EVALUACIÓN DE GENOTIPOS DESARROLLADOS PARA RESISTENCIA A SEQUÍA EN AMBIENTES DE RIEGO NORMAL Y RESTRINGIDO

EVALUATION OF GENOTYPES DEVELOPED FOR DROUGHT RESISTANCE IN NORMAL AND RESTRICTED IRRIGATION ENVIRONMENTS

*Lourdes Ledesma-Ramírez[1]; Ernesto Solís-Moya[1]; Luis Antonio Mariscal-Amaro[1]; Adán Ulises Chávez-Solís[1]; María Rebeca Rendón-Reyes[1]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo experimental Bajío. Carretera Celaya – San Miguel Allende km 6.5 C. P. 38010 Celaya Gto., México. Tel: 800 088 2222.
Autor responsable: *lulis_amigui@hotmail.com
Recibido 28 febrero 2022, aceptado 19 noviembre 2022
Artículo científico

RESUMEN

En la actualidad es muy difícil formular el idiotipo de una planta, en términos de la respuesta fisiológica de esta, en ambientes sin limitaciones hídricas y en aquellos sometidos a déficit. Es decir, un arquetipo que pudiera rendir en los niveles máximos de su potencialidad cuando no existan limitaciones de humedad y produzca satisfactoriamente en condiciones de estrés hídrico. Lamentablemente, muchas de las características favorables en relación a la resistencia al estrés hídrico tienen efectos negativos sobre el rendimiento. El objetivo del trabajo fue determinar si existen genotipos de alto rendimiento tanto en ambientes con riego normal como bajo riego restringido. Durante el ciclo 2019-2020 se evaluó el experimento el 9th SATYN que consiste en 33 entradas con dos repeticiones. Estas poblaciones se evaluaron en seis localidades diferentes representativas de las zonas de producción de México: Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Sonora, Baja California y Coahuila. Los caracteres que se midieron fueron: 1) Altura de planta (AP); 2) días a espigamiento (DE); 3) días a madurez (DM); 4) índice de cosecha (IC); 5) rendimiento de grano (RG); 6) biomasa (BIO); 7) espigas por metro cuadrado (EPM2); 8) peso de 1000 granos (PMG) en mg; 9) granos por metro cuadrado (GPM2). La información obtenida se sometió a un análisis de varianza combinado. Se hicieron pruebas de comparaciones de medias. También se realizó un análisis de la interacción genotipo ambiente utilizando el método AMMI1. De los dos genotipos más sobresalientes en el ensayo el 9415 destacó tanto en ambientes favorables como bajo riego restringido lo cual pone en evidencia que se puede hacer mejoramiento para ambientes con riego normal y restringido de manera simultánea.

Palabras clave: interacción genotipo ambiente, estabilidad, rendimiento, Triticum.

ABSTRACT

At present it is very difficult to formulate the idiotype of a plant, in terms of its physiological response, in environments without hydric limitations and in those subject to deficit. That is, an archetype that could perform at the maximum levels of its potential when there are no humidity limitations and produces satisfactorily under conditions of water stress. Unfortunately, many of the favorable characteristics in relation to resistance to water stress have negative effects on performance. The objective of work was to determine if there are high-yield genotypes both in environments with normal irrigation and under restricted irrigation. During the cycle 2019-2020, the experiment was evaluated on the 9th SATYN, which consists of 33 entries with two repetitions. These populations were evaluated in six different localities representative of the production areas of Mexico: Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Sonora, Baja California and Coahuila. The phenotypic characters that were measured it was: 1) Plant height (AP); 2) days to heading (DE); 3) days to maturity (DM); 4) harvest index (IC); 5) grain yield (RG); 6) biomass (BIO); 7) spikes per square meter (EPM2); 8) 1000 grain weight (PMG); 9) grains per square meter (GPM2). The information obtained was subjected to a combined analysis of variance. Comparisons of means were tested. An analysis of the genotype environment interaction was also performed using the AMMI1 method. Of the two most outstanding genotypes in the trial, 9415 stood out both in favorable

environments and under restricted irrigation, which shows that improvement can be made for environments with normal and restricted irrigation simultaneously.

Keywords: genotype environment interaction, stability, yield, Triticum.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es muy difícil formular el idiotipo de una planta, en términos de la respuesta fisiológica de esta, en ambientes sin limitaciones hídricas y en aquellos sometidos a déficit. Es decir, un arquetipo que pudiera rendir en los niveles máximos de su potencialidad cuando no existan limitaciones de humedad y produzca satisfactoriamente en condiciones de estrés hídrico. Lamentablemente, muchas de las características favorables en relación a la resistencia al estrés hídrico tienen efectos negativos sobre el rendimiento. La propuesta práctica que realiza Blum (1983), considerado el autor que más avanzó en la formulación de una metodología para asociar los procedimientos fisiológicos con los del mejoramiento vegetal, consiste en: Utilizar procedimientos simples y rápidos para probar material resistente a sequía. Blum utiliza en el caso del trigo, termometría de infrarrojo, y la determinación del rendimiento luego de la desecación pos-antesis. Las líneas resistentes a la sequía seleccionadas son combinadas con las probadas por su alto rendimiento seleccionadas mediante los métodos fitotécnicos clásicos a nivel de F_5 para obtener posteriormente las variedades mejoradas de alto rendimiento y resistentes a sequía. Los genotipos evaluados en este estudio fueron desarrollados a partir de cruzas entre líneas élite y genotipos tolerantes a la sequía durante las generaciones segregantes se practicó selección en condiciones de sequía y termometría de infrarrojo, seleccionando los genotipos más destacados. El objetivo de este trabajo fue determinar si existen genotipos de alto rendimiento tanto en ambientes con riego normal como bajo riego restringido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo 2019-2020 se evaluó las poblaciones más recientes entregadas por el Consorcio de Rendimiento de Trigo: WYCYT, Wheat Yield Consortium Yield Trial que está compuesta por el experimento el 9th SATYN que consiste en 33 entradas con dos repeticiones (Cuadro 1). Estas poblaciones se evaluaron en seis localidades diferentes representativas de las zonas de producción de México: Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Sonora, Baja California y Coahuila.

Cuadro 1. Genotipos que se evaluaron en el 9no. SATYN en seis localidades de México durante el ciclo OI 2019-20.

Entry	GID	Cross Name
9401	304660	**LOCAL CHECK**
9402	8600341	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9403	8600347	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9404	8600381	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9405	8600384	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9406	8600401	**SOKOLL/WBLL1/4/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR**
9407	8624538	FRTL//ATTILA/3*BCN/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9408	8624552	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9409	8624554	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9410	7806808	**BORLAUG100 F2014**
9411	8624566	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9412	3825355	**SOKOLL**
9413	8624569	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB

9414	8624572	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9415	8624578	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9416	8624612	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9417	8602193	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9418	8602210	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/PARUS/PASTOR/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9419	8602249	SOKOLL/WBLL1/4/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
9420	8287881	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
9421	8287891	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
9422	8287892	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
9423	8287905	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
9424	8287919	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
9425	7946708	CHEN/AE.SQ//2*OPATA/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/AMAD*2/4/KIRITATI/6/FRET2*2/SHAMA//KACHU
9426	8101541	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI/5/AE.SQUARROSA (784)/6/BECARD
9427	8101631	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI/5/AE.SQUARROSA (778)/7/2*CHWL86/6/FILIN/IRENA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER
9428	8198432	SOKOLL/WBLL1/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1
9429	8198445	CHEN/AE.SQ//2*OPATA/3/FINSI/5/W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1
9430	8101711	CETA/AE.SQUARROSA (435)/5/2*UP2338*2/SHAMA/3/MILAN/KAUZ//CHIL/CHUM18/4/UP2338*2/SHAMA

La fecha de siembra y el manejo agronómico dado a los experimentos en cada localidad se presenta en el Cuadro 2. En este cuadro se observa que en tres localidades se aplicaron solo dos riegos (Guanajuato, Jalisco y Sinaloa), En Sonora y Coahuila se aplicaron tres riegos y en Baja California se aplicaron cuatro riegos.

Cuadro 2. Localidad, condiciones de crecimiento y principales parámetros agronómicos de los experimentos 9th SATYN evaluado en cinco localidades de México bajo riego durante el ciclo otoño invierno 2019-2020.

Localidad	Fecha de siembra	Coord.	ASNM (m)	Fert. (N-P-K)	Riegos
Baja California	30/01/2019	32°18'N 115°4W 105°29W	5	197-52-00	0-29-50-76
Guanajuato*	25/12/2019	20°32'N	1752	120-60-00	0-55
Jalisco	6/01/2019	19°31'15"N 104°32'00"W 102°34W	1542	200-80-00	0-29-54-72
Sinaloa	20/12/2019	25°45'N 108°48W 115°4W	14	184-64-64	0-41-69-96
Coahuila	21/12/2019	28°35' N 100°54' O	312	92-44-00	0-40-86

Se midieron los siguientes caracteres fenotípicos: 1) Altura de planta (AP), medida en centímetros desde la superficie del suelo hasta la punta de la espiguilla terminal; 2) días a espigamiento (DE), número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las espigas estubieron expuestas; 3) días a madurez (DM), desde la siembra al momento en que el 50% de los pedúnculos de las plantas tornaron al color amarillento; 4) índice de cosecha (IC), igual a TRG/TRB, en donde TRG = rendimiento en gramos de 100 tallos de la parcela y TRB = rendimiento biológico de 100 tallos de la parcela; 5) rendimiento de grano (RG), en gramos por parcela y se transformó a kg ha^{-1}; 6) biomasa (BIO), en t por ha, calculada como (RG/1000)/IC; 7) espigas por metro cuadrado (EPM2) = (BIO*100)/(TRG/100); 8) peso de 1000 granos (PMG) en mg; 9) granos por metro cuadrado (GPM2) = (RG/10)/(PG/1000).

La información obtenida se sometió a un análisis de varianza combinado para cada una de las nueve variables mencionadas anteriormente (solo para las localidades con información de componentes de rendimiento Jalisco, Sinaloa, Baja California, Guanajuato y Coahuila). Se hicieron pruebas de comparaciones de medias usando la técnica de Tukey (0.05). También se realizó un análisis de la interacción genotipo ambiente utilizando el método AMMI1, para las seis localidades incluidas en el estudio. Los análisis se realizarán con los programas estadísticos SAS versión 9.3 y RStudio versión 3.5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis a través de localidades

Los análisis de varianza a través de localidades (Cuadro 3) detectaron diferencias altamente significativas en todas las variables entre localidades, entre genotipos se observaron diferencias altamente significativas en todas las variables excepto en EPM2 donde solo fueron significativas. En la interacción localidades por genotipos se obtuvieron diferencias altamente significativas en todas las variables excepto en EPM2 donde no se observaron diferencias.

Cuadro 3. Cuadrados medios a través de localidades de las variables evaluadas en cinco localidades del experimento Satyn en el ciclo OI 2019-20.

FV	G. L	DE	AP	RKGHA	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
LOC	4	4649 **	14939 **	160025462 **	1444 **	0.31 **	949 **	1112972119 **	482719 **
REP(LOC)	5	8.09	35.4	532662	25.2	0.002	4.3	7537264	4771
GEN	29	23.9 **	140 **	242791 **	55.8 **	0.002 **	2.1 **	2551871 **	2205 *
LOC*GEN	116	9.3 **	35.9 **	412597 **	20.1 **	0.002 **	1.9 **	1785455 **	1199
ERROR	145	1.4	13.3	123661	5.06	0.0007	1.1	898830	1196
TOTAL	299								
C. V.		1.5	4.1	8.8	5.3	6.5	11.04	9.7	14.4

FV = fuente de variación; G.L = grados de libertad; LOC = localidades; GEN = genotipos; REP = repeticiones; CV = coeficiente de variación; DE = días a espigamiento; AP= altura de planta; RKGHA = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG = peso de mil granos; IC = índice de cosecha; BIO = biomasa en t ha^{-1}; GPM2 = granos por metro cuadrado; EPM2 = espigas por metro cuadrado; ** = diferencias altamente significativas; * = diferencias significativas.

La comparación de medias para localidades mostró que los ciclos más cortos a espigamiento se registraron en la localidad de Jalisco con 67 días y los más largos en Coahuila con 91 días (Cuadro 4). Los valores mayores de altura de planta se observaron en Sinaloa con 105 cm; en la localidad de Coahuila fue donde se obtuvieron las menores alturas con 63 cm. Se observó una diferencia de 4161 kg ha^{-1} entre las localidades de mayor (Baja California) y menor rendimiento de grano (Coahuila). En el peso de mil granos las localidades de Sinaloa y Coahuila fueron las que mostraron ser las de mayor peso con 48 y 47 g y la de menor peso fue Jalisco con 37 g. La localidad de Sinaloa fue la que mostró los mayores índices de cosecha con 0.49 y las localidades de

Guanajuato y Jalisco fueron las de menores índices con 0.35 y 0.34. La biomasa registró una diferencia de 10.23 t ha^{-1} entre las localidades con mayor (Jalisco) y menor valor (Coahuila). En la variable de GPM2 la localidad de Baja California obtuvo más granos con 13872 y la de menor valor fue Coahuila con 2609 granos. La localidad de Jalisco fue la obtuvo mayor número de espigas por metro cuadrado con 349 y Coahuila la de menor valor con 106 espigas. En general se observó que en las localidades donde se aplicó riego normal (Baja California, Jalisco y Sinaloa) se obtuvo mayor rendimiento destacando Baja California con rendimiento de 5377 kg ha^{-1}. La localidad de Coahuila obtuvo menor rendimiento que Guanajuato no obstante manejarse con un riego más, lo que indica que se deben de buscar una mejor fecha de siembra que permita un mejor comportamiento del trigo.

Cuadro 4. Comparaciones de medias entre localidades de los caracteres medidos en el experimento Satyn evaluado en el ciclo OI 2019-20.

LOC	DE	AP	RKGHA kg ha^{-1}	PMG	IC	BIO t ha^{-1}	GPM2	EPM2
Baja California	78 b	83 d	5377 a	39 c	0.48 b	11.38 b	13872 a	233 c
Guanajuato	77 c	89 c	3840 d	40 b	0.35 d	10.96 b	9546 d	285 b
Coahuila	91 a	63 e	1216 e	47 a	0.45 c	2.74 d	2609 e	106 d
Jalisco	67 e	96 b	4425 c	37 d	0.34 d	12.94 a	12164 b	349 a
Sinaloa	72 d	105 a	4908 b	48 a	0.50 a	9.86 c	10340 c	225 c
DHS	0.6	1.8	177	1.13	0.01	0.53	478	17.44

DE = días a espigamiento; AP= altura de planta; RKGHA = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG = peso de mil granos; IC = índice de cosecha; BIO = biomasa en t ha^{-1}; GPM2 = granos por metro cuadrado; EPM2 = espigas por metro cuadrado; DHS= diferencia honesta significativa.

En el análisis de comparaciones de medias de los genotipos a través de localidades 16 genotipos superaron el rendimiento promedio de los testigos locales con porcentajes que van de 0.04 al 9.52 % (Cuadro 5). Los genotipos más precoces en días a espigamiento fueron el 9408 y 9401 con 73 y 72 días, y el genotipo más tardío fue el 9424 con 79 días. El genotipo con mayor altura de planta fue el 9414 con 93 cm y el de menor porte fueron los testigos (9401) con 77 cm. Los genotipos mostraron rendimientos de grano que van de 3689 a 4279 kg ha^{-1}. El genotipo 9409 fue el genotipo con mayor peso de mil granos con 49 g y el de menor peso fue el 9412 con 38 gr. En IC el genotipo de mayor índice fue el 9401 (testigo) con 0.45 y el de menor valor fue el 9412 con 0.39. La variable biomasa osciló entre 8.64 y 10.39. El genotipo con mayor número de granos por metro cuadrado fue el 9413 con 10765 granos y el de menor valor fue el 9409 con 8363 granos. En la variable de EPM2 el genotipo 9411 produjo el mayor número de espigas con 279 espigas y los de menor valor fueron 9406 y 9403 con 217 y 211 espigas.

Cuadro 5. Cuadrados medios de las variables estudiadas en el experimento Satyn evaluado a través de localidades en el ciclo OI 2019-20.

GENOTIPOS	DE	AP	RKGHA kg ha^{-1}	PMG	IC	BIO t ha^{-1}	GPM2	EPM2	%/TEST
9401	72	77	3907	43	0.46	8.65	9209	225	0
9402	76	84	4042	44	0.43	9.28	9608	228	3.45
9403	79	83	3877	43	0.43	9.19	9380	211	-0.78
9404	77	91	3859	42	0.45	8.75	9401	226	-1.23

9405	76	87	4091	43	0.43	9.79	9662	265	4.71
9406	78	91	3834	43	0.44	8.98	9554	217	-1.86
9407	78	85	3863	40	0.43	9.57	10167	249	-1.13
9408	73	88	4030	44	0.43	9.77	9292	257	3.15
9409	74	87	4089	49	0.43	9.46	8363	252	4.66
9410	77	79	4056	42	0.41	10.23	10151	240	3.81
9411	78	85	4012	43	0.41	9.97	9713	279	2.69
9412	79	85	3723	38	0.39	9.68	10127	264	-4.72
9413	78	87	4078	39	0.41	10.40	10765	254	4.38
9414	77	93	3869	41	0.43	9.30	9844	233	-0.97
9415	78	92	4279	43	0.42	10.35	10122	241	9.52
9416	75	85	3909	45	0.41	9.42	8868	244	0.04
9417	77	86	4023	47	0.43	9.65	8943	236	2.97
9418	77	91	3841	41	0.42	9.25	9663	232	-1.68
9419	77	92	4222	43	0.45	9.69	10151	239	8.06
9420	78	91	4087	43	0.42	9.98	9760	230	4.62
9421	78	91	4050	42	0.42	9.98	10249	249	3.66
9422	78	90	4072	41	0.41	10.24	10316	250	4.22
9423	77	83	3772	39	0.42	9.35	9989	232	-3.45
9424	79	89	3750	40	0.41	9.42	9821	234	-4.01
9425	77	88	4213	42	0.41	10.38	10383	235	7.85
9426	77	88	3883	41	0.42	9.61	9618	225	-0.61
9427	78	86	3712	39	0.42	9.27	9717	237	-4.98
9428	78	86	3909	44	0.43	9.35	9267	224	0.05
9429	76	87	3689	41	0.40	9.39	9335	242	-5.58
9430	77	84	3860	41	0.44	9.02	9749	236	-1.20
DHS	2.0	6.25	602	3.8	0.04	1.8	1622	59.1	

DE = días a espigamiento; AP= altura de planta; RKGHA = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG = peso de mil granos; IC = índice de cosecha; BIO = biomasa en t ha^{-1}; GPM2 = granos por metro cuadrado; EPM2 = espigas por metro cuadrado; DHS = diferencia honesta significativa.

En la Figura 1 se observa que en todas las localidades la mejor línea del ensayo superó al testigo local con 1.92 % (Baja California), 22.58 % (Guanajuato), 44.44 % (Coahuila), 6.85 % (Jalisco) y 63.70 % (Sinaloa).

Al comparar las mejores líneas con los testigos en cada localidad se observó que los nuevos genotipos superaron a los testigos en todas las localidades con rangos que fluctuaron entre 1.92 (Baja California) a 63.7% (Sinaloa). Las mejores líneas fueron diferentes en cada localidad en Baja California fue el **9420** (MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY), en Guanajuato la diferencia de la mejor línea con respeto al testigo fue de 804 kg a favor de la línea **9415** (WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA66.270//AE.SQUARROSA(320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB), en Coahuila la diferencia fue de 500 kg a favor de la entrada **9424** (MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY), en Jalisco la diferencia entre la mejor línea con respecto al testigo fue de 350 kg destacando la línea **9409** (SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA66.270//AE.SQUARROSA(320)/3/CUNINGHAM/4/VORB). Finalmente en la localidad de Sinaloa la mejor línea superó al testigo con 2323 kg destacando el genotipo **9425** (CHEN/AE.SQ//2*OPATA/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/AMAD*2/4/KIRITATI/6/FRET2*2/SHAMA//KACHU).

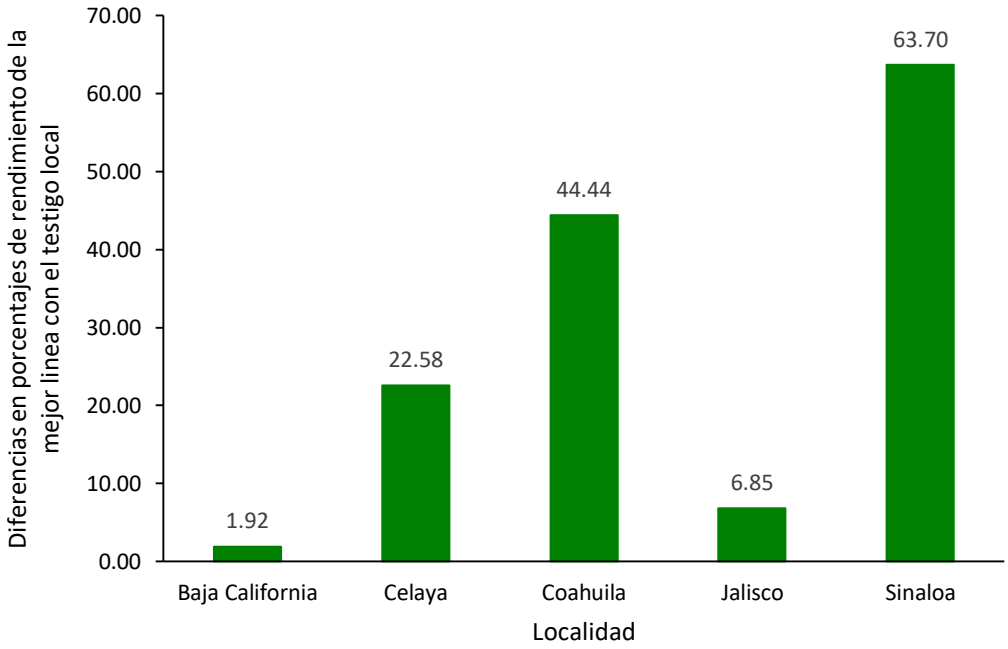

Figura 1. Superioridad en porcentaje en rendimiento de grano de la mejor línea del ensayo Satyn contra el testigo local, evaluado en cinco localidades en el ciclo OI 2019-20, (la localidad de Celaya se refiere al estado de Guanajuato).

Análisis de la interacción genotipo ambiente

El análisis de varianza mostró un efecto del ambiente altamente significativo ($p<0.01$) con un 92.10 % de la variación de la suma de cuadrados del total (SCT) (Cuadro 6). El factor genotipos fue significativo ($p<0.05$) registrando 1.01% de la SCT. La interacción genotipo-ambiente fue significativa ($p<0.01$), obteniendo 6.89 % de la SCT. El modelo AMMI mostró los dos primeros ejes del CP1 altamente significativos ($p<0.01$), explicando 46.01 y 35.57 % de la SC de la interacción, respectivamente. El CP3, CP4 y CP5 no fueron significativos. El modelo AMMI retuvo el 96.28 % de la SCT (ambiente + genotipo + interacción) utilizando 65 grados de libertad (4 para ambientes, 29 para genotipos y 32 para el CP1). El estudio de la interacción realizado con el AMMI se completó con el empleo del biplot (Figura 2).

Cuadro 6. Análisis de varianza del modelo AMMI para 30 genotipos de trigo evaluados en 5 ambientes.

F de V	GL	SC	%SC
AMB	4	640101850 **	92.10
GEN	29	7040959 *	1.01
AMB*GEN	116	47861300 **	6.89
CP1	32	22018699 **	46.01
CP2	30	17026433 **	35.57
CP3	28	4947069	10.34
CP4	26	3869100	8.08

CP5	24	0	0

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; %SC = porcentaje de la suma de cuadrados; AMB = ambientes; GEN = genotipos; CP = componente principal.

La interpretación de los resultados del análisis AMMI se facilitó con la representación gráfica (gráfico biplot), en el mismo espacio, de genotipos y ambientes. En el eje de las abscisas (X) de la Figura 2, se lee el rendimiento de grano de los genotipos y ambientes. La línea perpendicular a este eje indica el rendimiento medio. Así, a la izquierda del eje de las X's se grafican las entradas con menor rendimiento y a la derecha se localizan los genotipos y ambientes de mayor rendimiento. El eje de las ordenadas (Y) en cambio, mide la estabilidad de los genotipos y ambientes: aquéllos con valores cercanos a cero son estables mientras los que presentan valores altos del primer componente principal son inestables.

De acuerdo a esta información los genotipos 9415, 9419 y 9425 obtuvieron los mayores rendimientos seguidos por 9405, 9409, 9420, 9413, 9422, 9410, 9421, 9402, 9408, 9417 y 9411; en cambio, los genotipos 9429, 9427, 9412, 9424 y 9423 expresaron los rendimientos más bajos. La localidad de Baja California fue la que obtuvo el mayor rendimiento, seguida de las localidades de Sinaloa y Jalisco; la localidad de Guanajuato mostró rendimientos iguales a la media; y la localidad de Coahuila fue la de menor rendimiento. Por otro lado, los genotipos más estables, con valores de CP1 bajos o cercanos a cero, fueron los genotipos 9415, 9421, 9426, 9403, 9404, 9424, 9405, 9410, 9428, 9406, 9427 y 9423 destacando los genotipos 9415, 9421, 9405 y 9410 ya que sus rendimientos fueron altos en el ensayo, lo que indica que son materiales que rinde bien en todos los ambientes. Los genotipos 9401 y 9430, junto con los ambientes de Baja California, Sinaloa y Coahuila fueron los que más aportaron al primer eje de la interacción, siendo más inestables. Con relación a los ambientes, Yan *et al*. (2000) señala que aquellos que exhiben entre ellos un ángulo menor a los 90º tienen la cualidad de clasificar a los genotipos de una manera semejante, caso que se presentó entre los ambientes de Jalisco y Baja California, por lo que en un momento determinado se puede eliminar uno de ellos sin perder precisión en los resultados, contribuyendo a una disminución de costos y esfuerzos en la recolección de la información. Por la longitud de los vectores los ambientes que mejor discriminaron a los genotipos en la evaluación fueron Baja California, Coahuila y Sinaloa esto de acuerdo por lo explicado por Kempton (1984).

Los genotipos seleccionados por su comportamiento en riego normal fueron el **9425** (CHEN/AE.SQ//2*OPATA/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/AMAD*2/4/KIRITATI/6/FRET2*2/SHMA//KACHU) y **9415** (WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA66.270//AE.SQUAROSA(320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB). El mejor genotipo para riego restringido fue el 9415 que superó al testigo local Cisne C2016 con 22.6% y al testigo nacional Borlaug100 con 17.7%.

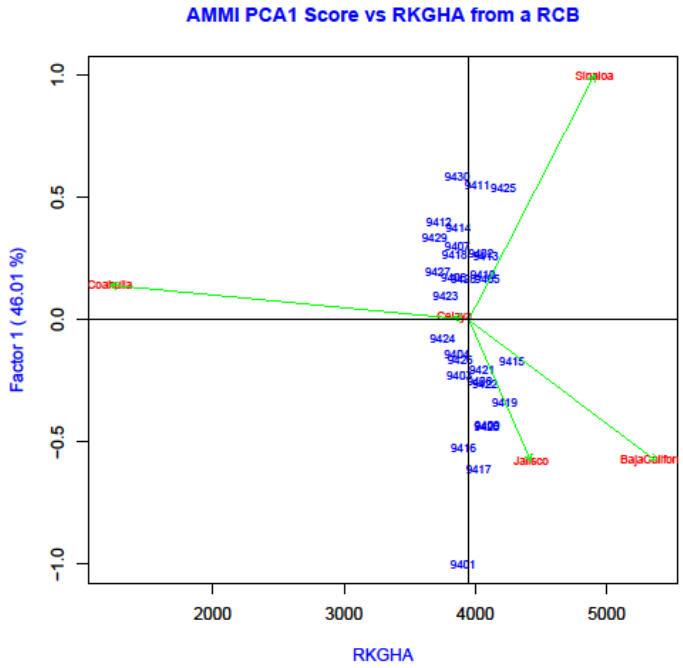

Figura 2. Biplot de rendimiento de grano de 30 genotipos evaluados en 5 localidades del experimento SATYN durante el ciclo OI 2019-200, (la localidad de Celaya se refiere al estado de Guanajuato).

CONCLUSIONES

De los dos genotipos más sobresalientes en el ensayo el 9415 destacó tanto en ambientes favorables como bajo riego restringido lo cual pone en evidencia que se puede hacer mejoramiento para ambientes con riego normal y restringido de manera simultánea.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS

Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. Agricultural Water Management 6: 195-205.

Kempton, R.A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. Journal of Agricultural Sciences 103:123-135.

Yan, W.L., A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Sci. 40:597-605.