to verify that new genotypes significantly exceeded ($P < 0.05$) in grain yield the control used. The four genotypes IDIAP FL 106-11, 137-11 FL IDIAP, IDIAP FL 155 and FL 156 IDIAP had a reliability average of 0.79, 0.75, 0.75 and 0.74, respectively. The normalized probability IDIAP FL 106-11 represents a differential response greater than zero with respect to IDIAP 145-05, in 8 of 10 cases. It also confirmed the reliability is related to the stability parameters based on regression models (b_i and S^2_{di}). The AMMI multivariate model, considering the PCA1, identified the genotype IDIAP FL 156, as the most stable. GGE Biplot model, based on the PCA2, found that the genotype IDIAP FL 155, had greater stability. The study illustrates that the reliability or standardized response may be useful for more precise recommendations for the use of new genotypes commercially.

Keywords: genotype by environment interaction, reliability or normalized response, phenotypic stability, rice breeding.

¹ Recibido: 17 de agosto, 2013. Aceptado: 18 de marzo, 2014. Investigación financiada por el Proyecto de Mejoramiento Genético de Arroz, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. ismaelcamargobuitrago@gmail.com, evelynitzel26@gmail.com, vcamargo-19@hotmail.com



INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las estadísticas del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (Puga, 2012), en Panamá fueron sembradas en la campaña 2011-2012, unas 67 000 ha de arroz, de las cuales el 77% fueron cultivadas bajo el sistema de secano y el 23% en riego. El promedio nacional de rendimiento de grano fue de 4,8 t/ha. Por otro lado, se estima que el consumo per cápita de arroz de los panameños está en torno a 70 kg. Hablar de arroz en el país es hablar de seguridad alimentaria, por esta razón el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) de acuerdo con Camargo-Buitrago (2009), invierte significativos recursos financieros y talentos humanos en el desarrollo de nuevas tecnologías de producción, incluyendo la generación de nuevos genotipos.

El proyecto de mejoramiento genético de arroz del IDIAP, realiza su trabajo de evaluación y selección de genotipos en todas las zonas productoras de arroz del país; exponiendo directamente a cada genotipo a la variabilidad de los agroecosistemas productivos, bajo el sistema de secano que representa el 77% de la superficie cultivada en Panamá (Camargo-Buitrago, 2009).

Los programas de mejoramiento genético, normalmente evalúan cientos de genotipos en diferentes ambientes, principalmente donde se considera que van a ser sembrados a nivel comercial. Este proceso de evaluación y selección es dinámico y constante a través del tiempo y espacio (Yan y Hunt, 2002). Al realizar estas evaluaciones, se genera interacción genotipo-ambiente que dificulta la identificación de los genotipos superiores, por ello los programas de mejoramiento genético actualmente desarrollan cultivares con mayor estabilidad fenotípica (Becker, 1981; Lin et al., 1986; Hodges et al., 1995).

A través del tiempo, se han desarrollado diferentes modelos estadísticos y se han implementado distintos conceptos de estabilidad y adaptabilidad, para explicar la interacción genotipo-ambiente (Lin et al., 1986; Lin y Binns, 1994). Esto permite identificar los genotipos más estables en un ambiente determinado (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Shukla, 1972; Zobel et al., 1988; Yan et al., 2000).

El método de Eberhart y Russell (1966), se asemeja al de Finlay y Wilkinson (1963) en los parámetros estimados, sin embargo, difieren en el concepto de estabilidad adoptado; además de,

no requerir transformación de los datos. El índice ambiental adoptado es diferente, calculándose como la diferencia entre la media de todos los genotipos en un ambiente dado, y la media general. Además del coeficiente de regresión (b_i) y de la productividad media (Y_i), el cuadrado medio de los desvíos de regresión (S^2d_i), es utilizado como parámetro de estabilidad e indica el grado de confiabilidad de la respuesta lineal estimada.

Con el desarrollo del modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa), que integra análisis de varianza, regresión conjunta y de componentes principales, se ha mejorado la eficiencia en las estimativas de la descomposición de la interacción genotipo x ambiente, contribuyendo a un entendimiento mejor de este fenómeno (Zobel et al., 1988; Gauch y Zobel, 1988; Crossa et al., 1990; Crossa et al., 1991). Por otro lado, Yan et al. (2000), desarrolló el modelo Biplot GGE, el mismo permite analizar gráficamente los datos provenientes de ensayos en múltiples localidades y años. El GGE, se refiere al efecto principal de genotipo (G) más la interacción genotipo por ambiente (GE), las cuales son las dos fuentes de variación más relevantes en la evaluación de cultivares.

En años más recientes se han popularizado aquellos estudios que comparan los genotipos pareados "pairwise" o cabeza a cabeza "head to head" (Eskridge, 1996; Córdova et al., 2007), donde las comparaciones de las medias de genotipos se realizan contra un testigo adaptado (Jones, 1988). No obstante, Eskridge y Mumm (1992), introducen el concepto de confiabilidad o respuesta normalizada que compara los genotipos élites con un testigo común, con el objetivo de identificar los materiales con comportamiento superior al mejor testigo a través de numerosos ambientes. Esta metodología tiene la ventaja que se puede aplicar en datos no balanceados siempre que se compare con el mismo testigo y es válida en presencia de la interacción genotipo-ambiente.

Estos ambientes contrastantes que encontramos en los trópicos, son influenciados no solo por factores abióticos como diferentes tipos de suelos, régimen de precipitación, entre otros, sino también por factores bióticos como la incidencia y severidad de las plagas. Esto evidencia la interacción genotipo-ambiente y la forma en que se dificulta el trabajo de selección de los fitomejoradores al momento de evaluar y escoger los genotipos superiores, resaltando el fenómeno de la interacción

genotipo por ambiente, que ocurre cuando diferentes cultivares o genotipos responden de manera diferencial en los diversos ambientes (Yan y Kang, 2003).

Se debe complementar el trabajo de evaluación en campo con herramientas estadísticas como el modelo AMMI (Zobel *et al.*, 1988) y el Biplot GGE (Yan *et al.*, 2000), que son de gran ayuda en la toma de decisiones para recomendar, con el mayor grado de certeza estadística, el cambio tecnológico que representa un nuevo genotipo en comparación con el mejor testigo comercial disponible. El objetivo de este trabajo fue validar una metodología estadística para estimar la confiabilidad o respuesta normalizada (RN_i) y la estabilidad de cuatro genotipos elite de arroz, en comparación con el testigo IDIAP 145-05.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron los datos de rendimiento del proyecto de mejoramiento genético de arroz del IDIAP (periodo 2009 a 2011), datos que se obtuvieron en 31 ambientes bajo condiciones de secano en las principales zonas de producción de arroz de Panamá.

En todas las localidades (Cuadro 1), el IDIAP trabajó con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; cada unidad experimental constaba de 10 m² y se evaluó el rendimiento (t/ha). Las características agronómicas y la reacción a plagas y enfermedades se evaluaron siguiendo los estándares establecidos para la evaluación de germoplasma de arroz a nivel internacional. Sin embargo, para fines de este estudio únicamente se consideró la variable rendimiento de grano.

Los genotipos seleccionados para este estudio (Cuadro 2), representan un grupo de cuatro líneas elites del proyecto de mejoramiento genético de arroz del IDIAP, introducidas en generaciones tempranas del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR).

En este tipo de investigaciones, la selección del testigo apropiado y adaptado ampliamente a las zonas de producción, permite minimizar el riesgo que representa el cambio tecnológico y de esta manera se aumenta el nivel de confiabilidad. Según las estadísticas del MIDA (2012), el IDIAP 145-05 fue la variedad de arroz más sembrada en el 2011-2012, abarcando el 27% de la superficie nacional cultivada con este grano. Además, estudios previos de Camargo *et al.* (2011),

Cuadro 1. Características geográficas y físico-químicas de los suelos en las diferentes regiones donde se evaluaron cinco genotipos de arroz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

Localidades		Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Tipo* suelo	Materia* orgánica	pH
Nombre	Provincia					
Alanje	Chiriquí	08°23'43"	082°33'34"	FA**	2,81	5,0
Barú	Chiriquí	08°27'04"	082°51'22"	FA	4,69	6,1
Remedios	Chiriquí	08°77'00"	081°49'67"	F	5,76	5,2
Changuinola	Bocas d Toro	07°47'56"	081°15'78"	FL	2,05	5,6
Divisa	Herrera	08°07'33"	080°41'32"	FARA	0,19	5,2
Penonomé	Coclé	08°27'17"	080°21'24"	FA	1,60	5,8
Tonosí	Los Santos	07°23'23"	080°27'43"	F	2,16	5,7
Tanara	Panamá	09°07'44"	079°13'46"	FARA	2,20	5,5
Calabacito	Veraguas	08°05'00"	081°05'00"	ARC	Trazas	4,3
Soná	Veraguas	07°47'65"	081°15'75"	FARC	3,15	5,2
Arenas	Veraguas	07°22'00"	080°51'00"	A	0,75	5,9

* Fuente: Laboratorio de suelos, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

** FA = franco arenoso; A = arenoso; F= franco; FARA = franco arcillo-arenoso; ARC = arcilloso; FL = franco limoso.

Cuadro 2. Nombre del genotipo, origen, designación, número de ambientes y año de liberación. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

Genotipo	Origen	Designación	Ambientes	Año liberación
IDIAP FL 137-11	IDIAP/FLAR	FL07321-3P-4-3P-1P-M	31	2012
IDIAP FL 106-11	IDIAP/FLAR	FL07221-3P-3-3P-1P-M	31	2012
IDIAP FL 156	IDIAP/FLAR	FL07375-10P-3-3P-2P-M	31	N/L
IDIAP FL 155	IDIAP/FLAR	FL07375-10P-3-3P-1P-M	31	N/L
IDIAP 145-05 (TEST)	IDIAP/FLAR	FL00144-1P-5-13P	31	2005

sugieren que esta variedad es el mejor testigo nacional para realizar este estudio.

Para estimar la confiabilidad se plantearon las siguientes ecuaciones (Eskridge, 2003):

$$D_i = Y_i - Y_c \text{ en donde } D_i \sim N(\mu_{D_i}, \sigma_{D_i}^2)$$

Donde D_i representa la diferencia de rendimiento entre el nuevo cultivar y el testigo.

$$P(D > 0) = P\left[Z < \frac{-\mu_{D_i}}{\sigma_{D_i}}\right]$$

La ecuación anterior representa la probabilidad de que cuando la diferencia entre cultivar nuevo y el testigo sea mayor a cero, la probabilidad Z es menor al producto de la desviación de las diferencias de las medias sobre la desviación de las diferencias de la desviación estándar.

$$\text{Para "n" grande } > 30 \quad = \hat{P}\left[Z > \frac{-\bar{D}_i}{S_{D_i}}\right]$$

Cuando el tamaño de la muestra es mayor de 30 se recomienda utilizar la prueba Z ; no obstante, para muestras menores de 30 observaciones, es recomendable utilizar una prueba t .

$$\text{Para "n" pequeña } < 30 \quad = \hat{P}\left[t_{n-1} > \frac{-\bar{D}_i}{S_{D_i}}\right]$$

En este estudio la confiabilidad o respuesta normalizada (RN_i), del i -ésimo genotipo se determinó a partir de los diferenciales de rendimiento con respecto al testigo IDIAP 145-05 (d_i). Los valores promedios d_i y la desviación estándar de las diferencias se estimaron

en todos los ambientes (S_{d_i}). A continuación se determinó el valor estandarizado (d_i/S_{d_i}), al cual se le establece la probabilidad normal estandarizada, mediante la tabla de distribución normal tipificada $N(0, 1)$, que proporciona los valores de alfa de la cola (probabilidad de encontrar un valor de Z mayor al indicado). A esta probabilidad le llamamos confiabilidad normalizada con respecto al testigo (RN_i), de tal forma que:

$$RN_i = (Z > -d_i / S_{d_i})$$

El valor de RN_i para cada genotipo representa la probabilidad de que un genotipo supere, en promedio, el nivel de producción establecido por el testigo comercial adaptado a las condiciones agroecológicas. No obstante, es importante aclarar que la medida de confiabilidad no cuantifica la magnitud de la superioridad en términos de progresos genéticos en rendimiento de grano de los nuevos genotipos con respecto al testigo (Córdova *et al.*, 1993).

La prueba Q de Cochran (1950) para separar los valores de RN_i por su significancia estadística fue propuesta por Eskridge y Mumm (1992), Eskridge *et al.* (1993). Córdova *et al.* (1993), definieron algunos criterios para categorizar la magnitud de RN_i calculado: a) Superior de $0,9 \leq RN_i < 1,0$; b) Buena de $0,8 \leq RN_i < 0,9$; c) Promedio de $0,6 \leq RN_i < 0,8$; y d) baja $RN_i < 0,6$. De esta manera, los autores anteriormente mencionados explican que un genotipo con RN_i bajo, $< 0,6$, no supera en promedio al testigo en términos probabilísticos, por lo que su adopción como alternativa tecnológica no es recomendable. Por el contrario $RN_i \geq 0,8$, implica que en ocho de cada diez casos, la respuesta del nuevo genotipo será en promedio superior al testigo de amplia adaptación, por tanto, su adopción por los productores puede ser recomendable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los propósitos de los programas de mejoramiento genético es la generación y la identificación de nuevos genotipos con comportamiento superior y adaptado a un amplio rango de ambientes. Estas características son importantes en las regiones tropicales, donde las condiciones agroclimáticas son cambiantes y contrastantes, dificultando la identificación de los genotipos superiores con mejor adaptabilidad y estabilidad (Lin *et al.*, 1986; Lin y Binns, 1994). Para facilitar la toma de decisión al momento de liberar nuevos genotipos, los fitomejoradores recurren a conceptos y herramientas estadísticas que ayudan en la interpretación del fenómeno de la interacción genotipo-ambiente (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Shukla, 1972; Zobel *et al.*, 1988; Yan *et al.*, 2000).

La confiabilidad es una herramienta útil porque ayuda a identificar genotipos superiores basados en dos premisas, según Eskridge y Mumm (1992), la primera es que los ensayos de rendimiento le permiten al fitomejorador seleccionar genotipos en diferentes ambientes con mejor comportamiento que el testigo y la segunda es que estos experimentos son conducidos en sitios representativos, donde el testigo está completamente adaptado. La utilización de la variedad testigo IDIAP 145-05, adaptada ampliamente a zonas arroceras de Panamá (Camargo *et al.*, 2011), plantea el rango de adaptabilidad del comportamiento del testigo donde las nuevas variedades pueden ser superiores.

La confiabilidad no difiere significativamente entre los genotipos de acuerdo a los valores de Cochran's

Q ($Q = 0,118$, $P = 0,524$) y el estadístico de Wald fue significativo apenas al 10% ($W = 6,656$, $P = 0,084$). Ambas confiabilidades, la no paramétrica y la normal (R_i y RN_i), fueron estimadas para todos los genotipos y resultaron en estimativas relativamente parecidas para algunos genotipos indicando que estos valores pueden ser usados con confianza (Córdova *et al.*, 2007).

La confiabilidad o respuesta normalizada de los cuatro genotipos evaluados se presentan en el Cuadro 3. Los cuatro genotipos IDIAP FL 106-11, IDIAP FL 137-11, IDIAP FL 155, e IDIAP FL 156, presentaron una confiabilidad promedio de 0,79; 0,75; 0,75 y 0,74, respectivamente. La probabilidad normalizada del IDIAP FL 106-11 representa una respuesta diferencial en rendimiento mayor que cero, con respecto al IDIAP 145-05, en ocho de cada diez casos sería superior. Una confiabilidad baja $RN_i < 0,6$, representa en promedio un riesgo similar para el agricultor con respecto al cambio tecnológico que representa la siembra del nuevo genotipo respecto al testigo IDIAP 145-05.

Se puede observar, como el coeficiente de regresión (b_i) de estos genotipos están muy cercanos a 1,0 y la desviación de los cuadrados medios a cero; indicando ambos parámetros, que estos genotipos presentaron buena estabilidad fenotípica para la variable rendimiento de grano (Cuadro 4). Con respecto a la estabilidad de los genotipos, Eskridge y Mumm (1992) y Eskridge *et al.* (1993), demostraron que la confiabilidad es una medida que está relacionada con algunos parámetros de estabilidad, como el coeficiente de regresión (b_i) de Finlay y Wilkinson (1963), la desviación del cuadrado medio (S_{di}) de Eberhart y Russell (1966) y la varianza de estabilidad de Shukla (1972).

Cuadro 3. Rendimiento promedio, diferencias en rendimiento (d_i), desviaciones estándar (S_{di}), confiabilidad no paramétrica (R_i) y normalizada (RN_i), de cuatro genotipos élite de arroz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

Genotipo	Rend. (t/ha)	d_i (t/ha)	S_{di}	R_i	$RN_i > 0$
IDIAP FL 137-11	3,44b	0,34	0,49	0,67	0,75
IDIAP FL 106-11	3,69a	0,59	0,43	0,81	0,79
IDIAP FL 156	3,31b	0,21	0,49	0,64	0,74
IDIAP FL 155	3,50a	0,39	0,46	0,67	0,75
IDIAP 145-05	3,02	---	---	---	---

Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($\alpha=0,05$).

Cuadro 4. Resultados estadísticos obtenidos para los genotipos de arroz evaluados en el estudio. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

Genotipo	Rend. (t/ha)	b_i	S^2_{di}	PCA ₁	PCA ₂
IDIAP FL 137-11	3,44b	1,06	0,08	0,75	-0,55
IDIAP FL 106-11	3,69a	1,10	0,08	-0,59	1,50
Idiap FL 156	3,31b	0,91	0,07	-0,01	-0,10
Idiap FL 155	3,50a	1,02	0,08	1,30	-0,86

Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($\alpha=0,05$).

Rend.: Rendimientos promedios, b_i : coeficiente de regresión de (Finlay y Wilkinson 1963), S^2_{di} : desviación del cuadrado medio (Eberhart y Russell 1966), PCA₁: primer eje componente principal (Zobel et al., 1988) y PCA₂: segundo eje componente principal (Yan et al., 2001).

Los modelos multivariados son utilizados en la actualidad para explicar la interacción genotipo ambiente e identificar genotipos con mejor estabilidad como el modelo AMMI (Zobel et al., 1988). En este caso, se pudo identificar el genotipo IDIAP FL 156, como el que menos interaccionó con el ambiente, por presentar puntuaciones AMMI1 cercanas a cero, en el primer eje del componente principal (PCA1). El modelo Biplot GGE (Yan et al., 2000), destaca al genotipo IDIAP FL 156 como el más estable por mostrar puntuaciones cercanas a cero en el segundo eje del componente principal (PCA2), similar a lo reportado por Camargo et al. (2011), quienes encontraron un 95,2% de coincidencia entre AMMI1 y Biplot GGE en la identificación de genotipos estables.

La confiabilidad es una medida que además de evaluar la superioridad en rendimiento con respecto al testigo, evalúa la variabilidad de la respuesta (Córdova et al., 1993). La confiabilidad está directamente relacionada con la diferencia observada en relación al testigo, es decir a mayor confiabilidad mayor diferencia observada; por otro lado, la confiabilidad está inversamente relacionada con la variabilidad de las diferencias; estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios (Córdova et al., 1993; Córdova et al., 2007; Camargo et al., 2002; Camargo et al., 2003) (Figura 1).

La gradualidad observada en la pendiente de la Figura 2, refleja la variabilidad en el comportamiento de las diferencias a través de todos los ambientes y puede ser o no similar a la respuesta respecto al testigo. La pendiente de la confiabilidad de un genotipo

está directamente relacionada con los parámetros de estabilidad (b_i y S^2_{di}) de los genotipos en función del testigo (Eskridge, et al., 1993; Eskridge, 1996).

El genotipo élite IDIAP FL 155, por el tipo de pendiente presenta una respuesta a través de los ambientes muy parecida al testigo IDIAP 145-05. Mientras que, los genotipos IDIAP FL 106-11 e IDIAP FL 156, con comportamiento muy similar entre sí, parecen ser capaces de aprovechar mejor los ambientes favorables debido a su larga caída hacia la derecha. En relación al genotipo IDIAP FL 137-11, es evidente que existen una gama de ambientes donde es superado por el testigo, no obstante, en ambientes favorables es el que supera mayormente al testigo (Figura 2), resultados similares obtuvieron en estudios con maíz Eskridge et al. (1993), Eskridge (1996) y Eskridge y Mumm (1992).

De acuerdo con Córdova et al. (1993), el método propuesto está basado en la premisa de que en el proceso de decisión sobre la selección de un genotipo, hecho por los fitomejoradores o por los productores, está fuertemente influenciado por el nivel de certeza estadística que se tenga sobre el potencial de los nuevos genotipos de tener alta probabilidad de superar al testigo en una amplia gama de ambientes (Nuland y Eskridge, 1991; Eskridge y Mumm, 1992; Eskridge et al., 1993).

Hubo relación funcional entre los parámetros de estabilidad (b_i , S^2_{di}) con la confiabilidad (Eskridge y Mumm, 1992; Eskridge et al., 1993). No obstante, la confiabilidad estimada es más repetible y es una mejor medida que estos parámetros de estabilidad (Córdova et al., 2007). Mediante este estudio se verificó la utili-

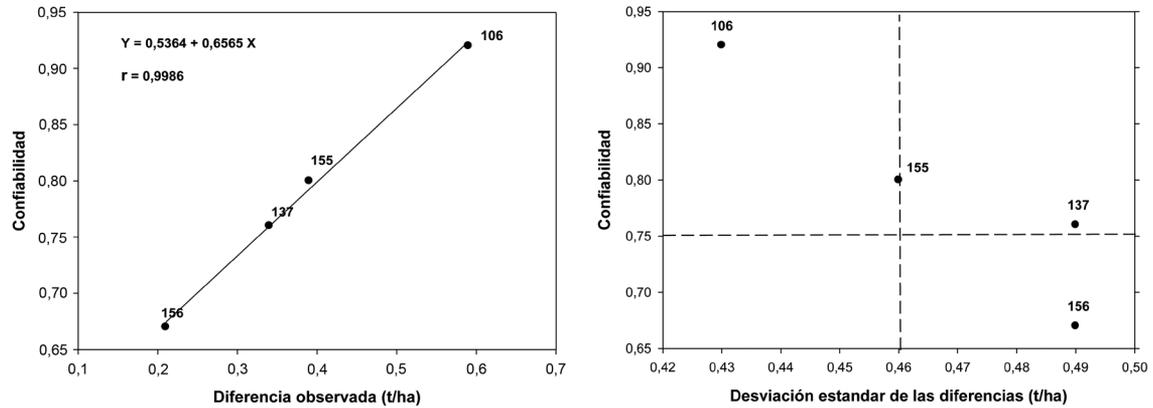


Figura 1. Relación de la confiabilidad con la magnitud de las diferencias en rendimiento y la desviación estándar de cuatro genotipos élite de arroz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

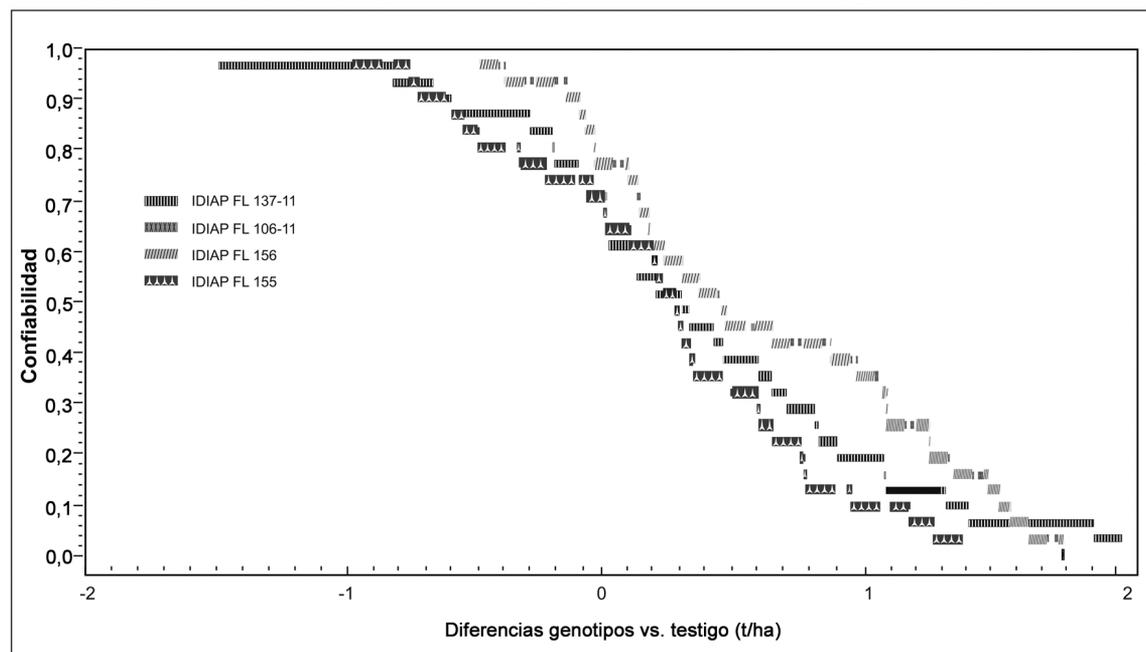


Figura 2. Confiabilidad en función de las diferencias de los genotipos vs testigos para cuatro líneas élite de arroz evaluadas en 31 ambientes. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2009-2011.

dad práctica de estas herramientas en la toma de decisiones asociadas al cambio tecnológico que representa la recomendación de un nuevo genotipo en las zonas de producción comercial.

Los resultados de este estudio permiten concluir que la confiabilidad o respuesta normalizada puede ser útil para hacer recomendaciones precisas sobre la utilización a nivel comercial de los nuevos genotipos,

minimizando el riesgo de los productores al realizar el cambio tecnológico que representa el utilizar un cultivar por otro. La confiabilidad es de fácil estimación e interpretación y está muy relacionada con algunos parámetros de estabilidad (Nuland y Eskridge, 1991; Eskridge y Mumm, 1992; Camargo *et al.*, 2003). En el presente estudio, si bien los nuevos genotipos (IDIAP FL 106-11, IDIAP FL 137-11, IDIAP FL 155, e IDIAP FL 156) presentaron una confiabilidad promedio en relación al testigo nacional IDIAP 145-05, podemos considerarla como excelente, dada las características excepcionales del testigo. De tal manera, que cualquiera de estos genotipos pueden ser recomendados para su siembra a nivel comercial y serían excelentes testigos en estudios futuros para seleccionar nuevos cultivares.

LITERATURA CITADA

- Becker, H.C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30:835-840.
- Camargo-Buitrago, I. 2009. Proyecto de investigación e innovación para el desarrollo de germoplasma mejorado de arroz para los sistemas de agricultura comercial y familiar. 2010-2012. IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá), Panamá.
- Camargo, I., R. Gordón, J. Franco, A. González, E. Quirós, y A. Figueroa. 2002. Confiabilidad de nuevos híbridos de maíz en Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 13(1):07-11.
- Camargo, I., R. Gordón, y M. Fuentes. 2003. Estabilidad y confiabilidad de los nuevos híbridos de maíz en comparación al testigo regional HB-83. 1998-2000. *Agronomía Mesoamericana* 14(2):129-134.
- Camargo, I., R. Gordón, y E. Quirós. 2011. Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesq. Agropec., Brasilia* 46(9):1061-1069.
- Cochran, W.G. 1950. The comparison of percentages in matched samples. *Biometrika* 37:256-266.
- Córdova, H.S., H.J. Barreto, y J. Crossa. 1993. Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América: confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y consideraciones para selección de testigos regionales. *Síntesis de resultados experimentales del PRM* 4:3-10.
- Córdova, H.S., S. Trifunovic, A. Ramírez, y M. Sierra. 2007. CIMMYT maize hybrids for Latin America: Head to head analysis and probability of outperforming the best checks. *Maydica* 52:471-476.
- Crossa, J., H.G. Gauch, Jr., y R.W. Zobel. 1990 Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30:493-500.
- Crossa, J., P.N. Fox, W.H. Pfeiffer, S. Rajaram, y H.G. Gauch, Jr. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet.* 81:27-37.
- Eberhart, S.A., y W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Eskridge, K.M. 1996. Analysis of multiple environment trials using the probability of outperforming a check. En: M.S. Kang, y H.G. Gauch, Jr., editores, *Genotype by environment interaction*. CRC Press, NY, USA. p. 273-307.
- Eskridge, K.M. 2003. Analysis of multiple environment trials using the probability of outperforming a check. En: *Course on Applied Statistics in Agriculture*. 4 al 15 de agosto de 2003. CIMMYT, El Batán, Estado de México. México. 34 p.
- Eskridge, K.M., y R.F. Mumm. 1992 Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theor. Appl. Genet.* 84:494-500.
- Eskridge, K.M., O.S. Smith, y P.F. Byrne. 1993. Comparing test cultivars using reliability functions of test-check differences from on-farm trials. *Theor. Appl. Genet.* 87:60-64.
- Finlay, K.W., y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gauch, H.G., y R.W. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76:1-10.
- Hodges, L., D. Sanders, K.B. Perry, K.M. Eskridge, y K.M. Batal. 1995. Adaptability and reliability of yield for four bell pepper cultivars across three southeastern states. *Hort. Sciences* 30(6):1205-1210.
- Jones, T.A. 1988. A probability method for comparing varieties against checks. *Crop Sci.* 28:907-912.
- Lin, C.S., y M.R. Binns. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12:271-297.
- Lin, C.S., M.R. Binns, y L.P. Lefkovich. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.

- Puga, B. 2012. Programa nacional de granos básicos cultivo de arroz mecanizado seco y riego. MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). Informe final del año agrícola 2011-2012. Panamá.
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity* 29:237-245.
- Yan, W., y L.A. Hunt. 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data. En: M.S. Kang, editor, *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CAB International, Wallingford. p. 289-319.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, y Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan, W., P. Cornelius, J. Crossa, y L.A. Hunt. 2001. Two types of GGE Biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan, W., y M.S. Kang. 2003. *GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders and agronomist*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Zobel, R.W., J.W. Madison, y H.G. Gauch, Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.