

Estabilidad del rendimiento de grano de variedades de avena de temporal en Valles Altos de México

René Hortelano Santa-Rosa¹

Héctor Eduardo Villaseñor-Mir¹

Salvador Carranza-González^{2,§}

Eliel Martínez-Cruz¹

Yerica Renata Valdez-Rodríguez²

Julio Huerta-Espino¹

1 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250.

2 Colegio de Postgraduados- Campus Montecillo-Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230.

Autor para correspondencia: carranza.salvador@colpos.mx.

Resumen

Se evaluó la estabilidad del rendimiento de grano de 12 variedades de avena en 23 localidades ubicadas en ambientes de temporal de los Valles Altos de México. Se utilizaron dos metodologías para evaluar la estabilidad del rendimiento de grano: parámetros de Eberhart y Russell y análisis AMMI. Los parámetros de estabilidad permitieron discriminar mejor a las variedades a través de la interacción que tuvieron en los ambientes; estos parámetros mostraron resultados similares entre sí, en los cuáles destacó la variedad Ágata por su alto rendimiento, estabilidad y consistencia, en segundo término, destacaron Turquesa y Menonita, mientras que las variedades Cuauhtémoc, Papigochi y Avemex se ubicaron como los genotipos menos adecuados. Los resultados mostraron clasificar las variedades con mayores cualidades para su recomendación y aquellas que ya no tienen potencial para su uso a nivel comercial.

Palabras clave:

Avena sativa L., ambientes de temporal, estabilidad del rendimiento, interacción genotipo x ambiente.



Introducción

El cultivo de avena (*Avena sativa* L.) es el séptimo cereal más importante a nivel mundial, con una producción anual de 18.7 millones toneladas de grano. Su importancia radica en que tiene rusticidad y adaptabilidad a ambientes diversos, a su versatilidad de usos forrajeros y a su uso del grano para consumo humano (FAO, 2024). Desde los comienzos del mejoramiento de los cultivos se ha pretendido privilegiar el desarrollo de variedades con combinaciones genéticas que conjuguen alto rendimiento, mayor calidad y adaptabilidad a diversos entornos de producción (Liu *et al.*, 2016; Mehraj *et al.*, 2017). Los fitomejoradores han trabajado para desarrollar cultivares de buena calidad, consistentes y de alto rendimiento; tales cultivares son tan deseados para adaptarse a una amplia gama de entornos (Mut *et al.*, 2018). Es un cultivo que destaca por ser más apto que otros en tierras marginales, como son las zonas altas y frías, así como en zonas poco fértiles y áridas (Buerstmayr *et al.*, 2007).

En México, en 2023 se sembraron cerca de 352 000 ha de avena forrajera con una producción de 2.9 millones toneladas con un rendimiento promedio de 8.23 t ha^{-1} , mientras que, en los Valles Altos de México, ese año se sembraron cerca de 104 000 ha para forraje obteniéndose un rendimiento medio de 16.6 t ha^{-1} y cerca de 37 000 ha para grano, con un rendimiento medio de 2.4 t ha^{-1} (SIAP, 2024); a nivel nacional, este cultivo es de gran adaptabilidad tanto a zonas altas, frías y lluviosas, como en ambientes semiáridos y es una alternativa cuando cultivos como maíz, frijol, trigo o cebada se siniestran por sequía o heladas tempranas (Villaseñor *et al.*, 2021).

La estabilidad del rendimiento no se puede medir directamente en un experimento de campo en un año, debe evaluarse en diversas localidades o ambientes y por varios años (Reckling *et al.*, 2021), este concepto es de utilidad para los fitomejoradores que desarrollan genotipos adaptados a una amplia gama de condiciones ambientales (Mühleisen *et al.*, 2014), aunado a que en los últimos años, hay una mayor variabilidad de las condiciones climáticas, lo cual se asocia con una menor estabilidad de los rendimientos de los cultivos (Müller *et al.*, 2018; Tigchelaar *et al.*, 2018).

Para el estudio de interacción genotipo \times ambiente (IGA), de todos los análisis estadísticos desarrollados, los más usados son los modelos del GGE biplot y la Interacción multiplicativa del efecto principal aditivo (AMMI) (Dyulgerova *et al.*, 2020). El modelo AMMI es eficiente porque captura gran parte de la suma de cuadrados de la IGA, separa con precisión los efectos principales y proporciona una interpretación significativa de los datos (Ebdon y Gauch, 2002); asimismo, permitieron comprender las interacciones de la IGA de genotipos en múltiples ambientes (Luo *et al.*, 2015).

Ante este panorama, se requiere de estudios que conlleven a generar materiales de avena que cumplan con los requerimientos mencionados anteriormente. Este trabajo se conceptualiza como una herramienta para la elección de materiales a sembrar y así lograr impactar de manera positiva en la producción; por lo tanto, los objetivos fueron determinar la estabilidad del rendimiento de grano de variedades de avena a través de ambientes de temporal en los Valles Altos del Centro de México e identificar variedades con alto rendimiento, estables y consistentes.

Materiales y métodos

En el estudio se utilizó la información de 12 variedades de avena liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Avena del INIFAP, las cuales fueron evaluadas bajo condiciones de temporal, bajo un diseño experimental en bloques completos con tratamientos aleatorizados (DBCTA) con dos repeticiones. El tamaño de la parcela experimental fue de cuatro hileras de tres metros de longitud espaciadas a 30 cm entre cada una, siendo la parcela útil el total de la parcela experimental (4.5 m^2). Se evaluaron las variables agronómicas días a floración (DF), días a madurez fisiológica (DM), altura de planta (AP) y rendimiento de grano (REND), sin embargo, para el presente estudio la variable de interés es REND.

El manejo agronómico del cultivo siguió los lineamientos recomendados por el INIFAP de acuerdo con cada región. Cada variedad se estableció en 23 ambientes, los cuales se han catalogado,

de acuerdo a las condiciones que presentan, la clasificación propuesta por Villaseñor y Espitia (2000), quienes consideran: ambientes favorables, aquellos con precipitación mayor a los 600 mm durante la estación de crecimiento y bien distribuida, suelos con buena retención de humedad, bajas temperaturas al final del ciclo y humedad relativa alta durante ambientes intermedios, con precipitación que oscila de 400 a 600 mm durante la estación de crecimiento y regularmente distribuida, suelos con regular retención de humedad y temperaturas bajas al final del ciclo. Ambientes críticos, con precipitación menor a 400 mm durante la estación de crecimiento y mal distribuida, suelos delgados con baja retención de humedad y temperaturas bajas a final del ciclo. En el Cuadro 1 se agrupan las localidades evaluadas de acuerdo con el tipo de ambiente al que pertenecen, así como la media de las variables evaluadas promedio de las 12 variedades.

Cuadro 1. Medias de variables evaluadas de 12 variedades de avena, en 23 ambientes y por tipo de ambiente en Valles Altos.

TA	NLoc	Localidad	REND	DF	DM	AP
Favorables	20	Tlalmanalco, México	2 946	61	-	115
	9	Juchitepec, México	2 749	65	125	104
	23	Santa Lucía, México	2 337	60	-	98
	11	Nanacamilpa, Tlaxcala	2 169	-	-	99
	19	Miraflores, México	2 125	60	100	99
	2	Nanacamilpa, Tlaxcala	2 081	68	-	125
	16	Chapingo 1F, México	2 080	65	99	105
	18	Nanacamilpa, Tlaxcala	2 079	63	-	116
	Medias para favorables		2 320.7	63.1	108	107.6
Intermedios	17	Chapingo 2F, México	1 941	56	98	100
	15	Tlalmanalco, México	1 774	-	117	99
	7	Tlalmanalco, México	1 727	61	100	111
	8	Coatepec, México	1 726	65	100	108
	22	Terrenate, Tlaxcala	1 534	62	110	94
	12	Fco. I. Madero, Tlaxcala	1 527	61	104	104
	14	Coatepec, México	1 520	59	-	100
	Medias para intermedios		1 603.8	60.6	104.8	102.2
Críticos	5	Chapingo, México	1 419	58	95	117
	6	Santa Lucía, México	1 415	59	116	122
	21	Chapingo, México	1 207	54	-	108
	4	Velasco, Tlaxcala	1 099	63	113	95
	10	Santa Lucía, México	977	57	111	94
	3	Terrenate, Tlaxcala	965	61	113	93

TA	NLoc	Localidad	REND	DF	DM	AP
	1	Soltepec, Tlaxcala	947	65	115	114
	13	Soltepec, Tlaxcala	916	60	108	93
	Medias		1 147	59.5	110.5	106.1
	para críticos					
	Tukey ($\alpha=0.05$)		481.2	2.7	2.3	7.6

TA= tipo de ambiente; NLoc= número de localidad; DF= días a floración; DM= días a madurez; ALT= altura de planta en cm; REND= rendimiento de grano; - = no hay datos.

Material biológico

Se utilizaron las variedades Ágata, Jade, Turquesa, Obsidiana, Avemex, Karma, Teporaca, Menonita, Papigochi, Diamante R31, Cuauhtémoc y Chihuahua, liberadas por el INIFAP en distintas épocas.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico y generación de los parámetros de estabilidad se utilizó el programa genotype \times environment analysis with R for Windows (GEA-R) versión 1.2 desarrollado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Para evaluar la interacción genotipo \times ambiente (IGA) se utilizó el análisis AMMI, que es un modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa propuesto por Gauch y Zobel (1988).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los valores obtenidos para cada metodología, donde es posible observar que para Eberhart y Russell (1966) se utilizan los coeficientes de regresión y la desviación de la regresión. Asimismo, se hizo uso de las posibles situaciones que pueden tomar los valores de los parámetros de estabilidad.

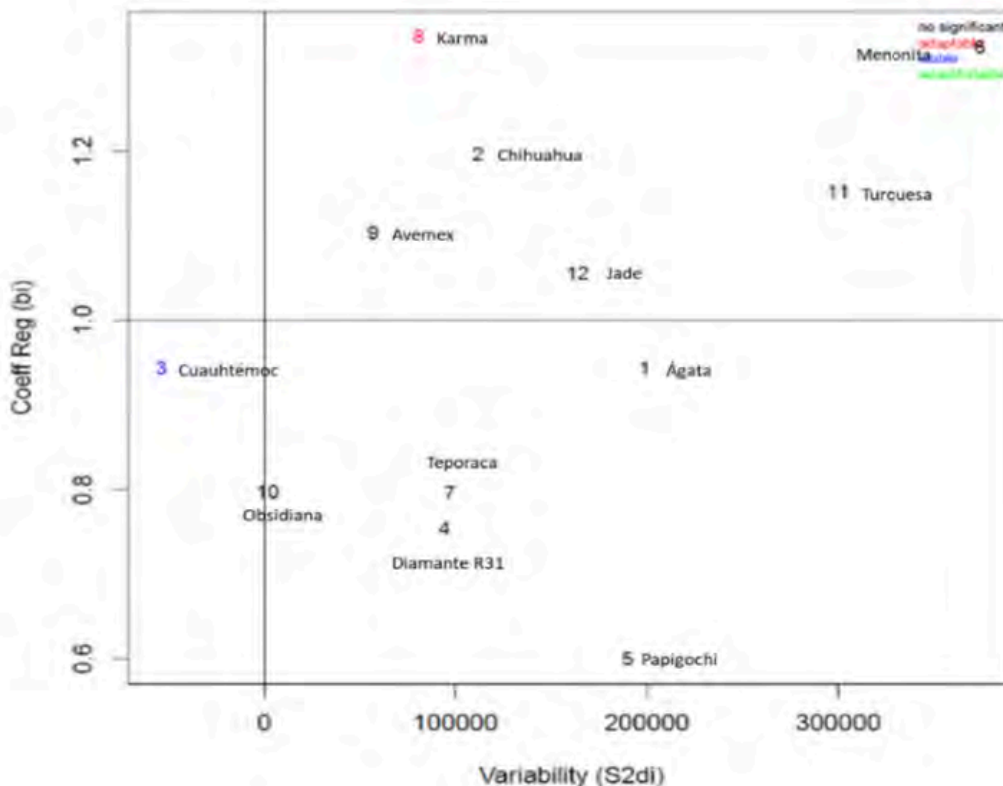
Cuadro 2. Parámetros de estabilidad evaluados para las 12 variedades de avena de acuerdo con Eberhart y Russell (1966) y clasificación de Carballo y Márquez (1970), en 23 ambientes.

Genotipo	Media	Eberhart y Russell		Clasificación
		bi	S ² di	
Ágata	2 488.3	0.944	198749.04	E
Turquesa	2 177.5	1.153	300013.31	E
Menonita	2 064.8	1.323	374888.09	TI
Teporaca	1 814.5	0.795	97099.58	DI
Diamante R31	1 807.8	0.754	94304.54	DI
Jade	1 652.3	1.056	163836.25	E
Karma	1 638.3	1.336	80806.1	TI
Chihuahua	1 622.7	1.196	111782.33	E
Obsidiana	1 593	0.797	1850.8	DI
Cuauhtémoc	1 243.3	0.944	-53690.23	E
Avemex	1 178.8	1.104	57027.51	E
Papigochi	1 168.5	0.6	190106.34	DI

Media= media de rendimiento de grano en general; bi= coeficiente de regresión; S²di= desviación de la regresión, clasificación otorgada por Carballo y Márquez (1970); E= variedad estable; DI= buena respuesta en ambientes desfavorables e inconsistentes; TI= responde bien en todos los ambientes, pero inconsistente.

La Figura 1 muestra los resultados graficados y obtenidos a través de los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell, donde se observa el comportamiento de las 12 variedades por medio de los coeficientes de regresión y la desviación de la regresión; si el coeficiente de regresión (b_i) está cerca de 1, se consideran genotipos adaptables, si la desviación de la regresión (S^2_{di}) se encuentra cerca de cero, son genotipos estables.

Figura 1. Parámetros de estabilidad de rendimiento (coeficiente de regresión, b_i y variabilidad o desviación de la regresión, S^2_{di}) obtenidos por medio del análisis de Eberhart y Russell (1966).



Eberhart y Russell enfatizaron en considerar los componentes lineales (b_i) y no lineales (S^2_{di}) de las interacciones GxA al juzgar la estabilidad de un genotipo (Akcura *et al.*, 2005). De acuerdo con lo obtenido, se destaca que la variedad 3 (Cuauhtémoc) se considera estable, pero de bajo rendimiento, mientras que la variedad 8 (Karma), la clasificación de Carballo y Márquez (1970), responde bien en todos los ambientes, pero es inconsistente; el resto de las variedades no muestran comportamiento significativo. Similarmente las desviaciones de regresión son diferentes de cero, lo cual coincide con Rodríguez *et al.* (2002), quienes determinaron que el modelo lineal no es apropiado para describir la respuesta de los genotipos en función del efecto ambiental, según este criterio, los genotipos mencionados no serían estables.

Rodríguez *et al.* (2002), expresaron que coeficientes de regresión inferiores $b_i < 1$, se trata de genotipos con adaptación relativa a ambientes desfavorables, mientras que genotipos con valores de $b_i > 1$, indican que responden de manera adecuada a mejoras ambientales. En el presente estudio, las variedades Obsidiana, Teporaca, Diamante R31 y Papigochi, tienen coeficientes de regresión inferiores a 1, lo cual las convierte en variedades que responden mejor en ambientes desfavorables; mientras que Avemex, Chihuahua, Karma, Turquesa y Menonita, con coeficientes de regresión igual o mayores a 1, se consideran genotipos que responden de manera adecuada a mejores ambientes.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis AMMI, que de acuerdo con la prueba de Gollob (Vargas y Crossa, 2000), cinco componentes principales representan variabilidad de importancia; el primero solo considera el 34.57% de la variabilidad de la IGA, o bien, de la suma de cuadrados de esta fuente de variación, por lo que la discriminación de genotipos mediante esta técnica de estudio, puede ser un tanto limitada, coincidiendo con los resultados reportados por Dyulgerova *et al.* (2020), demostrando la necesidad de realizar pruebas en diversos ambientes para identificar líneas estables y de alto rendimiento; asimismo, García *et al.* (2021) mencionan que se puede apreciar la ventaja del modelo AMMI en identificar genotipos con rendimientos superiores y de alta estabilidad, de aquellos con rendimientos medios, pero con adaptación específica.

Cuadro 3. Análisis AMMI para rendimiento de grano de 12 variedades de avena evaluadas en 23 ambientes de temporal de Valles Altos.

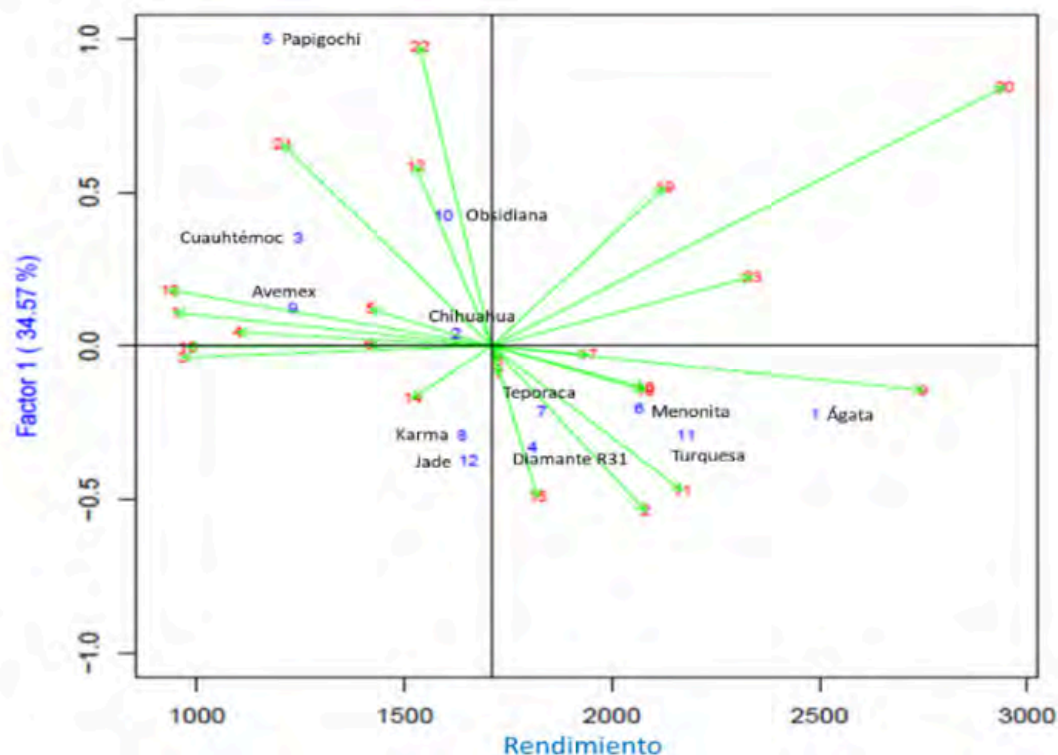
	gl	SC	CM	Porcentaje 1 (%)	Porcentaje 2 (%)
Ambientes	22	168683184.5	7667417.48**	45.37	45.37
Genotipos	11	81600679.03	7418243.55**	21.95	67.31
Ambientes*Genotipos	242	121542828.22	502243.09**	32.69	100
PC1	32	36747195.51	1148349.86**	34.57	34.57
PC2	30	18998510.23	633283.67**	17.87	52.44
PC3	28	14258880.65	509245.74**	13.41	65.85
PC4	26	11104541.8	427097.76*	10.45	76.3
PC5	24	9147989.78	381166.24*	8.61	84.9
PC6	22	4921587.26	223708.51ns	4.63	89.53
PC7	20	3803492.72	190174.64ns	3.58	93.11
PC8	18	3238951.84	179941.77ns	3.05	96.16
PC9	16	1892125.45	118257.84ns	1.78	97.94
PC10	14	1216636.44	86902.6ns	1.14	99.08
PC11	12	976319.58	81359.97ns	0.92	100
PC12	10	0	0	0	100
Residual	273	56332109	206344.72	0	0

gl= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrado medio, Porcentaje 1 (%)= porcentaje de la suma de cuadrados de cada termino con respecto al total de la interacción genotipo × ambiente de cada término AMMI; Porcentaje 2 (%)= porcentaje de la suma de cuadrados total de la interacción genotipo × ambiente de cada término AMMI, pero acumulados hasta el término respectivo.

La Figura 2, muestra los resultados del análisis AMMI de las 12 variedades evaluadas en los 23 ambientes obtenidos a partir del Cuadro 2. La interpretación de los resultados se facilita con la representación gráfica (GGE Biplot) de genotipos y ambientes. En el eje de las abscisas, se lee el rendimiento de grano de los genotipos y ambientes.



Figura 2. GGE biplot del análisis AMMI para rendimiento de grano de 12 variedades de avena evaluadas en 23 ambientes de temporal de Valles Altos.



La línea perpendicular a este eje indica el rendimiento medio, por lo cual a la izquierda de este se grafican las entradas con menor rendimiento y a la derecha, se localizan las variedades y ambientes de mayor rendimiento. Por otro lado, el eje de las ordenadas mide la estabilidad de los genotipos y ambientes: aquellos con valores cercanos a cero son estables, mientras los que presentan valores altos del primer componente principal son inestables. Generalmente las recomendaciones de los mejores se basan en el desempeño medio de los genotipos a través de los ambientes (Adnan *et al.*, 2020); asimismo, el gráfico biplot permite seleccionar genotipos estables y superiores en múltiples entornos como lo afirma Khan *et al.* (2021).

De acuerdo con la información generada, las variedades Chihuahua y Avemex fueron las más estables, pero registraron rendimientos bajos, mientras que las variedades Ágata, Menonita y Turquesa fueron las más estables y las que registraron mayores rendimientos, aunque es evidente la mayor productividad de Ágata. Por otra parte, las variedades Cuauhtémoc, Diamante R31, Papigochi, Karma, Obsidiana y Jade fueron las más inestables al estar alejadas del valor cero del eje Y (2) y algunas de ellas registrando los menores rendimientos.

El ambiente 20 (Tlalmanalco, México) registró mayor rendimiento y al ser el del vector de mayor magnitud, se infiere que discriminó de mejor forma a los genotipos, comparado con el ambiente 13 (Soltepec, Tlaxcala) que fue el que registró menor rendimiento. Los ambientes 5, 6, 7, 8 y 14 registraron los menores vectores, por lo cual fueron los que no discriminaron genotipos, es decir la mayoría de éstos mostraron una respuesta similar.

Mediante el análisis AMMI, las variedades que resultaron ser de mayor estabilidad y rendimiento fueron Ágata, Turquesa y Menonita, ya que sus valores del componente de rendimiento se ubicaron dentro de los parámetros que este modelo establece, lo que en su momento permite indicar que la prueba es adecuada para la presente investigación.

Una de las pruebas más comunes para determinar la estabilidad en los genotipos a través de ambientes es la de Eberhart y Russell (1966), mediante la cual para el presente estudio, se determinó que las variedades que mostraron estabilidad fueron Ágata, Jade y Cuauhtémoc, mientras que las variedades menos estables, pero con adaptación a ambientes desfavorables fueron Obsidiana, Teporaca, Diamante R31 y Papigochi; en tanto que las variedades Chihuahua, Karma, Turquesa, Menonita y Avemex mejoraron su desempeño conforme se mejora el ambiente, combinación de precipitación, humedad en el suelo conforme lo reportan Villaseñor y Espitia (2000), ya que en estas últimas su *bi* fue mayor que la unidad.

Ágata fue la variedad más sobresaliente con los análisis de varianza convencionales, expresándose como una variedad de alto rendimiento, tal y como lo señalan Villaseñor *et al.* (2018), esta investigación la describió como una variedad con la mejor respuesta en todos los ambientes, pero inconsistente, lo cual no es adecuado, ya que la consistencia a través de ambientes es importante en los Valles Altos de México.

Conclusiones

La evaluación de las variedades en diversos ambientes contrastantes permitió discriminarlas de la mejor forma, ya que todas presentaron significancia en la IGA. Los resultados de los métodos para determinar estabilidad no fueron consistentes; sin embargo, coinciden en señalar a la variedad Ágata como la más estable y de alto rendimiento y las variedades Papigochi, Jade y Karma fueron las más inestables. Con la implementación de estas metodologías se propone seguir recomendando variedades estables y de alto rendimiento, como Ágata y dejar de utilizar a Papigochi, Cuauhtémoc y Avemex por inestables, inconsistentes y de bajo rendimiento.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento de la investigación a través del proyecto fiscal: 'generación de variedades de avena para incrementar la productividad en México' con número de SIGI 9165636496.

Bibliografía

- 1 Adnan, A. A.; Diels, J.; Jibrin, J. M.; Kamara, A. Y.; Shaibu, A. S.; Craufurd, P. and Menkir, A. 2020. CERES-maize model simulating genotype-by-environment interaction of maize and its stability in the dry and wet savannas of Nigeria. *Field Crops Research*. 253:107826. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107826>.
- 2 Akcura, M.; Ceri, S.; Taner, S.; Kaya, Y. Ozer, E. and Ayranci, R. 2005. Grain yield stability of winter oat (*Avena sativa* L.) cultivars in the central Anatolian region of Turkey. *Journal of Central European Agriculture*. 6(3):203-210.
- 3 Buerstmayr, H.; Krenn, N.; Stephan, U. Grausgruber, H. and Zechner, E. 2007. Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions. *Field Crops Research*. 101(3):343-351. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.011>.
- 4 Carballo, C. A.; Márquez, S. F. y Molina, G. J. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y de la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. 5(1):129-146.
- 5 Dyulgerova, B. and Savova, T. 2020. Genotype by environment interaction for grain yield in winter oat. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 26(5):992-997.
- 6 Ebdon, J. S. and Gauch, H. G. 2002. Additive mean effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: 1. Interpretation of genotype x environmental interaction. *Crop Science*. 42(2):489-496.

- 7 Eberhart, S. T. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. Crop Science. 6(1):36-40.
- 8 FAO. 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistics. Rome, Italy. www.fao.org/statistics/es/.
- 9 García, M. P. J.; Pérez, A. I. B.; Prieto, R. G. P.; Medina, C. D. E.; Sánchez, D. M.; Marín, R. C. A. y Medina, H. A. E. 2021. Interacción genotipo ambiente y potencial productivo de 25 variedades de maíz amarillo en la provincial de Tayacaja, Perú. Bioagro. 33(2):67-69.
- 10 Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. Theoretical and Applied Genetics. 76(1):1-10. <https://doi.org/10.1007/BF00288824>.
- 11 Kahn, M. M. H.; Rafii, M. Y.; Ramlee, S. I.; Jusoh, M. and Al Mamun, M. 2021. AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc) genotypes under the multi-environmental trials (METs). Scientific reports. 11(1):1-17. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01411-2>.
- 12 Liu, H.; Gan, W.; Rengel, Z. and Zhao, P. 2016. Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 16(2):550-562. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000045>.
- 13 Luo, J.; Pan, Y. B.; Que, Y.; Zhang, H.; Grisham, M. P. and Xu, L. 2015. Biplot evaluation of test environments and identification of mega-environment for sugarcane cultivars in China. Sci Rep. 5(15505):1-11. <https://doi.org/10.1038/srep15505>.
- 14 Mehraj, U.; Abidi, I. and Ahmad, M. 2017. Stability analysis for physiological traits, grain yield and its attributing parameters in oats (*Avena sativa* L.) in the Kashmir Valley. Electronic Journal of Plant Breeding. 8(1):59-62.
- 15 Mühleisen, J.; Piepho, H. P.; Maurer, H. P.; Longin, C. F. H. and Reif, J. C. 2014. Yield stability of hybrids versus lines in wheat, barley and triticale. Theor Appl Genet. 127(2):309-316. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2219-1>.
- 16 Müller, C.; Elliott, J.; Pugh, T. A. M.; Ruane, A. C.; Ciais, P.; Balkovic, J.; Deryng, D.; Folberth, C.; Izauralde, R. C.; Jones, C. D.; Khabarov, N.; Lawrence, P.; Liu, W.; Reddy, A. D.; Schmid, E. and Wang, X. 2018. Global patterns of crop yield stability under additional nutrient and water inputs. PLoS One. 13(6):1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198748>.
- 17 Mut, Z.; Akay, H. and Erbas Köse, Ö. D. 2018. Grain yield, quality traits and grain yield stability of local oat cultivars. Journal of soil science and plant nutrition. 18(1):269-281. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001001>.
- 18 Reckling, M.; Ahrends, H.; Chen, T. W.; Eugster, W.; Hadasch, S.; Knapp, S.; Laidig, F.; Linstädter, A.; Macholdt, J.; Piepho, H. P.; Schiffrers, K. and Döring, T. 2021. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. Agron. Sustain. Dev. 41(27):1-28. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00681-4>.
- 19 Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. and Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Revista Fitotecnia Mexicana. 25(2):143-151.
- 20 SIAP. 2024. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario 2024. <http://www.siap.gob.mx>.
- 21 Tigchelaar, M.; Battisti, D. S.; Naylor, R. L. and Ray, D. K. 2018. Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. Proc Natl Acad Sci USA. 115(26):6644-6649. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718031115>.
- 22 Vargas, H. M. y Crossa, J. F. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del Biplot en SAS. Unidad de biometría. CIMMYT. México. 46 p. .

- 23 Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productivas de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In: el trigo de temporal en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Instituto, Nacional de Investigaciones, Forestales (INIFAP), Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA), Centro de Investigación del Centro, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México. 85-98 p.
- 24 Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta, E. J.; Osorio, A. L.; Hortelano, S. R.; Martínez, C. E. and Rodríguez, G. M. F. 2018. Ágata: nueva variedad de avena (*Avena sativa* L.) para la producción de grano en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(5):1083-1088. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1512>.
- 25 Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Rodríguez, G. M. F.; Hortelano, S. R. R.; Espitia, R. E. y Martínez, C. E. 2021. Mejoramiento genético de avena en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(25):21-25. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2808>.



Estabilidad del rendimiento de grano de variedades de avena de temporal en Valles Altos de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 1 September 2025
Date accepted: 1 November 2025
Publication date: 13 December 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3940
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3940

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Avena sativa L.
ambientes de temporal
estabilidad del rendimiento
interacción genotipo × ambiente

Counts

Figures: 4
Tables: 6
Equations: 0
References: 25