

CONTROL QUÍMICO DE ROYA AMARILLA EN TRIGO HARINERO DE TEMPORAL EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

René Hortelano Santa Rosa[§]; Héctor Eduardo Villaseñor Mir; Eliel Martínez Cruz; Eduardo Espitia Rangel

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México.

México. [§]Autor para correspondencia: hortelano.rene@inifap.gob.mx

Recibido: Mayo 12, 2014 Aceptado: Octubre 31, 2014

Artículo Científico

RESUMEN

En México, las principales zonas productoras de trigo de temporal están ubicadas en los Valles Altos Centrales, que comprenden los estados de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala, donde es afectado por la sequía, heladas, roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.) y roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.), enfermedades que son una amenaza constante en la producción de trigo nacional y mundial, ya que pueden vencer la resistencia específica de variedades por la evolución hacia nuevos biotipos o razas fisiológicas, ya que se reproducen rápidamente y porque pueden moverse a grandes distancias. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de un fungicida en el rendimiento de grano. Durante el ciclo P-V/2013 se evaluaron 17 variedades y tres líneas uniformes de trigo harinero en las localidades de Nanacamilpa (2 localidades) y Velasco, Tlaxcala; La Concepción, Puebla, y; Juchitepec, Edo. de México. Se utilizó el diseño experimental en bloques completos con tratamientos aleatorizados con cuatro repeticiones en un arreglo de

parcelas divididas: el tamaño de la parcela fue de 1.5 m de anchura a partir de cuatro hileras de 2.5 m de largo separadas 0.30 m; la parcela útil de 3.75 m². Para control de la roya se realizaron dos aplicaciones del fungicida Azoxystrobin+Propiconazole (Quilt®) 0.8 L ha⁻¹ con intervalo de 15 días al iniciar la aparición de 50% de la hoja bandera. Hubo diferencias altamente significativas para localidades, variedades y aplicación o no de fungicida. Las diferencias en rendimiento con y sin aplicación de fungicida variaron desde 1.2 % en la línea avanzada Chicalote "s" hasta 43 % en la variedad Cortázar S-94. La mayoría mostraron reducciones de rendimiento mayor a 20 %. La siembra de variedades resistentes a royas como Nana F2007, Altiplano F2007 y Tlaxcala F2000 ha sido la forma más efectiva de minimizar el daño por tales enfermedades. En este caso, el grado de resistencia de las variedades dependió del patrimonio genético e interacción con el ambiente.

Palabras clave: Roya amarilla, control químico, pérdidas, *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT

In Mexico, the main producing areas of rainfed wheat are located in the Highlands Valleys, which is affected by drought, frost, yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.) and leaf rust (*Puccinia triticina* E.). The objective was to evaluate the effect of applying a fungicide on grain yield. During cycle PV/2013, 17 varieties and three uniform bread wheat lines were evaluated in the localities of Nanacamilpa (2 localities) and Velasco, Tlax., La Concepción, Pue., and Juchitepec, Mex. The experimental design used was complete block with treatments randomized with four replications in a split plot arrangement, the plot size was 4 rows with separation of 30.0 cm and 2.5 m long, being useful plot of 3.75 m². Two applications of fungicide Azoxystrobin + Propiconazole (Quilt®) 0.8 L/ha⁻¹ with interval of 15 days at the beginning of the

emergence of 50% of the flag leaf were performed. There were highly significant differences for Localities, Varieties and Treatment. The differences in performance with and without the application of fungicide ranged from 1.2 % in the advanced line Chicalote "s" up to 43% on the variety Cortazar S94. Most showed reductions of over 20 %. Planting resistant to yellow rust as Nana F2007, Altiplano F2007 and Tlaxcala F2000 varieties has been the most effective way to minimize the damage from such diseases. In this case, the degree of resistance of varieties depended on their genetic heritage and the interaction with the environment.

Keywords: Yellow rust, chemical control, losses, *Triticum aestivum* L.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo de mayor superficie sembrada a nivel mundial (FAOSTAT, 2008), ya que supera a cultivos como maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oriza sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.). El trigo es tolerante a temperaturas bajas en etapas iniciales de su desarrollo y la mayor producción tiende a concentrarse en zonas de clima templado. La mayor demanda en México es de trigos harineros panificables, con características de grano y gluten que satisfagan los estándares de calidad que demanda la industria molinera y panadera nacional (Espitia *et al.*, 2008). La producción de este cereal se estima en 3.4 millones de toneladas, cantidad insuficiente para abastecer la demanda nacional, que es de 6.3 millones de toneladas (SIAP, 2013). Por esta razón es deseable generar variedades resistentes a enfermedades y tolerantes a factores ambientales adversos, de alto rendimiento y mejor calidad molinera y panadera (Peña *et al.*, 2002; Branlard *et al.*, 2003; Shan *et al.*, 2007). En México, la principal región triguera se localiza en el noroeste, donde se produce 53 % del total nacional, mientras que el Bajío contribuye con 28 %. En ambas regiones el trigo se cultiva con riego en el ciclo otoño-invierno (O-I;

noviembre-mayo); el 19 % restante se produce en áreas de temporal, principalmente en el Altiplano Mexicano (SIAP, 2013). Entre los principales problemas que afectan la producción de trigo tanto en riego como en temporal es la escasez de agua, densidad de plantas, métodos de siembra, fertilización, control de malezas y enfermedades (Soomro *et al.*, 2009). En las primeras etapas del mejoramiento genético de este cultivo, es trascendental la caracterización y evaluación del germoplasma para identificar genotipos con mejores características, como precocidad, resistencia a enfermedades y tolerancia a condiciones adversas del medio ambiente, del mismo modo mayor rendimiento, mejor calidad y adaptabilidad a través de ambientes. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar 20 genotipos de trigo harinero en cinco localidades de los Valles Altos del Centro de México en condiciones de temporal, para determinar las variedades de trigo con mayor aptitud para siembra de temporal con base a rendimiento, resistencia a roya amarilla y respuesta diferencial que presentan a la aplicación de un fungicida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo P-V/2013, se establecieron bajo condiciones de temporal 17 variedades comerciales de trigo harinero liberadas por el INIFAP en diferentes épocas, y las líneas avanzadas Chicalote "s", Don Carlos "s" y Santa Lucia "s" (Cuadro 3) en las localidades de Nanacamilpa y Velasco, Tlaxcala; La Concepción, Puebla y Juchitepec, estado de México. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones; en la parcela grande se asignaron los tratamientos con y sin fungicida y en las parcelas chicas las variedades. El tamaño de la parcela útil fue de cuatro hileras con separación de 0.3 m y 2.5 m de largo, en una unidad experimental de 3.75 m². Se evaluaron las variables días a espigamiento (ESP), días a madurez fisiológica (MAD), altura de planta en centímetros (ALT) y rendimiento de grano (REND) en kg ha⁻¹. Con los

datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para estimar diferencias significativas entre genotipos, tratamiento químico, localidades y sus interacciones con el GML del programa SAS Ver. 9.2 (Statistical Analysis System, 1992). Para el tratamiento Con Fungicida (CF), se realizaron tres aplicaciones del producto Azoxystrobin+Propiconazole (Quilt®) 0.8 L ha⁻¹ y el coadyuvante Poliéter polimetilsiloxano copolímero (Break Thru®) 0.5 L ha⁻¹, con intervalo de 15 días desde el inicio de la aparición de 50% de la hoja bandera, se registraron lecturas visuales para evaluar la reacción de las plantas mediante la escala de Cobb modificada (Roelfs *et al.*, 1992). Para el tratamiento Sin Fungicida (SF) las parcelas se condujeron en forma normal, al permitir la infección natural y libre desarrollo del patógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró que los cuadrados medios de localidades, presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) para las variables evaluadas (Cuadro 1). Los tratamientos fueron estadísticamente diferentes para días a madurez fisiológica y rendimiento de grano (Cuadro 1), no así días a espigamiento y altura de planta. En el caso de la interacción Localidad X Tratamiento Químico, solo afectó días a madurez fisiológica y rendimiento de grano, aunque las diferencias significativas sólo se registraron en la primera variable. El comportamiento de las variables Días a Madurez Fisiológica y Rendimiento se explica por el hecho de que el producto químico utilizado "Quilt®" actúa como regulador de crecimiento promoviendo el vigor y alargando el periodo de vida de la planta dando como resultado un mejor llenado de granos, esto es debido a que mejora la asimilación de CO_2 eficientando el proceso de la fotosíntesis, incrementa la eficiencia en el uso del agua, reduce la tasa de transpiración e inhibe la liberación de etileno, retrasando la senescencia de la planta. En respuesta a la aplicación o no del fungicida se podría explicar por el hecho de que el producto Al respecto Rodríguez *et al.* (2002,

2005) mencionan que para la selección del germoplasma, con la alternancia de diferentes ambientes y establecimiento de ensayos uniformes se logra la obtención de genotipos con mayor estabilidad de rendimiento, atribuido a una respuesta lineal y poca variabilidad a través de los ambientes de prueba, característica que se asoció con la mayor resistencia a enfermedades, entre otras características.

Entre variedades se presentaron diferencias altamente significativas en las cuatro variables evaluadas (Cuadro 1), lo cual demuestra que, independientemente del tratamiento y localidad de evaluación, las mismas manifiestan diferente magnitud de las características evaluadas. En la interacción Localidad X Variedad se presentaron diferencias altamente significativas en días a espigamiento ($P < 0.001$), madurez fisiológica ($P < 0.001$), rendimiento ($P < 0.001$) y significativas ($P < 0.05$) en altura de planta. Los coeficientes de variación fueron: de 2.0 % para días a espigamiento hasta 21.5 % para rendimiento de grano (Cuadro 1) que los ubica en un rango aceptable, ya que se trata de ensayos establecidos en temporal (Rodríguez *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza conjunto para variables evaluadas en variedades y líneas avanzadas de trigo harinero. Ciclo PV-2013.

FV	GL	ESP	GL	MAD	GL	ALT	GL	REND
Localidad (L)	4	656.7**	4	1851.3**	4	7924.9**	4	72035746**
Rep (L)	5	2.5ns	5	1.0ns	5	40.3ns	5	386419ns
Tratamiento (T)	1	6.5ns	1	798.5**	1	70.7ns	1	51626895**
L*T	4	1.1ns	4	4.2 *	4	35.9ns	4	10564524**
Variedad (V)	19	206.3**	19	92.6**	19	747.9**	19	2124898**
L*V	76	6.3**	76	2.7**	76	38.3 *	76	1122916**
T*V	19	2.2ns	19	4.7**	19	23.2ns	19	527720ns
Error	195	1.9	195	1.9	195	23	193	
Total	399		399		399		397	
Media		66.8		125		83		2882
CV (%)		2.0		0.8		5.7		21.5

FV, Fuente de variación; GL, Grados de libertad; Coeficiente de variación; ESP, Días a espigamiento; MAD, Días a madurez fisiológica; ALT, Altura de planta (cm); REND, Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$); **, Diferencia estadística altamente significativa ($P < 0.01$); *, Diferencia estadística significativa ($P < 0.05$); ns, Diferencia estadística no significativa.

En el caso de la fuente de variación Tratamiento X Variedad, solamente se presentaron diferencias altamente significativas para días a madurez fisiológica (MAD; Cuadro 1); lo que indica, por un lado, que en una determinada variedad el tratamiento con fungicida alargó el ciclo, ya que el producto aplicado también actúa como regulador de crecimiento que inhibe, en cierto grado, la producción de etileno de las plantas tratadas y las mantiene activas por mayor tiempo (Slafer y Calderini, 2003) y, por el otro, las plantas no tratadas con dicho producto envejecen con rapidez, por la producción de etileno y ataque de enfermedades fungosas que, en este caso, fue la roya amarilla.

La localidad con mayor potencial de rendimiento fue Velasco, en Tlaxcala, con rendimiento promedio de 4.3 t ha⁻¹ (Cuadro 2), mientras que los menores rendimientos se registraron en La Concepción, Puebla, donde apenas se alcanzaron 1.9 t ha⁻¹. Estos resultados se explicarían debido a que dicha localidad

se encuentra entre las áreas críticas de producción de trigo de temporal (Villaseñor y Espitia, 2000), por las características agroclimáticas de precipitación pluvial y su distribución durante el ciclo del cultivo. Esto también se ve reflejado en el hecho de que no hubo diferencias en rendimiento con y sin aplicación del tratamiento fungicida, por lo que se piensa que fueron otros factores, como cantidad y distribución de la precipitación pluvial, lo que afectó el rendimiento, entre los más bajos; situación y consecuencias también encontradas por Sánchez *et al.* (2012) para maíz de temporal. En este caso, no existe correspondencia entre la mayor producción y ciclo más largo del cultivo, ya que la localidad con mayor rendimiento no presentó el mayor ciclo de crecimiento y viceversa. Además, el rendimiento con y sin aplicación de fungicida fue diferente dentro de la localidad, excepto en La Concepción, Puebla, donde no hubo diferencias por lo mencionado anteriormente (Cuadro2).

Cuadro 2. Comparación de medias de variables de trigo con y sin fungicida evaluado en distintas localidades de México. Ciclo P-V 2013.

Localidad	ESP	MAD	ALT	REND	RENDcf	RENDsf	Tukey ($\alpha=0.05$) ^{§§}
Velasco, Tlax.	66 b	131a	95 a	4362 a	5275 a	3448 b	353.6
Nanacamilpa 1, Tlax.	70 a	123 c	85 b	3046 b	3139 a	2952 a	220.6
Juchitepec, Méx.	65 c	120 d	73 c	2918 b	3887 a	2749 b	252.0
Nanacamilpa 2, Tlax.	70 a	130 b	88 b	2100 c	2653 a	1546 b	170.4
La Concepción, Pue.	64 c	123 c	72 c	1963 c	2062 a	1865 a	367.5
Tukey ($\alpha=0.05$) [§]	1.0	0.6	4.0	395.3			

ESP, Días a espigamiento; MAD, Días a madurez fisiológica; ALT, Altura de planta (cm); RENDcf, Rendimiento con fungicida (kg ha⁻¹); RENDsf, Rendimiento sin fungicida (kg ha⁻¹). Medias con la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes; §, Diferencia Mínima Significativa (DMS) entre localidades; §§, DMS solamente de rendimiento con y sin fungicida dentro de localidad.

Los resultados de la evaluación de las variedades y líneas avanzadas, en cuanto a incidencia de roya, rendimiento y pérdidas en rendimiento de grano se presentan en el Cuadro 3, donde se observa que con fungicida las variedades que mostraron los más altos rendimientos fueron Norteña F2007, Temporalera M87, Triunfo F2004 y Nana F2007, que superaron las 3.5 t ha⁻¹, mientras que con el mismo tratamiento los menores rendimientos se obtuvieron en la variedad Salamanca S75, dado que es una variedad generada

para condiciones de riego de El Bajío, hace más de 30 años, y su resistencia genética a roya amarilla venció en 2005 ante la raza identificada con el aislamiento MEX03.37, caracterizada por infectar variedades que habían sido resistentes, lo que finalmente produjo un incremento en los niveles de susceptibilidad de las variedades recomendadas (Huerta *et al.* 2012). Esto ocasionó el uso de fungicidas para reducir pérdidas (Rodríguez *et al.*, 2009) al registrar lecturas altas de

incidencia de roya, hasta de 80S y pérdidas sin aplicación de fungicida hasta de 26 %.

En el tratamiento sin fungicida los mejores rendimientos se alcanzaron en las variedades Nana F2007, Rebeca F2000 y las líneas Chicalote "s", Santa Lucia "s" y Don Carlos "s", cuyos rendimientos variaron de 2.6 a 3.4 t ha⁻¹, atribuido a que tienen buena resistencia genética a roya amarilla, dadas las lecturas registradas; no así Rebeca F2000, cuya resistencia fue vencida por el patógeno en años

anteriores y que aquí mostró lecturas de susceptibilidad (60S), mientras los menores rendimientos se obtuvieron en las variedades Maya S2007, Salamanca S86 y Cortázar S96, ya comentadas sus posible causas. Las variedades que fueron menos afectadas en el rendimiento por los tratamientos Con Fungicida y Sin Fungicida, fueron Rebeca F2000 y Nana F2007 y las líneas Chicalote "s", Don Carlos "s" y Santa Lucia "s", con valores que fueron de 1.2 a 17% de diferencia, al manifestar mayor nivel de resistencia a roya lineal amarilla (Cuadro 3).

Cuadro 3. Incidencia de roya amarilla (Yr) en la localidad de Velasco, Tlaxcala, disminución de rendimiento por variedad y porcentaje de pérdidas con y sin aplicación de fungicida. Ciclo PV-2013.

Variedad	Yr (cf)	Yr (sf)	REND (cf)	REND (sf)	Di† (kg)	Di†† (%)
Chicalote "s"	10R	20MR	3490	3447	43	1.2
Don Carlos "s"	10R	20MR	2862	2676	186	6.4
Rebeca F2000	10R	40S	3339	3110	229	7.0
Nana F2007	10R	20MR	3572	3032	540	15
Santa. Lucia "s"	15R	20MR	3354	2791	563	17
Gálvez M87	15R	90S	3422	2749	673	20
Altiplano F2007	10R	20MR	3448	2659	789	22
Monarca F2007	15R	50S	3407	2653	754	22
Batán F96	10R	60S	3016	2314	702	23
Bárceñas S2000	15R	80S	2987	2211	776	25
Tlaxcala F2000	15R	50S	3231	2421	810	25
Náhuatl F2000	10R	50S	2893	2128	765	26
Salamanca S75	20MR	80S	2711	2018	693	26
Josecha F2007	10R	80S	3427	2494	933	27
Urbina S2007	15R	60S	2898	2112	786	27
Norteña F2007	10R	50S	3788	2742	1046	28
Maya S2007,	20MR	60S	2909	2023	886	30
Temporalera M87	10R	80S	3620	2548	1072	30
Triunfo F2004	15R	50S	3591	2394	1197	33
Cortazar S94	15R	70S	3098	1760	1338	43
Tukey ($\alpha=0.05$)			1013.3		1036.6	
Media			3249	2515	734	22.6

Di, Diferencia; REND, Rendimiento (kg ha⁻¹); cf, con fungicida; sf, sin fungicida; †, Diferencia en peso; ††, diferencia porcentual.

El mayor porcentaje de disminución de rendimiento de las variedades Cortázar S94 y Maya S2007, es por ser

creadas para condiciones de riego y evaluadas en condiciones de temporal, mientras que Triunfo F2004

y Temporalera M87, presentaron de 30 a 43% de disminución sin aplicación del fungicida, indicativo de una pérdida gradual de resistencia ante enfermedades; por lo que es factible la aplicación del producto para controlar la enfermedad (Rodríguez *et al.*, 2009).

La roya amarilla y de la hoja constantemente amenazan la producción de trigo de temporal y riego en el país, debido a la capacidad de vencer la resistencia específica de variedades nuevas, a través de la evolución hacia nuevas razas fisiológicas con nuevos genes de virulencia, por lo que la estrategia con la que se ha logrado controlar ésta enfermedad es el uso de variedades resistentes, que requieren constantemente de fuentes de resistencia (Huerta *et al.*, 2012). De ésta manera, las variedades que fueron generadas para riego, mostraron lecturas de roya amarilla de 50S a 80S y, en algunas repeticiones, hasta del 100S de infección, independientemente de la localidad y sin aplicación de fungicida, hecho atribuido a la pérdida de resistencia genética (Villaseñor *et al.*, 2012).

Resulta importante resaltar que las variedades Nana F2000, Altiplano F2007 y las líneas avanzadas Chicalote "s", Don Carlos "s" y Santa Lucia "s", mostraron buen grado de resistencia aún sin la aplicación del fungicida, ya que registraron lecturas en las localidades que fueron de 5R a 20MR, como máximo de infección; por lo tanto, se puede decir que

todavía conservan resistencia genética a la roya amarilla, por la menor lectura en Nana F2007 y Altiplano F2007; cualidad que las recomienda para siembras en Valles Altos de México. En lo que respecta a las tres líneas avanzadas sobresalientes próximas a hacer liberadas como nuevas variedades, Don Carlos "s" y Santa Lucia "s", también presentaron grados de infección variables que no superaron 20MR de infección. Al respecto, Villaseñor *et al.* (2009) encontró resultados similares en variedades de trigo para temporal, con altos niveles de resistencia, conferidos por tres o cuatro genes de efecto aditivo. Singh y Rajaram (1994) determinaron que la resistencia de *Puccinia striiformis* es controlada por uno a tres genes aditivos. En este estudio se infiere que, dichos genes, son los que confieren mayor resistencia en tales materiales, al mostrar niveles bajos de infección.

Las variedades de trigo de gluten suave para siembras de riego Cortazar S94, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007 liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Trigo (INIFAP-CEBAJ) mantienen diferentes niveles de resistencia a razas de roya amarilla presentes en condiciones de temporal en los Valles Altos, semejante a las de gluten fuerte Triunfo F2004, Tlaxcala F2000, Náhuatl F2000, Josecha F2007, Norteña F2007 y Monarca F2007, cuyas pérdidas de rendimiento causadas por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, fueron de 22 a 43 % (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

La aplicación del fungicida Azoxystrobin+ Propiconazole en dosis de 0.8 L ha⁻¹ no afectó altura de planta (ALT) y días a espigamiento (ESP), ya que las aplicaciones coincidieron con el inicio de espigamiento. Los mejores rendimientos de grano, aun sin la aplicación de fungicida, se tuvieron en Velasco y Nanacamilpa, Tlaxcala. Las variedades con menor pérdida fueron Nana F2007 y Altiplano F2007, por su resistencia genética a la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Las variedades Tlaxcala F2000

y Náhuatl F2000 podrían constituirse en una opción de siembra mediante aplicación de fungicidas, ya que en los tratamientos sin fungicida tuvieron infecciones que llegaron a ser de 50S y pérdidas de 25 %. Las líneas uniformes Don Carlos "s", Santa Lucia "s" y Chicalote "s" mostraron niveles altos de resistencia genética a roya amarilla y alta productividad a través de ambientes ya que tuvieron las menores pérdidas, 1.2 a 17 %, por efecto de la aplicación o no de fungicida.

Agradecimientos

A CONACYT, por el apoyo financiero a través del proyecto No. 146788: "Sistema de mejoramiento genético para generar variedades de trigo resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable en México".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Branlard G; Dardevet N; Amieur M; Igrejas G (2003). Allelic diversity of HMV and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50:669-679.
- Espitia RE; Martínez CE; Peña BRJ; Villaseñor MHE; Huerta EJ (2008). Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agricultura Técnica en México* 34(1):57-67.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) (2008). FAO Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://faostat.fao.org/>. Consulta: octubre, 2010.
- Huerta EJ; Torres GR; Rodríguez GMF; Villaseñor MHE; Leyva MSG; Solís ME (2012). Resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (5): 879-891.
- Peña BRJ; Trethowam R; Pfeiffer WH; Van-Ginkel M (2002). Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic and environmental factors. *In: Basra AS; Randhawa LS* (eds.). *Quality Improvement in Field Crops*. Food Products Press, an imprint of the Haworth Press, New York. 1-37 pp.
- Rodríguez GMF; Huerta EJ; Villaseñor MHE; Solís ME (2009). Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de riego en México. *Agricultura Técnica en México*. 35(2):179-187.
- Rodríguez PJE; Sahagún CJ; Villaseñor MHE; Molina GJD; Martínez GA (2002). Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(2):143-151.
- Rodríguez PJE; Sahagún CJ; Villaseñor MHE; Molina GJD; Martínez GA (2005). La interacción genotipo por ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia* 39:51-64.
- Roelfs AP; Singh RP; Saari EE (1992). *Las Royas del Trigo: Conceptos y Métodos para el Manejo de esas Enfermedades*. México, D.F. CIMMYT. 81 pp.
- Sánchez CI; Inzunza IMA; Catalán VEA; González BJL; González CG; Velásquez VM (2012). Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (4): 805-811
- SAS Institute. 2010. SAS systems for information delivery for Windows. Release 9.2. Cary, North Caroline. USA
- Shan X; Clayshulte SR; Haley SD; Byrne PF (2007). Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. *Journal of Cereal Science* (45):199-208.
- SIAP (2013). (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). SAGARPA. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>. Consulta: marzo de 2014.
- Singh RP and Rajaram S (1994). Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica* 72:1-7.
- Singh RP; Huerta EJ and William HM (2001). Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo. *In: estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo un enfoque multidisciplinario*. Man MK; Díaz AM; Castro M (Eds.). La Estanzuela, Uruguay. Del 8 al 11 de Octubre. 109-117 pp.
- Slafer AG y Calderini DF (2003). Herramientas fisiológicas para el mejoramiento del rendimiento de trigo. *In: Seminario Internacional sobre Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento del Trigo: Un Enfoque Multidisciplinario*. Man MK; Díaz AM; Castro M. (Eds.) CIMMYT-INIA: La Estanzuela, Uruguay. 13-24 pp.
- Soomro UA; Rahman MU; Odhano EA; Gul S; Tareen A (2009). Effects of sowing method and seed rate on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*). *World Journal of Agricultural Science* 5: 159-162.
- Villaseñor MHE; Espitia RE (2000). Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor MHE; Espitia RE* (eds.). *El trigo de temporal en México*. (Libro Técnico Núm. 1). Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México. División Agrícola. México. p. 85-98.
- Villaseñor EOM; Huerta EJ; Leyva MSG; Villaseñor MHE; Singh RP; Sandoval IJS; Espitia RE (2009). Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(3): 217-233.
- Villaseñor MHE; Hortelano SRR; Martínez CE; Mariscal ALA; Leyva MSG; Huerta EJ (2012). Control químico de las enfermedades: una alternativa para la producción de trigo de temporal en Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (3): 595-600.