

Evaluación de líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) y estabilidad fenotípica en cinco localidades de Río San Juan, Nicaragua

Evaluation of rice lines (*Oryza sativa* L.) and phenotypic stability in five locations of Río San Juan, Nicaragua

Yessenia Sandoval Balladares¹, Álvaro Benavides González², Vidal Marín Fernández²

¹ MSc. Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria (INTA), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9330-6708>, sandovalcarmen3000@yahoo.es

² MSc. Docentes Universidad Nacional Agraria (UNA), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-690X>, alvaro.benavides@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Fueron estudiadas líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes del CIAT (Colombia) y del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) en colaboración con la Misión Técnica de China Taiwán, y estudiados en ambientes del departamento de Río San Juan (San Carlos, El Castillo, San Miguelito, Los Cerritos y Los Pantanos) durante el período 2014-2016. En diseños Alfa Látice (5x5) se evaluaron 25 materiales genéticos en San Carlos, El Castillo, San Miguelito, seleccionadas 10 líneas y organizadas en diseños de Bloques Completos al Azar (BCA) en Los Cerritos y Los Pantanos y empleados modelos univariados y mixtos en la interacción genotipo-ambiente (GxA). En las localidades de San Carlos, El Castillo y San Miguelito, sobresalieron las líneas CT18238-23-6-1-4-1-2-M (T10), CT18247-11-5-2-3-2-2-M (T14) y los testigos INTA Dorado e INTA San Juan con rendimientos superior a los 8 200 kg ha⁻¹. En Los Cerritos, la línea CT18238-23-6-1-4-1-2-M (T10) superó los 11 500 kg ha⁻¹, con buena aceptabilidad fenotípica y tolerante a *Helmistosporium* y *Piricularia*. Las metodologías utilizadas en GxA, determinaron que los genotipos T15 (PCT-4\SA\1\1,BO\3\1>60-3-5-2-M) y T24 (M-57-191) fueron inestables y con bajos rendimientos. No obstante, los genotipos T6 (CT18233-15-6-6-4-1-3-M) y T7 (CT18245-11-6-2-3-4-3-M) resultaron estables y con rendimientos superiores al promedio. Los genotipos INTA San Juan e INTA Dorado, tuvieron rendimientos intermedios y altos en algunos ambientes, pero genotipos estables con otras metodologías de análisis.

Palabras clave: Alfa Látice, genotipo, interacción genotipo ambiente, material genético.

ABSTRACT

Rice lines (*Oryza sativa* L.) from CIAT (Colombia) and Nicaraguan Institute of Agricultural Technology (INTA) in collaboration with the Technical Mission of China Taiwan, and evaluated in environments of the San Juan River Department (San Carlos, El Castillo, San Miguelito, Los Cerritos and Los Pantanos) during the period 2014-2016. In Alpha Lattice designs (5x5) they tested 25 genetic materials in San Carlos, El Castillo, San Miguelito, selected 10 lines and organized in designs Complete Blocks Random (RCB) in Los Cerritos and Los Pantanos, and employees univariate models and mixed in the Genotype-environment interaction (GxE). In the towns of San Carlos, El Castillo and San Miguelito, the lines CT18238-23-6-1-4-1-2-M (T10), CT18247-11-5-2-3-2-2-M stood out (T14) and the witnesses INTA Dorado and INTA San Juan with yields greater than 8,200 kg ha⁻¹. In Los Cerritos, line CT18238-23-6-1-4-1-2-M (T10) exceeded 11,500 kg ha⁻¹, with good phenotypic acceptability and tolerant to *Helmistosporium* and *Piricularia*. The methodologies used in GxE, determined that the T15 genotypes (PCT-4 \ SA\1\1, BO\3\1> 60-3-5-2-M) and T24 (M-57-191) were unstable and with low yields. However, the genotypes T6 (CT18233-15-6-6-4-1-3-M) and T7 (CT18245-11-6-2-3-4-3-M) were stable and with good performance. The genotypes INTA San Juan and INTA Dorado, had intermediate and high yields in some environments, but stable genotypes with other analysis methodologies.

Keywords: Alpha Lattice, genotype, environment genotype interaction, genetic material.

Recibido: 2 de abril del 2019
Aceptado: 30 de mayo del 2019



Copyright 2019. Universidad Nacional Agraria

Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo edgardo.jimenez@ci.una.edu.ni

CIENCIA DE LAS PLANTAS

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el cultivo más importante en la alimentación humana (Morejón et al. 2015), segundo entre los cereales y alimento básico para más de un tercio de la población mundial (Orona et al. 2013). Su producción promedio anual alcanza aproximadamente unos 650 millones de toneladas. A pesar de su categoría alimenticia, la producción de grano no cubre la demanda mundial (Hernández-Rodríguez et al. 2014).

El arroz es básico en países de América Central, y en Nicaragua aporta el 14% de la canasta básica; abarca casi 85 000 hectáreas y representa el 64% del área total de producción (MAGFOR, 2005; citado por Trouchez et al. 2006). En condiciones de secano, los rendimientos son muy variables según la región y sistema de producción, además depende de las condiciones pluviométricas y fitosanitarias, variando de 2-3 t ha⁻¹ en sistemas de secano, y de 4-6 t ha⁻¹ en sistemas mecanizados (Trouchez et al. 2006). La actividad arrocera genera 191 millones de dólares a nivel nacional, y crea alrededor de 75 000 puestos de trabajo directos e indirectos al año (ANAR, 2011; citado por Téllez y Rivera, 2017).

Las variedades de arroz constituyen un componente tecnológico importante, por lo que se requiere incorporar genotipos que se adapten a diferentes condiciones ambientales y manejo agronómico sin deterioro de la productividad y sostenibilidad de agroecosistemas. El mejoramiento genético ha sido esencial en la búsqueda de genotipos que contribuyan a incrementar la productividad y calidad de los productos agrícolas.

La obtención de líneas de arroz mediante el mejoramiento participativo es una estrategia empleada en el país para elevar la producción a fin de alcanzar la seguridad, soberanía alimentaria y adaptación al cambio climático. No obstante, hay limitaciones de recursos financieros, disponibilidad de semilla, etc., por lo que es sustancial la selección en ambientes distintos (Camargo-Buitrago et al. 2011a, 2011b).

Los mejoradores asumen que la interacción genotipo-ambiente es un gran problema, y por esto realizan pruebas

de estabilidad y de adaptación para identificar genotipos de interés. La detección de interacción genotipo-ambiente en ensayos de campo ha llevado al desarrollo de procedimientos de estabilidad (Abbott y Pistorale, 2011). Pérez (2014), considera que la utilización de técnicas multivariadas al estudio de las interrelaciones entre cultivares, ambientes, variables o sus interacciones, es una herramienta valiosa para la identificación de material genético sobresaliente.

El presente estudio empleó técnicas univariantes y multivariantes para evaluar líneas de arroz, y determinar estabilidad e interacción genotipo-ambiente (GxA) del rendimiento en cinco ambientes del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los experimentos. El material genético inicial fue obtenido de la evaluación realizada por el centro de referencia nacional del cultivo de arroz, TAINIC en el año 2013. Los experimentos se establecieron en localidades del departamento de Río San Juan. Las actividades agronómicas fueron de manera convencional. En el Cuadro 1, se presenta información de las localidades, condiciones agroclimáticas (INETER, 2018), coordenadas (UTM, 16N), edáficas y de cosecha.

La primera etapa consistió en la evaluación de 25 genotipos de arroz en Bloques Incompletos, y en la segunda etapa se evaluaron los mejores 10 materiales de arroz en Bloques Completos al Azar mediante Pruebas Avanzadas de Rendimiento (PAR).

Material biológico. En el Cuadro 2, muestra los genotipos provenientes de la selección en vivero de 100 líneas mejoradas avanzadas (F6) provenientes de cruces convencionales (hibrido simple) e interespecíficos proveídas por el CIAT. Posterior a la primera etapa de evaluación se seleccionaron 10 líneas, las que pasaron a evaluarse a través de Pruebas Avanzadas de Rendimiento (PAR).

Cuadro 1. Información sobre los ambientes y momentos de cosecha

Localidad	T	HR	Prec.	Ins.	Este	Norte	Suelo	Siembra	Cosecha
San Carlos*	28.8	90.2	549.9	110.7	761701	1226243	Arcilloso	jun-14	nov-14
El Castillo*	31.8	89.9	876.6	110.0	790209	1242398	Arcilloso	jun-15	nov-15
San Miguelito*	31.2	90.1	575.1	149.7	741660	1260852	Franco-Arcilloso	jun-15	nov-15
Los cerritos (Morrito)**	30.7	91.5	675.8	129.0	722629	1291858	Franco-Arcilloso	jul-16	dic-16
San Miguelito (Los Pantanos)**	27.2	88.5	990.0	129.3	731961	1265715	Franco-Arcilloso	jul-16	dic-16

*=Primera etapa, **=Segunda etapa. T=Temperatura (°C), HR=Humedad Relativa (%), Prec=Precipitación Acumulada (mm/año), Ins.=Insolación Acumulada (Horas sol/año).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Cuadro 2. Descripción del material biológico de arroz estudiado

Tratamientos	Código del genotipo	Tratamientos	Código del genotipo
T1	CT18667-5-17-3-4-3-M	T14	CT18247-11-5-2-3-12-2M
T2	CT18614-4-1-2-3-1-M	T15	PCT-4SA\1\1,BO\3\1>60-3-5-2-M
T3	CT18620-6-5-5-2-3-M	T16	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>60-3-1-1-M
T4	FLO3724-3P-5-1P-3P-M	T17	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>46-M-4-4-2-3-M
T5	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>19-M-3-4	T18	PCT-4SA\1\1,BO\3\1>60-3-2-1-M
T6	CT18233-15-6-6-4-1-3-M	T19	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>46-M-4-2-1-5-M
T7	CT18245-11-6-2-3-4-3-M	T20	INTA Dorado (<i>Testigo</i>)
T8	CT18238-23-1-1-2-5-1-M	T21	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>92-M-2-1-4-5-M
T9	CT18238-23-1-2-3-3-1-M	T22	CT17334-13-7-2-1-1-4-3-1-M
T10	CT18238-23-6-1-4-1-2-M	T23	CT17130-M-1-2-1-1-2-2-4-M
T11	PCT-11\0\0\2,BO\2\1>19-M-3-2	T24	M-57-191
T12	CT18245-18-2-4-1-2-2-M	T25	INTA San Juan (<i>Testigo</i>)
T13	CT18247-11-5-2-3-1-1-M		

plantas de la parcela útil. La información manejada en hojas electrónicas fue procesada con GEA-R (Pacheco et al. 2015) del CIMMYT, SAS (SAS Institute, 2002) e InfoGen (Balzarini, 2005).

Análisis paramétrico univariantes y multivariantes. Durante la primera etapa se establecieron modelos mixtos en las variables provenientes de ensayos de Bloques Incompletos (Alfa Láctice), y en la segun-

Diseños experimentales empleados. Las líneas seleccionadas se ensayaron en Bloques Incompletos (Alfa Láctice 5x5) con tres repeticiones en tres localidades y en Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro repeticiones en cinco localidades. Las parcelas constituidas de seis surcos de cinco metros de longitud estuvieron separadas a 0.30 m, y el área útil fueron los cuatro surcos centrales con un área de 6m².

Manejo agronómico y control de plagas. El manejo agronómico fue similar en todos los ensayos. La preparación de suelo fue tradicional con 10-12 semillas por golpe (60 kg ha⁻¹) en la siembra, y distancia de 25 cm y 0.30 m, entre planta y surco, respectivamente. La fertilización básica fueron las siguientes: 136 kg ha⁻¹ de 18-46-0 (3 qq m^z⁻¹) al momento de la siembra; complementación nitrogenada: 129 kg ha⁻¹ a los 25 dde (días después de la emergencia) y 129 kg ha⁻¹ a los 60 dde. A los 15 y 35 dde se aplicó Urea 46% a razón de 130 kg ha⁻¹; fraccionamiento de Urea 46% en dosis de 65 kg ha⁻¹ más 65 kg ha⁻¹ de MOP (00-00).

El control de arvenses antes de la siembra realizado con prácticas manuales y de herbicidas en dos aplicaciones de 2,4-D (ácido-2-4 dicloro fenoxi acético) para hoja ancha, y 3 l ha⁻¹ de Bispiribac Sódico (400 ml ha⁻¹) en gramíneas. Las plagas insectiles mediante recuentos periódicos y umbrales de daño económico prescribieron aplicación de Engéo (10 cm³ por bombada de 20 l) en la prevención y control del chinche de la espiga (*Oebalus insularis*).

Variables evaluadas y análisis estadístico. Cada variable estuvo sujeta a la escala de evaluación estándar para arroz según el CIAT (1983) y Sandoval (2018). Se midieron caracteres cuantitativos y componentes de rendimiento en 10

da etapa los análisis estadísticos correspondieron a diseños de Bloques Completos al Azar. Al conjunto de datos provenientes de los cinco ambientes se les aplicaron modelos univariantes (Russell, Shuckla y Wricke's) y multivariantes (AMMI, SREG, PLS).

El análisis de regresión conjunta corroboró el comportamiento de genotipos en los diferentes ambientes según Eberhart y Russell (1966); citado por Williams (2010) y González (2001). La metodología de Suckla (1972); citado por González et al. (2010); y Ecovalencia (W) de Wricke (1962); citado por González (2001) fue empleada con el mismo propósito. La interacción fue estudiada mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) de Efectos Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI) de Gauch y Zobel (1988); citados por Samonte et al. (2005); Balzarini et al. (2005); el modelo de regresión por sitio (SREG) sugeridos por Samonte et al. (2005), Balzarini et al. (2005), Sánchez et al. (2014) y Lozano et al. (2015). El método Factorial Regresión o PLS (Partial Least Square) desarrollado por Wold (1966); citado por Márquez (2017), para determinar interacción y relación de variables externas con genotipos y ambientes (Pacheco et al. 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de 25 genotipos en tres ambientes de Río San Juan. Las variables mostraron significación estadística en los factores estudiados, a excepción de la repetición. En cuanto al rendimiento, la mayor varianza en el modelo la proporcionó las repeticiones y genotipos. La interacción GxA altamente significativa (Pr=0.0001) indicó correspondencia entre los factores estudiados (Cuadro 3).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Cuadro 3. Desviación de los cuadrados medios en factores y significación de las variables evaluadas en 25 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) durante el ciclo de primera 2014-2015. San Carlos, El Castillo y San Miguelito, Río San Juan

Variables	A gl=2	R gl=2	B(R) gl=12	G gl=24	G*A gl=48	R ²	CV
Rendimiento	1381.93 ^{NS}	4558.29 ^{NS}	2427.50**	3394.54**	1938.01**	0.79	23.1
Macollamiento	14.35 ^{NS}	1.07 ^{NS}	4.17**	5.66**	2.63 ^{NS}	0.72	11.7
Altura del tallo	39.33**	5.15 ^{NS}	7.20**	3.43**	1.99**	0.85	4.1
Floración	9.85**	1.87 ^{NS}	1.34*	17.78**	1.06 ^{NS}	0.98	1.2
Madurez	6.33*	0.75 ^{NS}	2.07 ^{NS}	16.54**	5.15**	0.96	1.6

A=Ambiente, G=Genotipo, R=Repetición, B=Bloque, gl=Grados de libertad, R²=Coeficiente de determinación, CV=Coeficiente de variación (%). ^{NS}No Significativo ($\infty > 0.05$), *Significativo ($\infty \leq 0.05$), **Altamente Significativo ($\infty \leq 0.01$).

La variación fue considerable en los factores y la eficiencia del modelo en Látice superó en muchos casos al modelo en BCA. El bloqueo a lo interno de las repeticiones, así como los genotipos mostraron efecto altamente significativo ($Pr < 0.01$) en variables de crecimiento, desarrollo y rendimiento (Cuadro 4).

Según Doyle (1986); citado por Cuadra (2016), los factores más importantes que afectan al rendimiento del cultivo del arroz son el potencial de la variedad y la reacción a la fertilización, manejo de plagas, riego y condiciones ambientales.

Cuadro 4. Desviación de los cuadrados medios en factores y significación de las variables evaluadas en 25 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) durante el ciclo de primera 2014-2015, San Carlos, Río San Juan

Variables	R gl=2	B(R) gl=12	G gl=24	R ²	CV (%)	ER (%)
San Carlos						
Rendimiento	3982.71*	1910.54*	2307.50**	0.77	19.83	101.31
Macollamiento	3.93 ^{NS}	2.79*	2.86**	0.71	9.10	97.31
Altura del tallo	2.02 ^{NS}	9.79**	12.67**	0.97	1.61	101.36
Floración	1.62 ^{NS}	6.81**	10.33**	0.99	0.77	126.12
Madurez	0.92 ^{NS}	5.02**	7.69**	0.99	0.45	120.96
El Castillo						
Rendimiento	5901.78**	2297.16**	2541.75**	0.79	23.06	109.77
Macollamiento	4.74 ^{NS}	3.46**	3.20*	0.69	10.57	105.69
Altura del tallo	0.23 ^{NS}	10.53**	13.64**	0.99	0.99	100.11
Floración	0.03 ^{NS}	6.67**	10.54**	0.99	0.52	117.30
Madurez	2.58 ^{NS}	5.21**	7.12**	0.91	1.82	96.74
San Miguelito						
Rendimiento	3160.22 ^{NS}	2468.68**	2592.06**	0.74	23.61	115.23
Macollamiento	7.88 ^{NS}	4.26**	4.93**	0.80	13.40	134.78
Altura del tallo	6.70 ^{NS}	15.01*	9.77**	0.74	6.21	93.30
Floración	1.61 ^{NS}	7.92**	10.03**	0.97	1.85	100.01
Madurez	2.31 ^{NS}	11.31**	14.33**	0.97	2.03	100.05

R=Repetición, B=Bloque, G=Genotipo, gl=Grados de libertad, R²=Coeficiente de determinación, CV=Coeficiente de variación, ER=Eficiencia Relativa. ^{NS}No Significativo ($\infty > 0.05$), *Significativo ($\infty \leq 0.05$), **Altamente Significativo ($\infty \leq 0.01$).

El Cuadro 5, recopiló información sobre los materiales genéticos en los diferentes ambientes evaluados. Fueron seleccionados 10 genotipos con los mayores rendimientos, tolerancia a enfermedades y calidad molinera. Asimismo, fue considerada la aceptabilidad fenotípica propuesta por los productores de arroz de Río San Juan.

El genotipo T10 mostró el mayor rendimiento promedio (9 436.5 kg ha⁻¹), y estadísticamente superó a los otros genotipos. Los genotipos T6, T14 e INTA Dorado puntaron los 8 000 kg ha⁻¹. El mejor promedio ambiental se consiguió en Los Cerritos (9 343.3 kg ha⁻¹). Los genotipos T4 y T5 revelaron una menor variación en cuanto a los rendimientos logrados, T15 e INTA Dorado manifestaron una mayor desviación en los ambientes (Cuadro 5).

El genotipo T10 mostró el mayor rendimiento promedio (9 436.5 kg ha⁻¹), y estadísticamente superó a los otros genotipos. Los genotipos T6, T14 e INTA Dorado puntaron los 8 000 kg ha⁻¹. El mejor promedio ambiental se consiguió en Los Cerritos (9 343.3 kg ha⁻¹). Los genotipos T4 y T5 revelaron una menor variación en cuanto a los rendimientos logrados, T15 e INTA Dorado manifestaron una mayor desviación en los ambientes (Cuadro 5).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Cuadro 5. Rendimientos promedios de 10 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) evaluados en cinco ambientes. Río San Juan

Tratamientos	San Carlos	El Castillo	San Miguelito	Los Cerritos	Los Pantanos	Media	DE
T10	9024.9	8883.0	8966.7	11539.7	8066.9	9436.5 a	1313.1
T6	7999.6	6813.1	7720.4	10316.1	7166.6	8147.7 b	1373.5
T14	8390.8	8513.9	7520.8	9132.4	6244.7	8033.8 b	1118.3
INTADor	8763.3	8853.3	5954.4	10009.7	5858.3	8020.4 b	1874.7
T7	6445.4	7663.1	7213.7	9925.6	7344.5	7950.5 b	1312.4
INTASJ	8200.9	8032.2	6042.9	10081.5	6196.9	7859.1 b	1661.1
T5	7534.8	7419.4	6693.2	7924.2	7866.8	7515.0 bc	493.0
T4	7599.8	8028.2	6184.8	7059.5	6010.4	6981.7 bc	874.9
T15	5196.7	5293.9	4849.2	9389.4	7184.9	6570.8 cd	1912.3
T24	4845.5	4862.9	6395.9	8054.8	6330.9	6220.3 d	1329.1
Media	7443.3 b	7436.3 b	6754.2 b	9343.3 a	6827.1 b		
DE	1446.5	1399.2	1147.9	1334.8	797.0		
R	0.2056	0.0855	0.3482	0.0620	0.2639		
A						0.0001	
G	0.0013	0.0247	0.3803	0.0092	0.0001	0.0006	
GxA						0.0261	
R ²	0.76	0.64	0.51	0.64	0.93	0.7238	
CV	14.26	19.08	27.94	14.33	4.03	17.211	

R=Repetición, A.=Ambiente, G=Genotipo, CV=Coefficiente de Variación (%). R²=Coefficiente de Determinación, Medias con letras en común son iguales (Tukey, $\alpha > 0.05$), DE=Desviación Estándar.

Los resultados obtenidos de las diferentes evaluaciones fueron sujetos a metodologías univariantes y multivariantes para determinar estabilidad e interacción del genotipo con el ambiente. Samonte et al. (2005), Wade et al. (1999), Acevedo et al. (2010), González et al. (2010), Díaz et al. (2015), Díaz et al. (2017) y Anyaoha et al. (2018), hacen mención sobre la aplicación de estas metodologías.

Métodos univariantes

Modelo de regresión conjunta. El análisis de estabilidad de Eberhart y Russell a partir de los índices ambientales, aglutinó como estables a los genotipos T6 (8 003.14 kg ha⁻¹) y T7 (7 718.45 kg ha⁻¹). INTA San Juan, INTA Dorado y T14 superaron al promedio general (IC=7 552±914), pero estuvieron fuera del límite de estabilidad (Figura 1). También se puede interpretar que los genotipos T10, T6, T7 y T14, mostraron buena respuesta en todos los ambientes y fueron predecibles ($b_i = 1$; $S^2_{di} = 0$). Dentro del conjunto con mejor respuesta en ambientes desfavorable y predecibles ($b_i < 1$; $S^2_{di} = 0$) sobresalió el genotipo T5, esta aseveración coincide con AMMI y SREG (Figura 3).

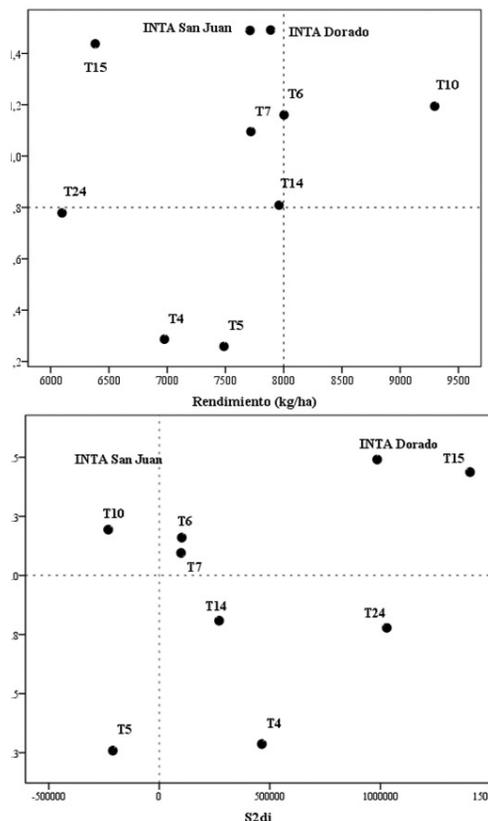


Figura 1. Dispersión bidimensional del coeficiente de regresión (b_i) en función del rendimiento (kg ha⁻¹) promedio de diez genotipos de arroz y b_i en función de la desviación (S^2_{di}) evaluadas en el departamento de Río San Juan, 2014-2016.

Abbott y Pistorale (2011), plantean un modelo de regresión lineal para estudiar estabilidad y adaptabilidad fenotípica en cultivares. El coeficiente b_i mide la respuesta a la variación ambiental, mientras que la varianza de la desviación de variabilidad (S^2_{di}) es una medida de estabilidad (González, 2001; Cadena-Guerrero et al. 2019). Este parámetro no es suficiente, y la media total de cada genotipo debería considerarse; así, los genotipos con pendiente cercana a uno y alto rendimiento serán bien adaptados a los ambientes (Finlay y Wilkinson, 1963; 1966; citados por González, 2001).

Análisis de Shuckla y Wricke's (W_i). Los genotipos T6, T7, T14 obtuvieron valores superiores al rendimiento promedio, y catalogados como los más estables en las metodologías de Shuckla y Wricke's (Figura 2). Estas aseveraciones contrastan con resultados de Eberhart y Russell, lo que indicó efectividad en los métodos univariantes para estudiar estabilidad de genotipos de arroz en los ambientes.

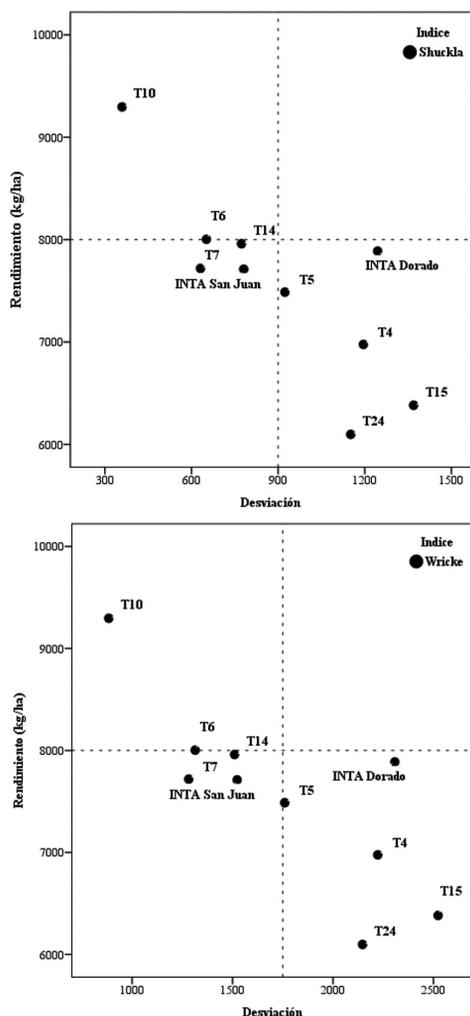


Figura 2. Dispersión bidimensional del coeficiente de Shuckla y Wricke's en función del rendimiento (kg ha⁻¹) promedio de diez genotipos de arroz evaluadas en el departamento de Río San Juan, 2014-2016.

El coeficiente W_i mide la contribución del genotipo a la interacción GxA, y los genotipos con W_i próximos a cero son más estables (González, 2001; Abbott y Pistorale, 2011). La suma de residuos de cada genotipo en todos los ambientes precisa un ANDEVA como modelo aditivo lineal (Wricke, 1962; citado por González, 2001). Castañón (1994), menciona el uso de cualquier método para estudios de parámetros de estabilidad de líneas avanzadas y variedades de arroz, y señala a W_i como el método más sencillo e interpretación fácil en comparación a Eberhart y Russell.

Métodos multivariantes

Método AMMI. En el ANDEVA combinado del Cuadro 6, se aprecian diferencias altamente significativas entre ambientes, genotipos ($P < 0.001$) y efectos significativos en la interacción GxA ($Pr = 0.0261$). Los genotipos se comportaron de manera heterogénea a la variación ambiental. El modelo AMMI determinó una amplia variación en el ambiente (41.79 %) y genotipos (31.06 %). También comprobó el aporte a la variación total de la interacción GxA (27.15 %). La prueba de Gollob reveló que el PC-1 fue altamente significativo ($Pr = 0.0005$), y el PC-2 aportó 25.46 % de la variación, pero no fue significativo ($Pr = 0.0851$) al 95% de confianza. En la metodología AMMI el PC-1 (58.33 %) y PC-2 (25.46%) explicaron 83.8 % de la variación relacionada a GxA. Los gráficos biplot expresaron muy bien el modelo de dependencia (Figura 3).

González (2001) y Pérez et al. (2014), sugieren que un 75 % aislado en los PC-1 y PC-2, es deseable para interpretar confiablemente las correlaciones aproximadas en el biplot.

Cuadro 6. Análisis de varianza del rendimiento mediante el modelo AMMI y SREG en 10 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) evaluados en cinco ambientes. Río San Juan

Fuente	gl	AMMI			SREG		
		Ind.	Acum.	Pr>F	Ind.	Acum.	Pr>F
Amb (A)	4	41.791	41.791	0.0001	41.7912	41.7912	0.0001
Gen (G)	9	31.060	72.852	0.0006	31.0603	72.8516	0.0006
GxA	36	27.148	100.000	0.0261	27.1484	100.00	0.0261
PC-1	12	58.331	58.331	0.0005	62.2197	62.2197	0.0001
PC-2	10	25.457	83.789	0.0851	21.5252	83.7448	0.0018
PC-3	8	12.192	95.980	0.4177	10.5729	94.3177	0.0688
PC-4	6	3.992	99.972	0.8436	3.8241	98.142	0.4893
PC-5	4	0.028	100.00	0.9999	1.858	100.00	0.6179
Residual	109						

gl=Grados de Libertad, Ind=Varianza Individual, Acum=Varianza Acumulada. AMMI=Efectos Aditivos e Interacción Multiplicativa, SREG=Regresión por Sitio.

El biplot de la Figura 3 (AMMI) reflejó que los genotipos T7, T5 y T4 afines a Los Pantanos, estuvieron más cercano al origen, lo que expresó mayor estabilidad, esto también coincide con la Figura 3 (SREG) del PC-1. El ge-

CIENCIA DE LAS PLANTAS

notipo T10 mostró alto rendimiento y aportó a la interacción. Los genotipos T15 y T24 ubicado en la porción negativa sobre el eje de las abscisas del biplot experimentaron baja adaptación a los ambientes. El material T24 contribuyó menos a la variación del CP-1, además fueron inestables. INTA San Juan (7 859.1 kg ha⁻¹) e INTA Dorado (8 020.4 kg ha⁻¹), aportaron de manera significativa a la interacción GxA, pero con rendimientos discrepantes en los ambientes (Figura 3).

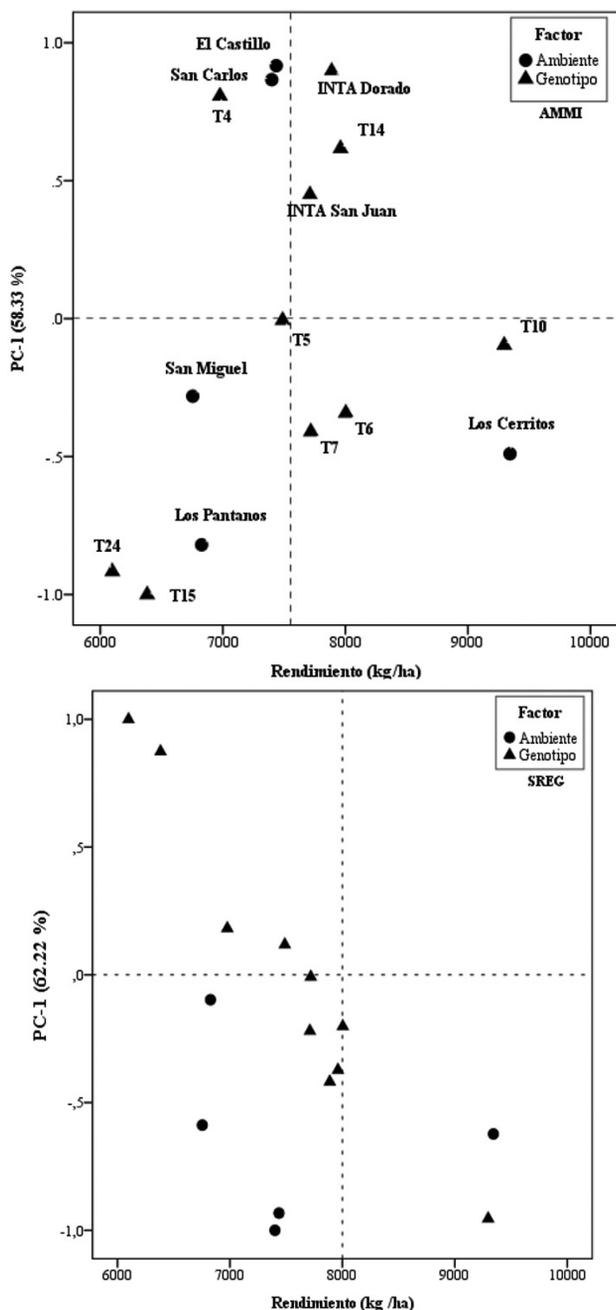


Figura 3. Dispersión bidimensional del PC-1 en función del rendimiento promedio de diez genotipos de arroz (▲) en cinco condiciones ambientales (●) del departamento de Río San Juan, 2014-2016.

Yan et al. (2000); citado por Williams et al. (2010), suponen que genotipos ubicados en sectores donde no hay ambientes son pobres en rendimiento en la mayoría de los ambientes evaluados. No obstante, AMMI no mide la estabilidad, sino el grado de interacción del genotipo con el ambiente. Cuando un genotipo tiene un valor próximo a cero, la interacción es pequeña; cuando ambos valores del ACP tienen el mismo signo, su interacción es positiva, y si son diferentes es negativa (Crossa, 2002). Samonte et al. (2005), señalan que los ambientes con valores de PC-1 próximos a cero tienen poca interacción y baja discriminación de genotipos. Parga et al. (2011), afirman que los genotipos o ambientes con grandes valores en el ACP (+ ó -) poseen interacciones altas, y aquellos con valores cercanos a cero, interacciones pequeñas y estables.

Método de regresión por sitios (SREG). El ANDEVA detectó diferencias altamente significativas (Pr=0.0001) en los efectos principales e interacción (Pr=0.0261). La prueba de Gollob, asumió el 83.74 % de la variación total a través de los CP-1 y CP-2, distribuida en 62.22 % (PC-1, Pr=0.0001) y 21.52 % (PC-2, Pr=0.0018). Los ambientes con mayor aporte a la interacción correspondieron a El Castillo y San Carlos; por el contrario, Los Pantanos mostró relación con el resto de ambientes (Figura 4). Los genotipos con estabilidad y buen rendimiento (superior al rendimiento promedio) fueron INTA San Juan y T5, contiguo a este grupo estuvo el tratamiento T14 e INTA Dorado (Figura 3).

La gráfica biplot y SREG permiten determinar el cultivar con mejor comportamiento en un ambiente específico, identifica el ambiente más apropiado, compara cultivares en un ambiente e identifica el mejor cultivar, además de diferenciar mega ambientes (Ibañez, 2006; Sánchez et al. 2014).

Método de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS). En el presente estudio, los años y localidades fueron estimados como ambientes, ya que las diferencias pudieron ser causa de las variaciones edafoclimáticas en cada una de las fases fenológicas del cultivo del arroz. La localidad de Los Cerritos manifestó la mayor humedad relativa promedio, y estuvo relacionada al genotipo T24. Las precipitaciones fueron mayores en Los Pantanos, El Castillo y San Carlos, y destacaron los genotipos T7, T4, T6, INTA San Juan e INTA Dorado. Los genotipos T15, T10, T14 y T5 correspondieron a la insolación de San Miguelito (Figura 4).

Abbott y Pistorale (2011), mencionan la interacción GxA en la respuesta diferencial de los genotipos evaluados en los diferentes ambientes. El método de PLS incorpora variables externas (ambientales o genotípicas) y permite estimar variables externas responsables de la variación (Pacheco et al. 2015), Cepeda y Salgueiro (2004). Sin embargo; Marqués (2017), argumenta que el PLS no es un método, sino un conjunto de métodos con sus algoritmos asociados.

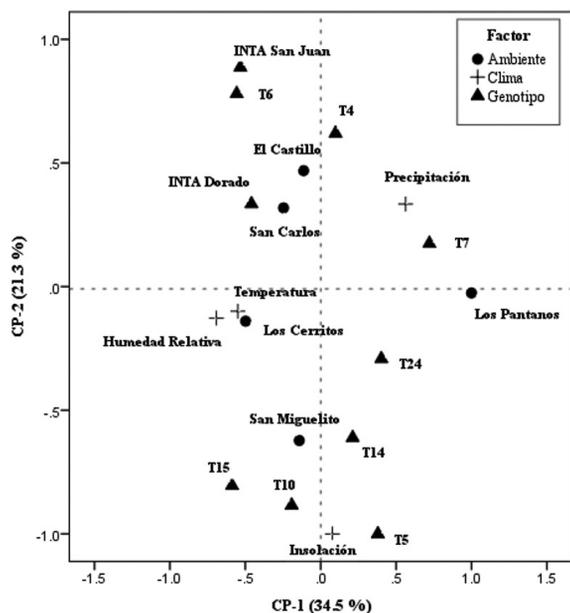


Figura 4. Dispersión bidimensional del PC-1 y PC-2 en función de variables climáticas (+) de diez genotipos de arroz (▲) en cinco condiciones ambientales (●) del departamento de Río San Juan, 2014-2016.

CONCLUSIONES

Los resultados revelaron evidencias del comportamiento variante en los genotipos de arroz estudiados. Los genotipos T6, T7, T10 y T14 basados en los modelos de Eberhart y Russel, Shuckla y Wricke's respondieron bien en la mayoría de los ambientes, por lo que son calificados como estables y de alto rendimiento. Los testigos INTA Dorado e INTA San Juan, tuvieron un buen potencial de rendimiento, pero discrepantes en los ambientes. Las metodologías AMMI y SREG, coincidieron en que los genotipos T15 y T24 fueron inestables, de alta interacción y bajos rendimientos en los ambientes. Asimismo, el modelo AMMI precisó que los genotipos T5 (asociado a San Miguelito) y T10 (asociado a Los Cerritos) aportaron menos a la interacción; comportamiento similar tuvieron los genotipos T4, T5 y T7 (asociado a Los Pantanos). Mediante SREG, las variables de clima relacionaron a los ambientes y genotipos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos, a la misión China Taiwan, productores y promotores que participaron activamente en las actividades agrícolas de los ensayos, así como en el apoyo para el levantamiento de la información en campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L. y Pistorale, S. (2011). Análisis de la estabilidad y adaptabilidad de caracteres de interés agronómico en genotipos selectos de cebadilla criolla (*Bromus catharticus*). *agriscientia*, 28(2).
- Acevedo, M., Reyes, E., Castrillo, W., Torres, O., Marín, C., Álvarez, R., ... y Torres, E. (2010). Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN-BINNS y AMMI. *Agronomía tropical*, 60(2), 131-138.
- Anyaoha, C., Adegbehingbe, F., Uba, U., Popoola, B., Gracen, V., Mande, S., ... y Fofana, M. (2018). Genetic Diversity of Selected Upland Rice Genotypes (*Oryza sativa* L.) for Grain Yield and Related Traits. *International Journal of Plant & Soil Science*, 1-9.
- Balzarini, M.; C. Bruno y A. Arroyo. 2005. Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales. Ejemplos con Info-Gen. Ed. Brujas, Córdoba, Arg. 141 p.
- Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Cadena-Guerrero, M. M., García-Dávila, M. A., y Castro, E. (2019). Estabilidad fenotípica de genotipos de *Lolium* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 483-495.
- Camargo-Buitrago, I., Intire, E. M. y Górdon-Mendoza, R. (2011a). Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 46(9), 1601-1069.
- Camargo-Buitrago, I., Intire, Q. M. y Gordón-Mendoza, R. (2011b). Identificación de ambientes representativos y discriminatorios para seleccionar genotipos de arroz mediante el Biplot GGE. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 245-255.
- Castañón G. (1994). Estudio de la estabilidad en líneas avanzadas y variedades de arroz (*Oryza sativa* Lin.) usando dos metodologías. *Agronomía Mesoamericana* 5: 118-125.
- Cepeda Carrión, G., y Roldán Salgueiro, J. L. (2004). Aplicando en la práctica la técnica PLS en la administración de empresas.
- CIAT. (1983). Sistema de Evaluación Estándar para arroz. 2ª ed. Manuel Rosero traductor y adaptador. Cali, Colombia.
- Crossa, J.; Cornelius, P.L. y Yan, W. (2002). Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Science* 42, 619-633.
- Cuadra, S. A. y Marín-Fernández, V. (2018). Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza sativa* L.) con alto contenido de zinc en condiciones de riego y secano en Nicaragua. *La Calera*, 17(29), 46-50.
- Díaz Solís, S. H., Morejón Rivera, R., Lucinda David, D., y Castro Álvarez, 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.

- Díaz, S. H., Morejón, R., y Pérez, N. D. J. (2017). Comportamiento y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas por el Programa de Mejoramiento en Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 81-88.
- González, M.R. (2001). Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (*Pisum sativum* L.). Tesis de doctorado. Universidad de Valladolid, España.
- González, A., de Jesús Pérez, D., Sahagún, J., Franco, O., Morales, E. J., Rubí, M. y Balbuena, A. (2010). Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del valle Tolucaatlacomulco, México. *Agronomía Costarricense*.
- Hernández-Rodríguez, Annia, Rives-Rodríguez, Narovis, Acebo-Guerrero, Yanelis, Diaz-de la Osa, Acela, Heydrich-Pérez, Mayra, y Divan Baldani, Vera Lucia. (2014). Potencialidades de las bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal y el control de *Pyricularia oryzae* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de Protección Vegetal*, 29(1), 1-10.
- Ibañez, M.A., Cavanagh, M.M., y Bonamico, N.C., Renzo, M.A. di, Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. RIA.
- INETER (Dirección General de Meteorología, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (2018). *Datos climáticos*. Managua, NI.
- Lozano-Ramírez, Águeda, Santacruz-Varela, Amalio, San-Vicente-García, Félix, Crossa, José, Burgueño, Juan, y Molina-Galán, José D. (2015). Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(4), 337-347.
- Márquez Ruiz, C. (2017). Modelo de regresión PLS.
- Morejón, R., y Díaz Solís, S. H. (2015). Selección de líneas promisorias de arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes del programa de mejoramiento genético en "Los Palacios". *Cultivos Tropicales*, 36(4), 126-132.
- Orona Castro, F., Medina Méndez, J., Tucuch Cauich, F. M., Soto Rocha, J. M., y Almeyda León, I. H. (2013). Parámetros de estabilidad en rendimiento y adaptabilidad de 25 genotipos de arroz en Campeche, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 82(2), 255-261.
- Pacheco A., Vargas M., Alvarado G., Rodríguez R., López M., Crossa J y Burgueño J. (2015). GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows). Version 2.0 (2015-10-21). Copyright © 2015 Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Parga, T. V. M.; Zamora, V. V. M.; González, V. V. M.; García, G. S. J. y Villavicencio, G. E. E. (2005). Interacción genotipo ambiente en clones de papa bajo riego en el noreste de México. *Agric. Téc. Méx.* 31(1):55-64.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Rubí, A. M.; Ramírez, D. J. F.; Castañeda, V. A. y Aquino, M. J. G. (2014). Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5(2):265-278.
- Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., McClung, A. M., y Medley, J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*, 45(6), 2414-2424.
- Sanchez, A., Molina, L., y Torres, J. (2014). Métodos tradicionais e o método SREG (regressão de sítios) na seleção de genótipos em testes multiambientais. pp. 539-543. *Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*, 3(3).
- Sandoval Balladares, J. D. C. (2018). *Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz (Oryza Sativa L.) en base a características agronómicas y de rendimiento 2014-2016*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria. NI.
- SAS Institute (2002). Statistical Analysis System. SAS/ETS 9 User's Guide, Volumes 1 and 2. SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA. 2143 pp.
- Téllez G. G., Rivera A.C. (2017) *Producción Agrícola: La cadena productiva del arroz en Nicaragua y su enfoque en la seguridad alimentaria en el ciclo 2012-2013*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Trouchez, G.; Narváez-Rojas, L.; Chow, Z. y Corrales-Blandón, J. (2006). Fitomejoramiento participativo del arroz de secano en Nicaragua: Metodologías, resultados y lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana*, 2006, vol. 17, no. 3, p. 307-322.
- Wade, L. J., McLaren, C. G., Quintana, L., Harnpichitvitaya, D., Rajatasereekul, S., Sarawgi, A. K., ... y Siopongco, J. (1999). Genotype by environment interactions across diverse rainfed lowland rice environments. *Field Crops Research*, 64(1-2), 35-50.
- Williams A., H., Pecina Q., V., Zavala G., F., Montes G.N., Gámez V., J., Arcos C., G.,... y Alcalá Salinas, L. (2010). Modelo de Finlay y Wilkinson vs. el Modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(2), 117-123.