

Estabilidad del rendimiento y niveles de infección de roya amarilla en trigos de temporal en México

Héctor Eduardo Villaseñor-Mir¹

René Hortelano Santa-Rosa¹

Luis Antonio Mariscal-Amaro^{2,§}

Yérica Renata Valdez-Rodríguez³

Julio Huerta-Espino¹

Lourdes Ledesma-Ramírez²

1 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250. Tel. 800 0882222, ext. 85357. (villasenor.hector@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; j.huerta@cgiar.org).

2 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110, ext. 85217. (ledesma.lourdes@inifap.gob.mx).

3 Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (yrvaldezr@gmail.com).

Autor para correspondencia: mariscal.luis@inifap.gob.mx

Resumen

La roya amarilla es el factor biótico que más afecta el rendimiento de trigos de temporal en los Valles Altos de México, y actualmente, la estrategia de manejo más efectiva de esta enfermedad es el uso de variedades resistentes las cuales también deben ser estables en rendimiento de grano al estar expuestas a esta roya. Con el objetivo de conocer la correlación que existe entre la estabilidad del rendimiento y la severidad de roya amarilla, entre 2017 al 2020, se establecieron ensayos en 37 localidades de los Valles Altos de México donde se evaluaron 14 genotipos de trigo. Se analizó la correlación entre rendimiento y la incidencia de roya amarilla y se determinaron diferentes parámetros de estabilidad. Se encontró una correlación moderada negativa entre el rendimiento y la incidencia de la enfermedad. Las líneas avanzadas Kone 's', Nely 's', Terre 's', y las variedades Texcoco F2016 y Valles F2015 fueron las más estables en rendimiento y las más resistentes a la roya, mientras que las menos estables, así como las más susceptibles a la enfermedad fueron Náhuatl F2000, Triunfo F2004 y Nana F2007 por lo que ya no deben recomendarse para su siembra.

Palabras clave:

Puccinia striiformis, *Triticum aestivum*, correlación, Valles Altos.



Introducción

A nivel mundial, la producción de trigo se ha visto afectada por los altos costos de los insumos, sequías extremas y las enfermedades, lo que ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria de la población para la adquisición de este grano (The World Bank, 2024). En México, la roya amarilla (*Puccinia striiformis* W) es la enfermedad que más afecta al cultivo en los Valles Altos del Centro de México, siendo esta región de las más importantes en cuanto a producción de este cereal. Por la presencia de nuevas razas de roya amarilla en 2014 que causaron pérdidas de rendimiento del 84% (Díaz *et al.*, 2018) la producción de trigo se redujo a 65 551 t reportadas en 2023 (SIAP, 2024).

Para retomar la producción nacional se requiere de variedades con resistencia a la roya amarilla, que también tengan buen rendimiento de grano y que este carácter no se afecte cuando sean sembradas en condiciones climáticas variadas.

El desarrollo de variedades estables en rendimiento y con resistencia a roya amarilla es uno de los propósitos del Programa de Trigo del INIFAP, ya que esto asegura la producción de este grano en diferentes ambientes, aun cuando la incidencia de roya sea alta (Villaseñor, 2015). En México no existe información sobre la correspondencia entre la estabilidad del rendimiento de genotipos de trigo y la roya amarilla.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue conocer la correlación que existe entre los parámetros de estabilidad del rendimiento de grano y el porcentaje de severidad de roya amarilla medidos en diferentes ambientes de temporal. Este análisis de estabilidad puede ser útil como una herramienta para la selección de genotipos sobresalientes.

Materiales y métodos

Se evaluaron 14 genotipos de trigo de temporal (11 variedades y tres líneas avanzadas) del Programa de Trigo del INIFAP (Cuadro 1). Los genotipos se establecieron en ensayos en 37 localidades de los estados de México, Tlaxcala, Oaxaca y Puebla, durante los ciclos de primavera-verano (PV) del 2017 al 2020 (Cuadro 2). Dichas localidades están clasificadas como ambientes favorables e intermedios para el cultivo por su precipitación media anual de entre 400 a 600 mm (Villaseñor y Espitia, 2000).

Cuadro 1. Genotipos de trigo evaluados en los ensayos de temporal establecidos en los ciclos de primavera-verano durante 2017 al 2020.

Genotipos [†]	
Temporalera M87	Nana F2007
Romoga F96	Don Carlos M2015
Náhuatl F2000	Valles F2015
Tlaxcala F2000	Texcoco F2016
Rebeca F2000	Kone 's'
Triunfo F2004	Nely 's'
Altiplano F2007	Terre 's'

[†] = la letra después del nombre indica su tipo de gluten y año de liberación. F= fuerte; M= medio; 's'= línea avanzada.

Cuadro 2. Localidades donde se establecieron los ensayos durante los ciclos de primavera-verano de los años 2017 al 2020.

Localidades					
1	Juch17 [†]	Juchitepec, Méx. 17	20	Terre19	Terrenate, Tlax. 19
2	Tlal17	Tlalmanalco, Méx. 17	21	Mox19	Moxolahuac, Pue. 19

Localidades					
3	Mira17	Miraflores, Méx. 17	22	Nana19	Nanacamilpa, Tlax. 19
4	Terre17	Terrenate, Tlax. 17	23	Mir19	Miraflores, Méx. 19
5	Nana17	Nanacamilpa, Tlax. 17	24	Tlal19	Tlalmanalco, Méx. 19
6	Ixta17	Ixtafiyuca, Tlax. 17	25	Juch19	Juchitepec, Méx. 19
7	Cha1F ^{††} 17	Chapingo, Méx. 1F17	26	Cha19	Chapingo, Méx. 19
8	Cha2F ^{†††} 17	Chapingo, Méx. 2F17	27	Luc1F19	Sta. Lucía, Méx. 1F19
9	Luc1F17	Sta. Lucía, Méx. 1F17	28	Luc2F19	Sta. Lucía, Méx. 2F19
10	Luc2F17	Sta. Lucía, Méx. 2F17	29	Yan19	Yanhuitlán, Oax. 19
11	Juch18	Juchitepec, Méx. 18	30	Cha1F20	Chapingo, Méx. 1F20
12	Mir1f18	Miraflores, Méx. 1F18	31	Cha2F20	Chapingo, Méx. 2F20
13	Mir2F18	Miraflores, Méx. 2F18	32	Luc1F20	Sta. Lucía, Méx. 1F20
14	Nana18	Nanacamilpa, Tlax. 18	33	Luc2F20	Sta. Lucía, Méx. 2F20
15	Terre18	Terrenate, Tlax. 18	34	Terre20	Terrenate, Tlax. 20
16	Cha1F18	Chapingo, Méx. 1F18	35	Nan1F20	Nanacamilpa, Tlax. 1F20
17	Cha2F18	Chapingo, Méx. 2F18	36	Nan2F20	Nanacamilpa, Tlax. 2F20
18	Luc18	Sta. Lucía, Méx. 18	37	Juch1F20	Juchitepec, Méx. 1F20
19	Yan18	Yanhuitlán, Oax. 18			

[†] = 17, 18, 19, 20= años 2017, 2018, 2019 y 2020; ^{††} = 1F= primera fecha de siembra; ^{†††} = 2F= segunda fecha de siembra.

Los ensayos se establecieron bajo el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con dos repeticiones. La parcela experimental fueron cuatro surcos separados a 0.3 m, con una cama de siembra de 1.5 m x 3 m largo, siendo la parcela útil el total de la parcela experimental (4.5 m²).

Se tomaron las variables rendimiento de grano en kg ha⁻¹ (REND) y el porcentaje de roya amarilla (Yr) que se registró con la escala visual modificada de Cobb (Roelfs *et al.*, 1992), realizando la primera lectura en la etapa de hoja bandera y posteriormente tomando lecturas cada 10 a 15 días hasta madurez fisiológica, reportándose para el presente estudio la lectura final.

Se realizó un análisis de varianza combinado con sus interacciones y una comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$). Se hizo un análisis de correlación entre las variables, un análisis de estabilidad para rendimiento de grano mediante la desviación estándar (Si) y el coeficiente de variación (CVi) propuestos por Francis y Kannenberg (1978), los índices de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) y los índices de superioridad de Lin y Binns (1988), utilizando el paquete SAS versión 9.2 para Windows.

Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se muestra el análisis de varianza de las 37 localidades donde se observaron diferencias altamente significativas entre localidades, genotipos y en la interacción localidad x genotipo (GxA) para las variables evaluadas. Como lo menciona Hortelano *et al.* (2013), este análisis confirmó el contraste que existe entre los ambientes de producción de trigo de temporal donde los genotipos se comportan diferente al cambiarse de ambiente.

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables evaluadas en genotipos de trigo evaluados en ambientes de temporal durante los ciclos PV 2017 al 2020.

FV	gl	REND	Yr
Loc	36	44 900 269**	1 399.12**
Rep (Loc)	1	52 260 27	85.71

FV	gl	REND	Yr
Gen	13	301 452 54**	19 037.79**
Loc*Gen	468	480 105**	103.92**
Error	517	275 558	34.96
Total	1035		
CV (%)		14.56	29.07
Media		3 604.7 [†]	20.3 ^{††}

PV= primavera-verano; FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; REND[†]= rendimiento de grano; Yr^{††}= roya amarilla; ** = diferencias altamente significativas.

Los resultados de Eberhart y Russell (1966) mencionan que las interacciones G×A son importantes para el desarrollo de variedades; sin embargo, cuando estas se siembran en ambientes diversos su categorización difiere lo que causa dificultad para observar su superioridad. Para solucionar este problema se requiere detectar genotipos estables que interactúen menos con los ambientes donde se siembran, y que se clasifiquen así mediante parámetros de estabilidad como los que se determinaron más adelante.

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de medias para las diferentes localidades, en donde se observa que el rendimiento promedio varió de 2 a 7.4 t ha⁻¹ y el porcentaje de roya amarilla osciló entre 6.8 a 43.8%.

Cuadro 4. Medias generales de rendimiento de grano y porcentaje de roya amarilla en 14 genotipos de trigo evaluados en 37 localidades de temporal durante los ciclos PV 2017 al 2020.

Localidad	REND	Yr	Localidad	REND	Yr
Juch17	3 905 ghi	20.5 defghij	Terre19	4 130 fgh	15.1 ijkl
Tlal17	2 003 s	36.7 b	Mox19	5 396 cd	20.2 efghij
Mira17	2 553 pqr	43.8 a	Nana19	4 580 ef	25.5 cde
Terre17	2 631 opqr	23.9 cdef	Mir19	4 594 ef	24.6 cdef
Nana17	2 305 qrs	15.5 ijk	Tlal19	6 704 b	20.1 efghij
Ixta17	2 713 opqr	20 efghij	Juch19	5 394 cd	16.4 hijk
Cha1F17	2 426 qrs	18.6 fghij	Cha19	3 303 jklmn	23.5 cdef
Cha2F17	3 453 ijkl	14.8 ijkl	Luc1F19	5 655 c	21.8 cdefgh
Luc1F17	3 358 jklm	15.3 ijkl	Luc2F19	2 753 opqr	19.6 efghij
Luc2F17	3 140 jklmno	11.5 klm	Yan19	3 034 lmnop	19.8 efghij
Juch18	3 520 ijkl	6.8 m	Cha1F20	3 317 jklmn	20 efghij
Mir1F18	4 996 ed	8.07 m	Cha2F20	2 739 opqr	26.4 cd
Mir2F18	4 228 fg	25.3 cde	Luc1F20	2 456 qrs	15.4 ijkl
Nana18	2 786 nopqr	18.7 fghij	Luc2F20	2 031 qrs	20.6 defghi
Terre18	3 632 hijk	27.3 c	Terre20	2 818 mnopqr	22.4 cdefgh
Cha1F18	3 099 klmno	22.6 cdefg	Nan1F20	3 652 hij	21.6 cdefgh
Cha2F18	4 073 fgh	9.3 lm	Nan2F20	2 277 rs	27.4 c
Luc18	3 164 jklmno	14.5 jkl	Juch1F20	7 450 a	22.3 cdefgh
Yan18	2 839 mnopq	16.8 ghijk			

[†] REND= rendimiento de grano en kg ha⁻¹; ^{††}Yr= porcentaje de roya amarilla; medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Con estos resultados se formaron tres grupos de respuesta para localidades: 1) con los mayores rendimientos, $\bar{x}=5\,932\text{ kg ha}^{-1}$, p ej, Juchi1F20, Tlal19 y Luc1F19 con un porcentaje promedio de roya amarilla del 18%; 2) con rendimientos intermedios, $\bar{x}=3\,658\text{ kg ha}^{-1}$, Juch17, Nan1F20 y Terre18 con un porcentaje promedio de roya amarilla del 19%; y 3) con los menores rendimientos,

\bar{x} = 2 543 kg ha⁻¹, Mira17, Luc1F20 y Cha1F17 con un porcentaje promedio de roya amarilla del 23%. Lo anterior, sugiere que a mayores porcentajes de roya se esperan menores rendimientos y viceversa, tendencia observada por Ramírez *et al.* (2016) al evaluar trigos de temporal y por González y Rodríguez (2023) en cebada atacada por la roya de la hoja.

En el Cuadro 5 se presenta el rendimiento de grano y el porcentaje de roya amarilla observado en los genotipos, donde Kone 's', Nely 's' y Terre 's' superaron hasta con 1.4 ton a Nana F2007, Triunfo F2004 y Náhuatl F2000 consideradas como variedades sobresalientes para ambientes de temporal, pero que en la actualidad ya son susceptibles a roya amarilla (Díaz *et al.*, 2018).

Cuadro 5. Rendimiento de grano y porcentaje de roya amarilla en 14 genotipos de trigo, promedio de 37 localidades de temporal durante los ciclos PV 2017 al 2020.

Variedades	2017		2018		2019		2020		Promedio	
	REND [†]	Yr ^{††}	REND	Yr	REND	Yr	REND	Yr	REND	Yr
Kone 's'	4 012	1	4 514	1	5 564	1	4 224	1	4 600 a	1 e
Nely 's'	3 949	3	4 509	3	5 635	3	4 071	3	4 568 a	3 e
Terre 's'	3 930	4	4 371	1	5 391	1	4 240	2	4 499 a	2 e
Valles F2015	3 057	8	4 258	1	4 653	2	3 686	5	3 917 b	4 e
Texcoco F2016	3 044	8	4 077	2	4 819	2	3 654	4	3 907 bc	4 e
Don Carlos M2015	2 988	22	3 431	18	4 727	27	3 258	31	3 624 cd	25 cd
Temporalera M87	2 806	27	3 502	19	4 201	27	3 340	25	3 468 de	25 cd
Altiplano F2007	2 749	25	3 667	17	4 449	23	3 275	26	3 546 d	23 d
Rebeca F2000	2 427	32	3 279	24	4 275	24	3 433	28	3 351 def	27 c
Tlaxcala F2000	2 342	27	3 186	20	4 308	29	3 084	25	3 239 ef	26 cd
Romoga F96	2 298	24	3 176	22	4 138	27	2 839	29	3 126 f	25 cd
Triunfo F2004	2 166	32	3 070	29	4 247	29	2 947	35	3 117 e	31 b
Náhuatl F2000	2 397	35	2 984	21	3 971	36	3 042	34	3 105 f	32 b
Nana F2007	1 716	62	2 275	53	3 378	59	2 172	59	2 400 g	58 a

[†] REND= rendimiento de grano; ^{††}Yr= porcentajes de roya amarilla; medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha= 0.05$).

Estos mayores rendimientos se deben a que estas tres líneas avanzadas presentaron los menores porcentajes de roya amarilla (<3%) y como lo menciona Ramírez *et al.* (2016); Villaseñor *et al.* (2021), como parte de los avances del Programa de Trigo, la obtención de genotipos con mayor rendimiento y mayor resistencia a royas debe ser gradual y ascendente a través de los años. Por tal razón, Kone 's', Nely 's' y Terre 's', como candidatas a ser liberadas como variedades, mostraron estos resultados.

Los genotipos considerados como resistentes, con porcentajes de roya amarilla <5% (Roelfs *et al.*,1992) (Cuadro 5) fueron Valles F2015, Texcoco F2016, Kone 's', Nely 's' y Terre 's', mismos

que tuvieron los mayores rendimientos y que se consideraron los más estables en cuanto a este carácter y como lo menciona Ramírez *et al.* (2016) serían los genotipos que tienen un rango de adaptación amplio.

Estos mismos autores mencionan que las variedades liberadas en los dos mil son las de menor rendimiento y más susceptibles a roya amarilla coincidiendo con lo observado en este estudio ya que Náhuatl F2000, Triunfo F2004 y Nana F2007 mostraron una mayor severidad de la enfermedad y menores rendimientos (Cuadro 5).

Para el análisis de correlación entre REND y Yr, se obtuvo una correlación negativa moderada (-0.41821, <0.0001) (Schober y Boer, 2018); es decir, a menor porcentaje de roya amarilla mayor rendimiento de grano, y de acuerdo con el Cuadro 4, en la mayoría de las localidades donde se obtuvieron los mayores rendimientos, los porcentajes de roya amarilla fueron más bajos y esta misma tendencia se observó entre variedades (Cuadro 5). Resultados similares fueron reportados por Sánchez-Martín *et al.* (2013) en avena y roya de la corona y por Solomon *et al.* (2023) en trigos harineros y roya del tallo.

Por otro lado, considerando que valores pequeños del coeficiente de variación (CVi) y de la desviación estándar (Si) indican una mayor estabilidad (Francis y Kannenberg, 1978), y los genotipos deseables serían los de mayor rendimiento y menor CVi (De Vita y Maggio, 2006; Hortelano *et al.*, 2013) entonces, la variedad Valles F2015 seguida de Terre 's', Nely 's' y Kone 's' fueron las más estables en todos los ambientes evaluados (Cuadro 6), estas tres líneas también fueron las más estables en los ambientes con la mayor incidencia de roya amarilla (Cuadro 7); asimismo, estos genotipos presentaron menor porcentaje de roya amarilla en los cuatro años de evaluación (Cuadro 5).

Cuadro 6. Parámetros de estabilidad de 14 genotipos de trigo evaluados en 37 ambientes de temporal en Valles Altos. PV 2017 al 2020.

Variedad	REND	Si [§]	CVi(%) ^{&}	Eberhart y Russell		Lin y Binns	
				#i	S ² di(10 ³)	Pi(10 ⁴)	CM (GxA)(10 ⁴)
Temporalera M87	3 468	1 302	37.56	0.967	75.9	110.3	24.7
Romoga F96	3 126	1 194	38.21	0.906	-12.9	163.9	29.2
Náhuatl F2000	3 105	1 300	41.87	0.979	30.8	166.4	28.3
Tlaxcala F2000	3 239	1 290	39.84	0.969	38.7	150.2	33.1
Rebeca F2000	3 351	1 455	43.4	1.094	78.3	134.5	33.6
Triunfo F2004	3 117	1 414	45.36	1.056	92.3	170.5	34.5
Altiplano F2007	3 546	1 285	36.24	0.979	-8.5	98.5	22.5
Nana F2007	2 400	1 127	46.96	0.717	331.5	333.3	57.9
Don Carlos M2015	3 624	1 365	37.66	1.032	33.1	94.4	27.7
Valles F2015	3 917	1 348	34.42	0.989	129.7	57.9	20.1
Texcoco F2016	3 907	1 411	36.12	1.057	78.9	55.8	17.1
Kone 's'	4 600	1 468	31.92	1.087	142	5.5	3.4
Nely 's'	4 568	1 497	32.77	1.136	50.7	6.8	4
Terre 's'	4 499	1 410	31.35	1.031	167.5	9.1	4.4
	3 605 [§]					39.4 [#]	39.5 [£]

[§] = desviación estándar; [&] = coeficiente de variación; [§] = media general; [#] = punto de corte de Pi; [£] = punto de corte de CM(GxA).

Cuadro 7. Parámetros de estabilidad de genotipos de trigo evaluados en siete ambientes de temporal de Valles Altos donde se presentó mayor incidencia de roya amarilla. PV 2017 al 2020.

Variedad	REND	Si [§]	CVi(%) [§]	Eberhart y Russell		Lin y Binns	
				#i	S ² di(10 ³)	Pi(10 ⁴)	CM (GxA)(10 ⁴)
Temporalera M87	2 946	1 193	38.18	1.003	258	175.3	72.3
Romoga F96	2 554	911	33.23	0.853	-91.7	219.6	57.5
Náhuatl F2000	2 670	923	33.3	0.88	-126.4	197	52.5
Tlaxcala F2000	2 408	1 093	44.14	1.011	-38.4	266.9	83.8
Rebeca F2000	2 717	942	33.07	0.784	121.4	217	84
Triunfo F2004	2 253	972	33.95	0.863	22.8	291.1	79.9
Altiplano F2007	3 261	1 065	31.82	0.919	119.8	118.5	50.3
Nana F2007	1 877	1 047	53.36	0.976	-66.1	364.1	78.1
Don Carlos M2015	2 796	1 151	38.53	1.076	-56	179.2	53.4
Valles F2015	3 699	1 293	32.43	1.228	-94	65.1	34.3
Texcoco F2016	3 627	1 583	40.22	1.493	-30.6	81.6	46.9
Kone 's'	4 517	1 332	27.8	1.039	581	3.7	3.4
Nely 's'	4 237	1 077	23.78	0.966	36.1	11.1	5
Terre 's'	4 461	1 132	23.77	0.909	319.5	3.1	1.9
	3 145 [§]					54.7 [#]	56.6 [£]

[§] = desviación estándar; [£]= coeficiente de variación; [§]= media general; [#]= punto de corte de Pi; [£]= punto de corte de CM(GxA).

El parámetro de estabilidad #i dio como resultado coeficientes de regresión menores a la unidad (los más bajos) en Nana F2007 y Romoga F96 para todos los ambientes (Cuadro 6) y en Rebeca F2000 y Romoga F96 para los ambientes con mayor incidencia de roya amarilla (Cuadro 7), indicando que estas variedades presentan adaptación relativa a ambientes desfavorables (Hortelano *et al.*, 2013).

Para todos los ambientes en el Cuadro 6, se observó que siete genotipos tuvieron valores #i entre 0.96 a 1.05 y cinco genotipos para los ambientes con mayor incidencia de roya (Cuadro 7), este rango mencionado por Hortelano *et al.* (2013) se aplicó para aquellos genotipos con rendimientos estables a través de ambientes y años. Rodríguez-González *et al.* (2014); Aula *et al.* (2023) mencionan que los genotipos con #i y S²di mayor que 1 e igual a 0, respectivamente, tienen una buena respuesta a ambientes favorables y son estables. En este sentido, Rebeca F2000, Triunfo F2004, Texcoco F2016, Kone 's' y Nely 's' presentaron los #i mayores que la unidad (los más altos) en todos los ambientes (Cuadro 6) y Don Carlos M2015, Valles F2015 y Texcoco F2016 en los ambientes con mayor incidencia de roya (Cuadro 7) indicando que todos estos genotipos responden de forma positiva a las mejoras ambientales de producción (Hortelano *et al.*, 2013).

Las varianzas de las desviaciones de regresión (S²di) en ambos análisis (Cuadro 6 y 7) fueron diferentes a cero y al igual que menciona Hortelano *et al.* (2013), el modelo lineal utilizado no es el indicado para describir la respuesta de los genotipos en función del ambiente.

De acuerdo con los parámetros de superioridad de Lin y Binns (1988), los genotipos con los valores más pequeños de Pi se consideran los más estables y presentan un comportamiento paralelo a la máxima respuesta a través de ambientes, siendo los genotipos con mayor rendimiento y estables en cuanto a este carácter (Rodríguez *et al.*, 2002; El-Hashash y Agwa, 2018). Para este estudio, para todos los ambientes (Cuadro 6) y ambientes con mayor incidencia de roya (Cuadro 7) fueron

las líneas Kone 's', Nely 's' y Terre 's' seguidas de las variedades Texcoco F2016 y Valles F2015, categorización que coincidió con la observada con el coeficiente de variación (CVi) en ambos análisis.

Estos genotipos fueron los que tuvieron los mayores rendimientos y presentaron los menores porcentajes de roya amarilla (Cuadro 5) y al obtener los valores menores del parámetro CM(GxA) tienen buena adaptación (estabilidad) a todos los ambientes estudiados (Rodríguez *et al.*, 2002; Sabaghnia *et al.*, 2013).

Por otro lado, para todos los ambientes, Nana F2007 fue la variedad que superó el valor del punto crítico de corte para el cuadrado medio de la interacción GxA por lo que tiene adaptación específica solo en ciertos ambientes (Rodríguez *et al.*, 2002), con el menor rendimiento y el mayor porcentaje de roya amarilla (Cuadro 5). Para los ambientes con la mayor incidencia de roya (Cuadro 7) Nana F2007 junto con Temporalera M87, Romoga F96, Tlaxcala F2000, Rebeca F2000 y Triunfo F2004 superaron el valor del punto crítico de corte para GxA por lo que al tener adaptación específica a ciertos ambientes pudiera su rendimiento verse drásticamente disminuido si se siembran en localidades con alta incidencia de roya amarilla.

Conclusiones

Las líneas avanzadas Kone 's', Nely 's', Terre 's', y las variedades Texcoco F2016 y Valles F2015 fueron los genotipos más estables en rendimiento de grano, aún en las localidades donde se presentó una mayor incidencia de roya amarilla. Estos genotipos presentaron los porcentajes más bajos de roya a través de ambientes, por lo que existió una correlación moderada negativa entre el rendimiento y la incidencia de la enfermedad.

Por su estabilidad y resistencia a la roya amarilla Texcoco F2016 y Valles F2015 pueden ser recomendadas para su siembra en los Valles Altos de México. En cambio, Náhuatl F2000, Triunfo F2004 y Nana F2007 que presentaron menor estabilidad, rendimientos bajos y alta susceptibilidad a la roya amarilla, ya no son recomendadas para su siembra.

La determinación de genotipos estables en rendimiento con resistencia a roya amarilla puede ser una herramienta útil para la selección de genotipos sobresalientes. El mayor rendimiento de las tres líneas avanzadas es un indicativo de que el Programa de Trigo del INIFAP sigue avanzando en la generación de genotipos con mayor rendimiento y resistentes a roya amarilla.

Bibliografía

- 1 Aula, L.; Mikha, M. M.; Easterly, C. A. and Creech, F. C. 2023. Winter wheat grain yield stability under different tillage practices. *Agronomy Journal*. 115(2):1006-1014.
- 2 De Vita, P. and Maggio, A. 2006. Yield stability in durum wheat: progress over the last two decades in Italy. 2006. *Cereal Research Communications*. 34(4):1207-1214.
- 3 Díaz, C. H. L.; Leyva, M. S. G.; Villaseñor, M. H. E.; Vargas, H. M.; Hortelano, S. R. R.; Valdez, R. Y. R. y Martínez, C. E. 2018. Control químico de la roya lineal en diferentes etapas de desarrollo del trigo en Terrenate, Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(5):1067-1074.
- 4 Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6(1):36-40.
- 5 El-Hashash, E. F. and Agwa, A. M. 2018. Comparison of parametric stability statistics for grain yield in barley under different drought stress severities. *Merit Research Journal of Agricultural Science and Soil Sciences*. 6(7):98-111.
- 6 Francis, T. R. and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 58(4):1029-1034.

- 7 González, G. M. and Rodríguez, G. M. F. 2023. Response of barley varieties to fungicides for the control of leaf rust. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 39(4):1475-1483.
- 8 Hortelano, S. R.; Villaseñor, M. H. E.; Martínez, C. E.; Rodríguez, G. M. F.; Espitia, R. E. y Mariscal, A. L. A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(5):713-725.
- 9 Lin, C. S. and Binns, M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 68(1):193-198.
- 10 Ramírez, V. J.; Hortelano, S. R. R.; Villaseñor, M. H. E.; López, H. E.; Martínez, C. E. y Espitia, R. E. 2016. Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(3):655-667.
- 11 Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(2):143-151.
- 12 Rodríguez-González, R. E.; Paz, H. J. J.; Iñiguez, M. C. G.; Rueda, P. E. O.; Avendaño, R. L.; Cruz-Villegas, M.; Ail-Catzim, C. E.; Stoycheva, M.; Koytchev, Z. R.; Renganathan, P. y García, L. A. M. 2014. Estabilidad de rendimiento en trigo en Valle de Mexicali, México. *Pyton*. 83:65-70.
- 13 Roelfs, A. P.; Singh, R. P. y Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF. 81 p.
- 14 Sabaghnia, N.; Mohammadi, M. and Karimizadeh, R. 2013. Yield stability of performance in multi-environment trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 61(3):787-793.
- 15 Sánchez-Martín, J.; Rubiales, D.; Flores, F.; Emeran, A. A.; Shtaya, M. J. Y.; Sillero, J. C.; Allagui, M. B. and Prats, E. 2014. Adaptation of oat (*Avena sativa*) cultivars to autumn sowings in Mediterranean environments. *Field Crops Research*. 156(1):111-122.
- 16 Schober, P.; Boer, Ch. And Schwarte, L. A. 2018. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*. 126(5):1763-1768.
- 17 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, Producción mensual agrícola, Avance de siembras y cosechas. <https://nube.siap.gob.mx/avance-agricola/>.
- 18 Solomon, T.; Sime, B.; Dabi, A.; Alemu, G.; Geleta, N.; Negash, T.; Delesa, A.; Zegeye, H.; Duga, R.; Yirga, F.; Asefa, B.; Ashake, D.; Getamesay, A.; Zewdu, D. ; Kasa, D. and Degefa, N. 2023. Association between dominant wheat stem rust races found in Ethiopia and grain yield in advance bread wheat genotypes. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 14(9):1305-1312.
- 19 The World Bank. 2024. Food Security Update. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d40090012022/related/Food-Security-Update-CV-April-25-2024.pdf>.
- 20 Villaseñor, M. H. E. 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(esp):2183-2189.
- 21 Villaseñor, M. H. E. y Espitia R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In*: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México. INIFAP-CIR-CENTRO. Libro técnico núm. 1. 85-98 pp.
- 22 Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Solís, M. E.; Rodríguez, G. M. F., Martínez, C. E. y Espitia, R. E. 2021. Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 25(esp):27-31.

Estabilidad del rendimiento y niveles de infección de roya amarilla en trigos de temporal en 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: 01 March 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 13 June 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3688
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3688

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Puccinia striiformis

Triticum aestivum

correlación

Valles Altos

Counts

Figures: 0

Tables: 14

Equations: 0

References: 22

Pages: 0