

Estabilidad fenotípica de genotipos promisorios de berenjena (*Solanum melongena* L.) para la región Caribe de Colombia

Phenotypic stability of promising eggplant genotypes (*Solanum melongena* L.) for the Caribbean region of Colombia

Rommel Igor León-Pacheco. ¹, Juan Camilo Gómez-Correa. ², Jorge Cadena-Torres. ³, José Antonio Cantero-Rivero. ⁴, Ender Manuel Correa-Álvarez. ⁵, Manuel Ramón Espinosa-Carvajal. ⁶, Ketty Isabel Ibáñez-Miranda. ⁷, Víctor Alfonso de la Ossa-Albis. ⁸, Shirley Patricia Pérez-Canteros. ⁹, Jorge Luis Romero-Ferrer. ¹⁰

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, Magdalena, Colombia ✉ rleon@agrosavia.co.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, Magdalena, Colombia ✉ jcgomez@agrosavia.co

³Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia ✉ jcadena@agrosavia.co

⁴Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia. ✉ jcantero@agrosavia.co

⁵Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, Magdalena, Colombia. ✉ ecorrea@agrosavia.co

⁶Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Zambrano, Bolívar, Colombia. ✉ mepinosa@agrosavia.co

⁷Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia. ✉ kibanez@agrosavia.co

⁸Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Zambrano, Bolívar, Colombia. ✉ vdelaossa@agrosavia.co

⁹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia. ✉ sperez@agrosavia.co

¹⁰Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia. ✉ jromero@agrosavia.co

Rec.: 2019-05-02 Acep.: 2020-07-10

Resumen

El fenotipo es el efecto acumulativo del genotipo (G), del ambiente (A) y su interacción (G x A). El ambiente es el factor que afecta en mayor medida el fenotipo debido a que varía entre localidades, temporadas y estaciones del año, mientras que los efectos de los genotipos son constantes. El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos de berenjena (*Solanum melongena* L.) altamente productivos y fenotípicamente estables, con frutos aceptables para los mercados de exportación y nacional, calificados, respectivamente, de primera y segunda categoría, a partir del análisis de estabilidad mediante el modelo AMMI y el índice de superioridad (P_i) de Lin y Binns. Para el efecto se utilizaron variables asociadas con rendimientos de 15 genotipos de berenjena evaluados en tres ambientes de la región Caribe de Colombia. Los resultados mostraron que: (1) El rendimiento de frutos de primera y segunda categoría fueron significativos ($P < 0.001$) para la interacción genotipo x ambiente, (2) los materiales C015, C027, C035, C036 y C049 lo fueron para el rendimiento de primera categoría y C014, C025, C032, C040 y C049 para el rendimiento de segunda categoría, ya que se ubicaron cerca al cero del CP1, por tanto contribuyen en menor medida a la interacción genotipo x ambiente y son los materiales con el comportamiento más estable; y (3) los genotipos más estables según el P_i para el rendimiento de primera categoría fueron el C006, C026, C027, C035 y C040; y para el de segunda categoría fueron C014, C035, C040, C042 y C049; los cuales, en su mayoría, coinciden con los genotipos más estables y de mayor rendimiento de acuerdo al análisis AMMI.

Palabras clave: Índice de superioridad, interacción genotipo x ambiente, Lin y Binns, modelo AMMI.

Abstract

The phenotype is the cumulative effect of the genotype and the environment, and its interaction. As the environment is highly variable between locations and seasons, and the effects of genotypes are constant, the environment turns out to be the major factor affecting the phenotype. In view of the above, the objective of this work was to identify highly productive and phenotypically stable eggplant (*Solanum melongena* L.) genotypes, with fruits suitable for the export and national market, based on stability analysis using the AMMI model and the superiority index (P_i) of Lin and Binns in variables associated with yield in 15 genotypes of eggplant, in three environments of the Caribbean region of Colombia. The most relevant results were: (1) The yield of first and second category fruits were highly significant for the interaction genotype by environment; (2) the materials C015, C027, C035, C036 and C049 for the first category yields and C014, C025, C032, C040 and C049 for the second category yields, were located close to the zero of PC1, so they are considered the genotypes that less contribute genotype x environment interaction, and therefore are considered the genetic materials with the most stable behavior; and (3) the genotypes that appear as the most stable according to P_i for the first category yields were C006, C026, C027, C035 and C040, and second category yields were C014, C035, C040, C042 and C049; which, for the most part, coincide with the most stable and high-yielding genotypes according to the AMMI analysis.

Key words: AMMI model, brinjal, genotype x environment interaction, Lin and Binns, superiority index.

Introducción

El fenotipo es el efecto acumulativo del genotipo (G), del ambiente (A) y su interacción (G x A). Cuando el ambiente es altamente variable entre localidades y estaciones, mientras que los efectos de los genotipos son constantes, el ambiente es el factor que afecta en mayor medida el fenotipo (Koundinya et al., 2017, 2019). Así, la evaluación de genotipos en ensayos en múltiples ambientes (MET, por sus siglas en inglés) es una técnica usada para determinar la estabilidad de un gran número de ellos en diferentes ambientes (localidades y años) (Casanoves et al., 2005). La importancia de la interacción genotipo x ambiente ha sido reconocida por varios fitomejoradores, entre ellos, aquellos que trabajan en el cultivo de la berenjena (Koundinya et al., 2017, 2019; Pandit et al., 2010; Vaddoria et al., 2009). Experimentalmente se ha demostrado que los genotipos que tienen una menor respuesta a cambios ambientales son más estables y tienen la probabilidad de tener un comportamiento similar en diferentes ambientes (plasticidad) (Sultan, 1987).

En el análisis estadístico de ensayos de rendimiento en los que se evalúan numerosos genotipos en múltiples ambientes (MET) se emplean, frecuentemente, las técnicas o modelos de análisis siguientes: (1) efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI, por sus siglas en inglés) y (2) efectos principales del genotipo y de la interacción genotipo x ambiente (GGE, por sus siglas en inglés) (Koundinya et al., 2019; Tofiño-Rivera et al., 2016; Vargas et al., 2016; Vallejo et al., 2005, Estrada-Salazar et al., 2010). Según Zobel et al. (1988) el modelo AMMI es una herramienta estadística segura y un modelo superior al GGE (Gauch, 2006).

El modelo AMMI divide o separa la variación total ocasionada por los efectos principales del genotipo y del ambiente, y de la interacción de genotipo x ambiente, facilitando al investigador su manejo individualmente, sin dejarlos de considerar de una manera integral (Gauch, 2006).

Existen otros parámetros, entre ellos el índice de superioridad (P_i) de Lin y Binns (1988) que también permiten comparar el desempeño general de los genotipos. Este índice se define como el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta de un genotipo y el genotipo de máxima respuesta, en un ambiente determinado (Vargas et al., 2016); de tal manera, que los genotipos y las poblaciones con menores valores corresponden a los de mayor estabilidad fenotípica. Con ello se logra una adecuada identificación de genotipos estables para una producción agrícola sostenible, bajo diferentes condiciones ambientales (Mehta et al., 2011), a partir de la selección de aquellos que menos interacción evidencien con los ambientes en el que son cultivados (Koundinya et al., 2019; Eberhart y Russell, 1966).

En la práctica, es deseable tener una variedad que presente alto rendimiento, pero, que sea estable y uniforme a través de los diferentes ambientes, con un impacto mínimo de los diversos factores de estrés biótico y abiótico en una amplia gama de condiciones agroclimáticas. Por tanto, el estudio de los parámetros de estabilidad es de suma utilidad en los programas de mejoramiento genético para medir la adaptabilidad y la estabilidad de los cultivares, con lo cual se pueden identificar genotipos adecuados para diferentes ambientes (Bhushan y Samnotra, 2017a, b).

El presente estudio se realizó con el objeto de identificar genotipos de berenjena altamente productivos y fenotípicamente estables, con

frutos de características deseables para los mercados de exportación y nacional, haciendo uso del modelo AMMI, del índice de estabilidad de rendimiento (YSIDist, por sus siglas en inglés) y del índice superioridad de Lin y Binns.

Materiales y métodos

Localización. El estudio se realizó en tres centros de investigación (C.I.) (ambientes) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en la región Caribe de Colombia, en la zona de vida Bosque seco Tropical (bs-T) (Holdridge, 1967) (Tabla 1). El primero se encuentra en el C.I. Turipaná, municipio de Cereté, departamento de Córdoba; el segundo en la Sede El Carmen de Bolívar (municipio de El Carmen de Bolívar, departamento de Bolívar); y el tercero en el C.I. Caribia, en el municipio de Zona Bananera, departamento del Magdalena.

Material vegetal. Consistió en 14 genotipos, identificados con los códigos C003, C006, C011, C014, C025, C026, C027, C028, C032, C035, C036, C040, C042 y C049. Estos genotipos hacen parte del Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) y fueron recolectados en 2008 en diferentes zonas productoras de berenjena en la región Caribe de Colombia (Cadena-Torres et al., 2011b). Los materiales genéticos fueron seleccionados para estos experimentos con base en sus atributos de color, forma, tamaño del fruto y producción, y como referente se utilizó la variedad Corpoica C015, genotipo comercial liberado en 2011 por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA (Cadena-Torres et al., 2011a).

Diseño experimental. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en seis surcos de 7 m de largo (42 m²), con una distancia de siembra de 1 m entre surcos y entre plantas, para un total de 168 plantas por parcela. El área neta experimental fue de 3250 m² por ambiente (localidad).

Las plántulas para siembra fueron producidas bajo condiciones de vivero en bandejas plásticas de 40 alveolos. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba y lombriabono en proporciones de 3:1, el cual se desinfectó previamente con

una solución de Ridomil® Gold MZ 68 WP (Metalaxil-M 4% + Mancozeb 64%) + Vitavax® 400 WP (Carboxim 20% + Thiram 20%) en dosis de 2.5 g/l + 2.0 g/l, respectivamente. El trasplante se realizó cuando las plántulas tenían entre 30 y 45 días en vivero, una altura entre 15 y 20 cm y 3 o 4 hojas verdaderas formadas.

Variables de respuesta. Para calcular el rendimiento, en dos surcos centrales cada semana fueron recolectados los frutos por genotipo. Según su forma y tamaño estos fueron clasificados de primera o segunda categoría. Entre los primeros fueron considerados aquellos que tenían una longitud entre 17 y 24 cm, un diámetro entre 6 y 10 cm, color lila, morado o negro y forma ovalada o 'bombillo'. Como frutos de segunda categoría fueron considerados aquellos con longitud menor que 17 cm o superior a 24 cm, diámetro inferior a 6 cm o superior a 10 cm, colores y formas distintivas a los de primera categoría. En total se realizaron 15 cosechas durante el período experimental, registrando el peso de los frutos de cada categoría. El rendimiento se expresó para cada categoría en kg/ha. Los frutos de primera categoría fueron considerados como tipo exportación, mientras que los de segunda categoría se consideraron aptos para el mercado nacional.

Análisis estadístico. Los rendimientos de fruto en ambas categorías de genotipos, fueron analizados por varianza para ambiente o localidad y en los casos que se detectaron diferencias ($P < 0.05$) se realizaron pruebas de separación de medias, empleando la prueba HDS de Tukey. Igualmente se realizaron análisis de varianza, combinando los ambientes o localidades (Ecuación 1), mediante el uso del programa estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). El modelo estadístico utilizado para el análisis combinado de varianza fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_j + \beta(L)_{k(j)} + G_i + GL_{(ij)} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ec. 1}$$

donde, Y_{ijk} = variable respuesta del i -ésimo genotipo, en la j -ésimo ambiente, en el k -ésimo bloque, μ = media general del experimento, L_j = efecto del j -ésimo ambiente, $\beta(L)_{k(j)}$ = efecto del k -ésimo bloque, en el j -ésimo ambiente, G_i = efecto del i -ésimo genotipo, $GL_{(ij)}$ = efecto de la interacción del i -ésimo genotipo por el j -ésimo ambiente, ε_{ijk} = error experimental asociado con la observación Y_{ijk} .

Tabla 1. Ubicación, altitud y valores medios de las principales variables climáticas de las áreas de estudio.

Localidad	Latitud/ Longitud	Altitud (msnm)	P ^a (mm)	T ^b mín. (°C)	T ^b máx. (°C)	HR ^c mín. (%)	HR ^c máx. (%)
A	8.85013° N / 75.81796° W	12	1250	23.7	33.3	49.4	90.4
B	9.71346° N / 75.10707° W	197	1150	22.5	32.9	60.5	94.3
C	10.78333° N / 74.16667° W	18	1280	18.9	38.6	51.0	98.0

A: C.I. Turipaná; B: Sede El Carmen de Bolívar; C: C.I. Caribia; ^aPrecipitación media anual; ^bTemperatura; ^cHumedad relativa.

Adicionalmente se realizaron los análisis estadísticos de la interacción genotipo x ambiente (IGA) y estabilidad fenotípica evaluando el modelo AMMI mediante el paquete agricolae (De Mendiburu, 2017), y el índice de estabilidad del rendimiento (YSIDist) mediante el paquete stability (Yaseen et al., 2018), ambos paquetes para el programa R (R Core Team, 2018), y la medida única de superioridad del comportamiento del genotipo $i(P_i)$, método Lin y Binns (Vargas et al., 2016), a través de la ecuación siguiente (Ecuación 2):

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{(X_{ij} - M_j)^2}{2n} \quad \text{Ec. 2}$$

donde, P_i = parámetro de estabilidad del genotipo i , X_{ij} = variable respuesta del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente, M_j = respuesta máxima observada entre todos los genotipos en el ambiente j , n = número de ambientes.

Finalmente, se graficaron los biplots AMMI: CP2 vs. CP1 (AMMI2) y CP1 vs. rendimiento de frutos de primera y de segunda categoría (AMMI1), con el propósito de facilitar la visualización de la IGA.

Resultados y discusión

Interacción genotipo por ambiente. A partir del análisis combinado de varianza realizado al rendimiento de frutos de primera y segunda categoría, se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) (Tabla 2) para la interacción genotipo x ambiente, lo cual indica que los rendimientos de frutos de primera y segunda categoría en los genotipos de berenjena variaron en cada localidad de evaluación. La variación entre ambientes agrupó 56.62% de la variabilidad del rendimiento de primera categoría, y la interacción genotipo x ambiente el 42.21% para el rendimiento de segunda categoría. La variabilidad explicada por el ambiente para el rendimiento de primera categoría y por la interacción genotipo x ambiente para el rendimiento de segunda categoría, fue similar a

la encontrada en varios estudios de estabilidad fenotípica realizados en berenjena, en los que se han reportado diferencias significativas para los factores genotipo x ambiente, siendo este último factor el que mayor efecto aportó en la interacción (Koundinya et al., 2017, 2019; Bhushan y Samnotra, 2017a, b; Mehta et al., 2011).

El genotipo C026 se destacó significativamente ($P \leq 0.05$) por presentar el mayor rendimiento de frutos de primera categoría (tipo exportación) en las localidades de C.I. Turipaná y Sede El Carmen de Bolívar sin diferenciarse significativamente entre estas ($P > 0.05$), mientras que, los genotipos C006, C035, C011, C027, C036 y C040 alcanzaron comportamiento superior en el C.I. Turipaná y C040, C035, C015 y C014 en la Sede Carmen de Bolívar (Tabla 3), con rendimientos entre 33078.75 y 45421.25 kg/ha. No obstante, se identificaron siete genotipos tipo exportación

Tabla 3. Rendimiento de frutos de primera categoría (kg/ha) de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

Genotipo	C.I. Turipaná		Sede El Carmen de Bolívar		C.I. Caribia	
	Media	Letras	Media	Letras	Media	Letras
C003	21719.38	D b	33516.88	B a	19135.18	A b
C006	37436.88	B ab	31736.88	B bc	24718.68	A c
C011	36296.25	B a	35311.25	B ab	15895.73	B b
C014	26041.88	C bc	39732.50	A ab	16857.25	B c
C015	31706.25	C bc	40435.00	A ab	17665.10	B c
C025	31126.25	C a	26805.00	CD ab	20354.55	A b
C026	45421.25	AB a	45063.75	A ab	18742.40	B b
C027	35145.00	B ab	36336.88	B a	22732.40	A b
C028	19392.50	D b	27127.50	C ab	15390.38	B b
C032	24710.63	D a	28257.50	C a	20752.35	A b
C035	36896.88	B ab	40645.63	A a	21914.65	A b
C036	33115.00	B ab	33694.38	B a	20040.95	A b
C040	33078.75	B bc	42753.13	A ab	18854.45	B c
C042	20166.88	D ab	20797.00	D a	12983.45	C b
C049	27794.38	C bc	33694.38	B ab	16613.78	B c
DMS*			5698.82			

*Diferencia mínima significativa. Genotipos con una letra mayúscula común en la misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$) en la localidad. Genotipos con una letra minúscula común en la misma fila no son significativamente diferentes ($P > 0.05$) entre localidades.

Tabla 2. Análisis de varianza combinado para las variables rendimiento de frutos de primera y segunda categoría (kg/ha) de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

FV ^a	GL ^f	Rendimiento de primera categoría			Rendimiento de segunda categoría		
		SC ^g	P	% (A + G + G*A)	SC	P	% (A + G + G*A)
M ^b	53	1.51E+10	<0.0001		5.94E+09	<0.0001	
A ^c	2	7.91E+09	0.0001	56.62	1.29E+09	0.0017	23.37
A>B ^d	9	1.15E+09	<0.0001		4.13E+08	<0.0001	
G ^e	14	3.87E+09	<0.0001	27.70	1.90E+09	<0.0001	34.42
G*A	28	2.19E+09	<0.0001	15.68	2.33E+09	<0.0001	42.21
Error	126	2.11E+09			1.17E+09		
Total	179	1.72E+10			7.11E+09		

^aFactor de variación; ^bModelo; ^cAmbiente ^dBloque; ^eGenotipo; ^fGrados de libertad; ^gSuma de cuadrados.

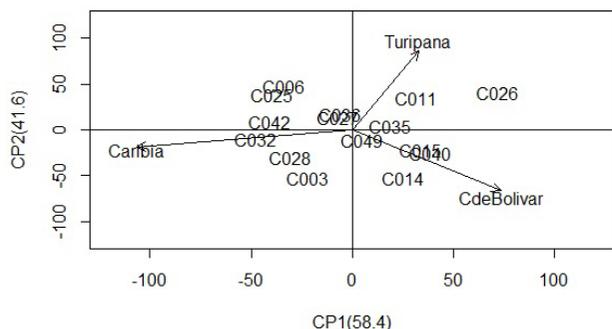


Figura 1. AMMI2 CP2 vs. CP1, para el rendimiento de frutos de primera categoría de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

que se diferenciaron significativamente en el C.I. Caribia, con rendimientos entre 19135.19 y 24718.68 kg/ha, pero, con una productividad significativamente inferior ($P < 0.05$) a la obtenida en las localidades de C.I. Turipaná y Sede El Carmen de Bolívar.

En la Sede Carmen de Bolívar, se obtuvo el mejor rendimiento de frutos de segunda categoría (mercado nacional) sin diferenciarse significativamente ($P > 0.05$) de los genotipos C035, C049, C040, C014 y C006 (Tabla 4). Por su parte en las localidades de C.I. Caribia y C.I. Turipaná, se destacaron los materiales C035, C026, C014, C003, C040, C036, C042 y C049 y C036, C035, C026, C027, C015 y C006, respectivamente, los cuales se diferenciaron significativamente de los otros genotipos evaluados ($P < 0.05$), con rendimientos entre 21517.78 y 29838.75 kg/ha

Tabla 4. Rendimiento de frutos de segunda categoría (kg/ha) de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

Genotipo	C.I. Turipaná		Sede El Carmen de Bolívar		C.I. Caribia	
C003	18888.13	B b	26812.50	C a	24371.00	B ab
C006	21652.50	A bc	28039.38	B ab	16782.03	C c
C011	20427.50	B a	20296.25	D a	16767.53	CD b
C014	20777.50	B b	28058.13	B a	24672.78	B a
C015	23815.00	A a	20498.75	D a	19531.93	C b
C025	16112.50	C a	17308.13	E a	12509.20	D b
C026	24605.00	A a	22543.13	D a	25243.95	B a
C027	23902.50	A a	23778.13	C ab	18584.45	C b
C028	13966.25	C b	21555.00	D a	19597.30	C ab
C032	17561.88	B b	26833.13	C ab	19008.60	C b
C035	25148.75	A b	31950.63	B a	29838.78	AB ab
C036	25220.63	A a	24636.25	C a	22666.03	B a
C040	20690.00	B b	28247.50	B ab	23246.35	B b
C042	13835.00	C c	45315.00	AB ab	21668.65	B bc
C049	20468.13	B b	29803.13	B ab	21517.78	B b
DMS ^a			4131.08			

^aDiferencia mínima significativa. Genotipos con una letra mayúscula común en la misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$) en la localidad. Genotipos con una letra minúscula común en la misma fila no son significativamente diferentes ($P > 0.05$) entre localidades.

Bhushan y Samnotra (2017a, b) identificaron genotipos de berenjena que se adaptaron bien tanto en ambientes favorables como desfavorables. La interacción significativa de genotipos x ambiente para las variables asociadas con alto rendimiento es una oportunidad para seleccionar genotipos adecuados por las variables de producción.

Análisis de estabilidad fenotípica. Al realizar la descomposición en valores y vectores singulares de la matriz de IGA para el rendimiento, se encontró que el primer componente representó 58.38 y 85.14% de la varianza contenida en esta interacción para los rendimientos de primera y segunda categoría, respectivamente.

En la presente investigación los materiales C015, C027, C035, C036 y C049 para el rendimiento de primera categoría, y C014, C025, C032, C040 y C049 para el rendimiento de segunda categoría, se ubicaron próximos al cero del CP1, por lo que indican genotipos que aportan en menor medida a la interacción genotipo x ambiente y materiales con el comportamiento más estable en los diferentes ambientes (Figura 1 y 2, y Tabla 5), ya que los genotipos y ambientes con coordenadas distantes del CP1, consideradas en valor absoluto, contribuyen en mayor medida a la interacción genotipo x ambiente; mientras que, genotipos y ambientes cercanos a cero del CP1 tienen poca participación sobre este efecto (Koundinya et al., 2019). En aquellos casos cuando los genotipos y ambientes poseen el mismo signo respecto a los componentes principales del biplot, su interacción es positiva; pero si tienen comportamiento contrario presentan valores negativos (Zobel et al., 1988).

Igualmente es posible identificar genotipos con el mayor rendimiento y más estables, según el índice de estabilidad de rendimiento (YSIDist) (Figura 3 y 4, y Tabla 5), entre ellos: C015, C027, C035, C036 y C040 para el rendimiento de primera categoría y C014, C035, C036, C040 y C049 para el rendimiento de segunda categoría. En este mismo sentido, los genotipos que aparecen como los más estables, según el parámetro P_i para el rendimiento de primera categoría son: C006, C026, C027, C035 y C040, y para segunda categoría: C014, C035, C040, C042 y C049 (Tabla 5), entre ellos: C014, C027, C035, C040 y C049, que coinciden con los genotipos más estables y de mayor rendimiento de acuerdo al índice YSIDist, donde el parámetro P_i integra el rendimiento medio y la estabilidad relativa en un solo parámetro, al igual que el índice YSIDist (Vargas et al., 2016).

Los resultados obtenidos al aplicar el método de análisis de Lin y Binns indican que es posible identificar grupos de genotipos con valores extremos para el P_i , lo que permite la selección de

Tabla 5. Índice de estabilidad del rendimiento (YSIDist, por sus siglas en inglés) y parámetro de estabilidad (Pi) por Lin y Binns (1988) para el rendimiento de primera y segunda categoría de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

Geno ^a	Rendimiento de primera categoría						Rendimiento de segunda categoría							
	M ^b	D ^c	rM ^d	rD ^e	YSIDist	Pi	M	D	rM	rD	YSIDist	Pi	rPi	
A	24.8	57.2	12	12	24	1.21E+08	12	23.4	35.5	8	9	17	6.87E+07	6
B	31.3	58.1	5	13	18	4.02E+07	5	22.2	47.3	9	13	22	8.03E+07	8
C	29.2	47.5	7	9	16	4.27E+07	6	19.4	31.0	13	6	19	1.31E+08	13
D	27.5	58.4	9	14	23	7.76E+07	9	24.5	24.0	3	4	7	5.74E+07	4
E	29.9	40.0	6	5	11	4.32E+07	7	21.3	45.2	11	12	23	1.21E+08	12
F	26.1	54.7	10	11	21	9.28E+07	11	15.3	29.5	15	5	20	1.95E+08	15
G	36.4	82.8	1	15	16	5.95E+06	1	24.1	47.4	5	14	19	9.00E+07	10
H	31.4	15.0	4	2	6	3.10E+07	3	22.1	40.8	10	11	21	9.87E+07	11
I	20.6	43.1	14	7	21	1.81E+08	14	18.3	36.7	14	10	24	1.33E+08	14
J	24.6	48.8	13	10	23	1.21E+08	13	21.1	16.4	12	2	14	8.63E+07	9
K	33.2	19.4	2	4	6	1.67E+07	2	29.0	31.7	1	8	9	2.98E+07	1
L	29.0	18.1	8	3	11	5.04E+07	8	24.2	31.5	4	7	11	7.98E+07	7
M	31.6	36.6	3	8	11	3.20E+07	4	24.1	13.4	6	1	7	5.92E+07	5
N	18.0	41.3	15	6	21	2.27E+08	15	27.0	125.0	2	15	17	3.27E+07	2
O	26.0	12.7	11	1	12	8.43E+07	10	24.0	18.0	7	3	10	5.54E+07	3

^aGenotipo; ^bRendimiento promedio (t ha⁻¹); ^cDistancia respecto CP1; ^dRanking rendimiento; ^eRanking distancia; ^fRanking parámetro de estabilidad (Pi); A: "C003"; B: "C006"; C: "C011"; D: "C014"; E: "C015"; F: "C025"; G: "C026"; H: "C027"; I: "C028"; J: "C032"; K: "C035"; L: "C036"; M: "C040"; N: "C042"; O: "C049".

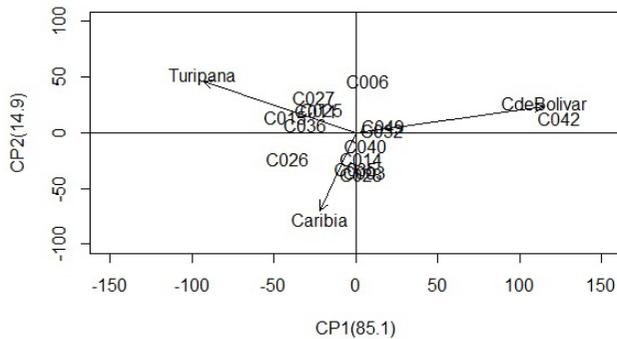


Figura 2. AMMI2 CP2 vs. CP1, para el rendimiento de frutos de segunda categoría de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

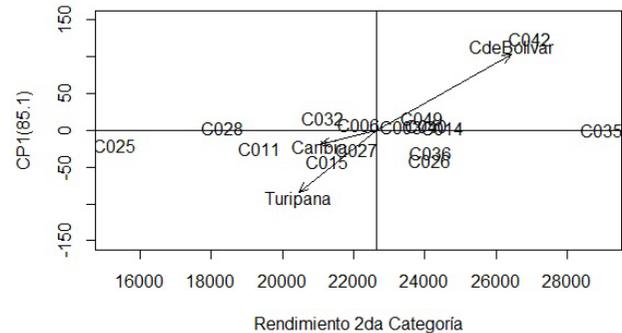


Figura 4. AMMI1 CP1 vs. Rendimiento, para el rendimiento de frutos de segunda categoría de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

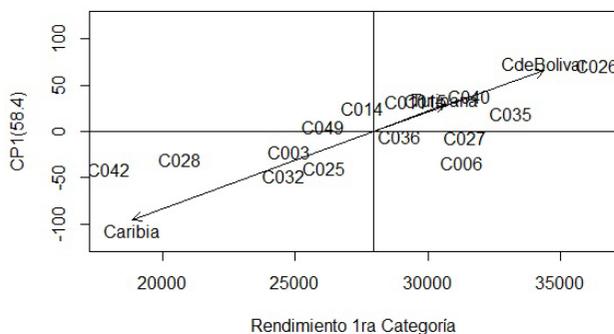


Figura 3. AMMI1 CP1 vs. Rendimiento, para el rendimiento de frutos de primera categoría de 15 genotipos de berenjena evaluados en la Región Caribe.

genotipos de alto y bajo desempeño a través de los ambientes. En el caso de genotipos que presentan amplia variación en su comportamiento a través de los ambientes, el método no es tan preciso y puede ser necesario considerar relacionar la desviación estándar a través de ambientes para cada genotipo respecto el índice de superioridad estimado.

En relación con los ambientes, Yan et al. (2000) señalan que aquellos tratamientos que exhiben entre ellos un ángulo cercano a 90° no guardan relación en la forma de ordenar las variables de clasificación y los que tienen un ángulo cercano a 180° tienden a ordenar de manera inversa. Este caso se presentó entre los

tres ambientes evaluados en este experimento, siendo muy discrepantes entre sí, generando con ello tres macro ambientes, que corresponden a subregiones agroecológicamente muy diferentes de la Región Caribe en Colombia: Sierra Nevada de Santa Marta, Valles aluviales de los ríos Sinú y alto San Jorge, y las Sabanas de Córdoba, Sucre y Bolívar. No obstante, según la clasificación climática de Holdridge (1967), todos ellos corresponden al bosque seco Tropical (bs-T).

Finalmente, el uso de diferentes índices de estabilidad permitió identificar los genotipos con amplia adaptabilidad a los ambientes para la variable asociada con rendimiento. En varias investigaciones (Koundinya et al., 2019; Bhushan y Samnotra, 2017a, b; y Mehta et al., 2011) se han encontrado comportamiento similar con respecto a la estabilidad de la producción de fruta/ha en berenjena.

Conclusiones

Los análisis de estabilidad fenotípica son útiles para identificar diferentes genotipos de berenjena en la Región Caribe en Colombia con destino a los mercados nacional y de exportación. Se espera que en el futuro los productores de esta hortaliza puedan tener genotipos con características promisorias para estos mercados.

Agradecimientos

Al Proyecto Una Variedad de Berenjena Adaptada a las Condiciones del Caribe húmedo y Caribe seco para Mercado de Exportación y Recomendaciones Tecnológicas para su Manejo, desarrollado y financiado por AGROSAVIA.

Referencias

Bhushan, A.; Samnotra, R. K. 2017a. Phenotypic stability studies for fruit yield and biotic stress traits in brinjal *Solanum melongena* L. *Vegetos*, 30, 349-358. <http://doi.org/10.5958/2229-4473.2017.00096.9>

Bhushan, A.; Samnotra, R. K. 2017b. Stability studies for fruit yield and quality traits in brinjal *Solanum melongena* L. *Indian Journal of Agricultural Research*, 51, 375-379. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-4652>

Cadena-Torres, J.; Gómez-Barros, G.; Araméndiz-Tatis, H.; Ibáñez, K. 2011a. C015 y C0129, *Nuevas variedades de berenjena para la Región Caribe*. Corpoica. Editorial Produmedios. Cereté, Córdoba, Colombia. 32 p. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.13140%2FRG.2.2.26806.34881>

Cadena-Torres, J.; Gómez, G.; Martínez-Naar, F.; Ibáñez-Miranda, K., Castillo-Nuñez, O.; Correa,

E. M.; Araméndiz-Tatis, H. 2011b. *Selección de cultivares competitivos de berenjena para los mercados nacionales y de exportación, con adaptación a las condiciones del Caribe Colombiano*: Resumen de resultados. Corpoica. Editorial Produmedios. Cereté, Córdoba, Colombia. 52 p. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12955>

Casanoves, F.; Baldessari, J.; Balzarini, M. 2005. Evaluation of multi-environment trials of peanut cultivars. *Crop Science*, 45(1), 18-26. <http://doi.org/10.2135/cropsci2005.0018>

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2018. *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Eberhart, S. A.; Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. <http://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

Estrada-Salazar, E. I.; Vallejo, F. A.; Ramírez, H.; Espitia-Camacho, M. M. 2010. *Genética vegetal*. Editorial Universidad Nacional de Colombia-sede Palmira. Palmira, Colombia. 460p.

Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), 1488-1500. <http://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0193>

Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 149 p. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf

Koundinya, A. V. V.; Das, A.; Pradeep, P.; Pandit, M. K. 2017. Profiling of growth and yield parameters of eggplant as influenced by the cropping season. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 440-448. <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.051>

Koundinya, A. V. V.; Pandit, M. K.; Ramesh, D.; Mishra, P. 2019. Phenotypic stability of eggplant for yield and quality through AMMI, GGE and cluster analyses. *Scientia Horticulturae*, 247, 216-223. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.019>

Lin, C. S.; Binns, M. R. 1988. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 76, 425-430. <http://doi.org/10.1007/BF00265344>

Mehta, N.; Khare, C. P.; Dubey, V. K.; Ansari, S. F. 2011. Phenotypic stability for fruit yield and its components in rainy season in brinjal *Solanum melongena* L.) of Chhattisgarh plains. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2(1), 77-79. <http://www.ejplantbreeding.org/index.php/EJPB/article/view/1665>

De Mendiburu, F. 2017. Package agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-8. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>

Pandit, M.K.; Thapa, H.; Akhtar, S.; Hazra, P. 2010. Evaluation of brinjal genotypes for growth and reproductive characters with seasonal variation.

- Journal of Crop and Weed*, 6(2), 31–34. <https://www.cropandweed.com/vol6issue2/pdf2005/7.pdf>
- R Core Team. 2018. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sultan, S.E. (1987). Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. In: Hecht M.K., Wallace B., Prance G.T. (eds) *Evolutionary Biology*. Springer, Boston, MA
- Tofiño-Rivera, A. P.; Pastrana-Vargas, I. J.; Melo-Ríos, A. E.; Beebe, S; Tofiño-Rivera, R. 2016. Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de frijol biofortificado en el Caribe seco colombiano. *Corpoica. Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, Vol. 17(3), 309-329. http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:511
- Vaddoria, M. A.; Kulkarni, G. U.; Madariya, R. B.; Dobariya, K. L. 2009. Stability for fruit yield and its component traits in brinjal (*Solanum melongena* L.). *Crop Improvement*, 36(1), 81-87. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103009459>
- Vallejo, F. A.; Espitia, M.; Checa, O.; Lagos, T.; Salazar, F.; Restrepo, E. 2005. *Análisis estadístico para los diseños genéticos en fitomejoramiento*. Editorial Universidad Nacional de Colombia-sede Palmira, Palmira, Colombia. 244 p. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52024>.
- Vargas, E. A.; Vargas, J. E.; Baena, D. 2016. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 72-79. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.43417>
- Yan, W.; Hunt, L. A.; Sheng, Q.; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605. <http://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Yaseen, M.; Eskridge, K. M.; Murtaza, G. 2018. *Stability: Stability Analysis of Genotype by Environment Interaction GEI*. R package version 0.5.0. URL <https://CRAN.R-project.org/package=stability>.
- Zobel, R. W., Wright, M. J.; Gauch, H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3), 388-393. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>