

Respuesta de genotipos de avena a la infección por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* en Valles Altos de México

Santos Gerardo Leyva-Mir¹

Héctor Eduardo Villaseñor-Mir²

Moisés Camacho-Tapia³

Graciela Dolores Ávila-Quezada⁴

Elizabeth García-León³

Juan Manuel Tovar-Pedraza^{1§}

¹Departamento de Parasitología Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 01(595) 9521500, ext. 6304 (lsantos@correo.chapingo.mx; jmtovar@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 01(595) 9212715, ext. 161. (villasenor.hector@inifap.gob.mx). ³Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México, México CP. 56230 (camacho.moises@colpos.mx; elizabeth.garcia@colpos.mx). ⁴Facultad de Zootecnia y Ecología-Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua. CP. 33820. (gavilaq@gmail.com).

§Autor para correspondencia: jmtovarp91@gmail.com.

Resumen

La roya del tallo de la avena, causada por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, ha aumentado su incidencia y severidad significativamente en parcelas de temporal distribuidas en Valles Altos de México. El objetivo de este estudio fue de determinar la respuesta de 28 genotipos de avena de temporal a la infección por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* bajo condiciones de campo, durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Las parcelas grandes fueron cinco fechas de siembra y las parcelas chicas estuvieron constituidas por los 28 genotipos de avena. La variable respuesta fue el porcentaje de daño de roya del tallo en cada uno de los genotipos, desde que se inició la enfermedad hasta el término de cada ciclo del cultivo. La variedad de avena más resistente a la roya del tallo fue Diamante R-31, seguida por Nodaway, AB177 y Teporaca. Mientras que las variedades más susceptibles fueron Guelatao, Tulancingo y Ópalo. Asimismo, las fechas de siembra 1 (23 de junio) y 2 (30 de junio) presentaron los menores porcentajes de severidad de la enfermedad. Adicionalmente, se observó que el rendimiento de grano de avena disminuye severamente en presencia de la roya del tallo y sin ser controlada con algún fungicida.

Palabras clave: *Avena sativa*, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, fungicida, severidad.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

En México, la superficie sembrada con avena (*Avena sativa* L.) ha aumentado, aunque no se produce suficiente para abastecer las demandas. El área sembrada con avena en México en 2014 fue 833 221 ha distribuidas en todas las zonas agrícolas del país (SIAP, 2015). Por su adaptación a condiciones ambientales diversas, la avena se considera un cultivo alternativo en los Valles Altos de México y en la región semiárida del norte-centro, particularmente cuando el inicio del período de lluvias se atrasa o la temperatura baja, pues la siembra de los cultivos tradicionales, como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se pone en riesgo (Villaseñor-Mir *et al.*, 2003).

Es importante indicar que la avena es una excelente opción para la reconversión productiva de las tierras de baja productividad con aptitud pecuaria en las regiones en las que la estación de crecimiento es corta y que actualmente se utilizan en la producción de cultivos tradicionales; sin embargo, para que este cultivo llegue a ser de amplio uso, es necesario disponer de variedades aptas para la producción de forraje y grano con un conjunto de atributos agronómicos y fitopatológicos que permita minimizar el efecto negativo de la incidencia de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) y de la roya de la corona (*Puccinia coronata* var. *avenae*), así como la ocurrencia de heladas tempranas y sequía intermitente (Villaseñor-Mir *et al.*, 2003).

A nivel mundial, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* es el patógeno más destructivo del cultivo de avena, ya que ha ocasionado severas epidemias en las principales áreas productoras de Sudáfrica (van Niekerk *et al.*, 2001), Australia (Keiper *et al.*, 2006; Hake *et al.*, 2008), Canadá (Gold-Steinberg *et al.*, 2005; Michell y Fetch, 2011), Suecia (Berlin *et al.*, 2013) y China (Li *et al.*, 2015). En México, la roya del tallo es la enfermedad que más afecta a la producción de avena, ya que puede disminuir el rendimiento hasta 50%, debido a que este patógeno afecta desde la etapa de plántula hasta el llenado del grano, además de que se utilizan variedades altamente susceptibles (Leyva-Mir *et al.*, 2013).

Asimismo, la enfermedad es especialmente importante en los ciclos primavera-verano en la zona centro de México (Leyva-Mir *et al.*, 2013; García-León *et al.*, 2015), razón por la cual estos ambientes no pueden ser adecuados para la producción de semilla y la producción en otoño-invierno en el Bajío mexicano se vuelve una opción (Bobadilla-Meléndez *et al.*, 2013).

El mejoramiento genético de avena en México se inició en 1960 y desde entonces el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha sido la principal estación en donde se ha realizado la liberación de variedades. A la fecha, ha puesto a disposición de los agricultores más de 30 variedades, las cuales han sido la base de la producción nacional (Villaseñor-Mir *et al.*, 2009). Asimismo, los criterios de selección del programa de mejoramiento genético de avena en México, se han enfocado principalmente sobre, la mayor producción de grano, resistencia a la roya del tallo, buena respuesta en condiciones de temporal limitante (sequía) y mayor tolerancia al acame (Jiménez-González, 1992; Villaseñor-Mir *et al.*, 2009).

La época de siembra define no solo el rendimiento y otros aspectos agronómicos del cultivo, sino también la expresión de algunos atributos de calidad, presencia o ausencia de organismos dañinos, por lo que deberá seleccionarse cuidadosamente aquella que permita obtener el mejor

rendimiento y calidad (Forsberg y Reeves, 1995). Además, la época de siembra se asocia con la duración del día, radiación solar y temperatura, por lo que es importante identificar las zonas más adecuadas para el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo. Por esta razón, la fecha óptima debe determinarse en cada localidad, lo que dependerá del clima, la incidencia de plagas y enfermedades, así como de otros factores (Bobadilla-Meléndez *et al.*, 2013).

El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta de 28 genotipos de avena de temporal de los Valles Altos de México a la infección por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, en cinco fechas de siembra durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El experimento se llevó a cabo durante los ciclos primavera-verano (P-V) de 2013 y 2014, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Chapingo, Estado de México, México a 19° 29' latitud norte y 99° 53' longitud oeste, a una altitud de 2 250 m, con una precipitación promedio anual de 640 mm y 15 °C de temperatura media anual (García, 1981).

Establecimiento del experimento

Se evaluaron bajo condiciones de temporal 28 variedades de avena pertenecientes a la colección del CEVAMEX en cinco fechas de siembra y con un espaciamiento de 07 días entre cada fecha. La primera fecha de siembra fue el 23 de junio, la segunda el 30 de junio, la tercera el 07 de julio, la cuarta el 14 de julio y la quinta se efectuó el 21 de julio, de los ciclos P-V 2013 y 2014. La preparación del terreno consistió en un barbecho y un paso de rastra con la finalidad de que el terreno quedara mullido y así obtener una germinación uniforme. La siembra se realizó de manera manual, a una densidad de 60 kg ha⁻¹. Se dejó que la presencia del patógeno ocurriera de manera natural, debido a que las condiciones ambientales donde se llevó a cabo el experimento son altamente favorables para el desarrollo de la enfermedad.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Las parcelas grandes fueron las cinco fechas de siembra y las parcelas chicas estuvieron constituidas por las 28 variedades. Se establecieron 28 unidades experimentales que se conformaron de cuatro surcos con 5 m de largo × 0.3 m de ancho, y de cada una se realizaron cuatro repeticiones.

Las evaluaciones se realizaron sólo en los dos surcos centrales de cada unidad experimental y la variable respuesta fue el porcentaje de daño causado por la roya del tallo en cada una de las variedades de avena desde que se presentó la enfermedad hasta el término de cada ciclo del cultivo. Cabe mencionar que al momento de analizar los datos para una fecha el diseño experimental fue completamente al azar; sin embargo, cuando se analizaron en conjunto todas las fechas, se eligió un diseño en parcelas divididas (Montgomery, 2003).

Los datos de incidencia y severidad se registraron en todas las variedades hasta finalizar cada uno de los ciclos; las evaluaciones fueron cada 8 días en 5 fechas y en todas las variedades.

Variables evaluadas

La enfermedad se presentó a inicios de septiembre del 2013 y 2014, a partir de esta fecha se inició la toma de datos. En cada variedad y en cada fecha de siembra se evaluó la severidad de manera visual cada 8 días hasta la madurez comercial del cultivo utilizando la escala modificada de Peterson *et al.* (1948), que consiste en tomar valores de severidad de la enfermedad de 01 a 100%.

Por otra parte, se evaluó el rendimiento de cada una de las variedades en cada fecha. Al concluir los ciclos de cultivo 2013 y 2014, se cosecharon 10 tallos al ras de suelo por cada variedad y en cada una de las cinco fechas de siembra. Posteriormente las muestras se trillaron para obtener el rendimiento de grano usando una báscula analítica, y de esta manera se comparó el rendimiento de grano de cada una de las variedades en cada fecha. Además, se comparó el peso de 1 000 semillas sin tratamiento fungicida contra el peso de 1 000 semillas de las mismas variedades, pero tratadas con el fungicida tebuconazol (Folicur[®], Bayer) a una concentración de 2 mL de producto comercial por L de agua, asperjándose en forma total a la planta durante una fecha del ciclo del cultivo.

Finalmente, los días a floración se determinaron contando los días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que 50% de las espiguillas de cada variedad llegaron a floración. Mientras que, los días a madurez comercial se obtuvieron contando los días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo de la panícula se tornó de color amarillo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del porcentaje de severidad de todos los muestreos, en las diferentes fechas de siembra y en todas las variedades durante cada ciclo de cultivo, se ajustaron a un modelo de progreso de la epidemia de tipo exponencial con el programa Curve Expert 2[®]. Asimismo, con dicho modelo se calculó área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) como parámetro integrativo usando Scientific Work Place 5[®]. Se realizó una prueba de T para determinar si hubo diferencias en los valores de ABCPE de las distintas variedades en las 5 fechas de siembra y de ambos ciclos. Con el paquete estadístico SAS (Versión 9.1) se realizó un análisis de varianza (Anova) y comparaciones de medias empleando la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) ($\alpha=0.05$), por fecha (completamente al azar) y un análisis de varianza y comparaciones de medias entre fechas (parcelas divididas).

Resultados y discusión

Respuesta de variedades a la infección

La enfermedad se presentó a inicios de septiembre en ambos años, tiempo cuando se observaron las primeras pústulas en hojas y tallos de las variedades susceptibles. En la primera fecha se observaron los primeros síntomas y de esta se diseminó a las otras fechas. De acuerdo con la prueba de T, el

ABCPE de los dos ciclos evaluados no tuvieron diferencias significativas; de tal manera que se usó la media obtenida de los dos ciclos para los análisis. El Anova realizado con todas las variedades en las cinco fechas de siembra mostró diferencias significativas ($p= 0.05$).

Al realizar la comparación de medias con DMS se observó que la variedad que presentó la menor ABCPE en las cinco fechas de siembra fue Diamante R-31 (Cuadro 1), lo cual coincidió con Jiménez-González (1992), quien describió esta variedad como una de las más resistentes a la roya del tallo por poseer genes de resistencia a diversas razas. Asimismo, las variedades Nodaway, AB177 y Teporaca también fueron resistentes a la infección causada por *P. graminis* f. sp. *avenae*, coincidiendo con lo indicado por Salmerón-Zamora (2001), para el caso de la variedad Teporaca.

Cuadro 1. Valores de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en 28 genotipos de avena en 5 fechas de siembra durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Variedad	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	Media (combinada)
Guelatao	2390.5	2600.5	2776.7	2758	2450	2595.1 a
Tulancingo	2397.5	2671.7	2473.3	2676.3	2467.5	2537.3 ab
Ópalo	2327.5	2460.5	2444.2	2438.3	2397.5	2413.6 abc
Cuauhtémoc	1976.3	1814.2	2279.7	2310	2390.5	2154 abcd
Texas	1629.8	2117.5	2437.2	2362.5	1820	2073 abcde
Pampas	2100	2000.8	1925	2024.2	2310	2072 abcde
Perla	1855	1853.8	2251.7	1894.7	2135	1998 bcdef
Cevamex	1918	2172.3	1919.2	1890	2047.5	1989.4 bcdefg
Huamantla	1890	1556.3	1953	2191	1888.8	1896 cdefgh
Paramo	1935.5	1505	1761.7	2013.7	1731.3	1789.4 defghi
Chihuahua	1830.5	1369.7	2123.3	1534.2	2088.3	1789 defghi
Gema	1697.5	2173.5	1895.8	1575	1417.5	1752 defghi
Babicora	1260	1258.8	1545.8	1890	2286.7	1648 defghij
Obsidiana	1620.5	1235.5	1685.8	1709.2	1843.3	1619 defghij
Tarahumara	1423.3	1305.5	1806	1627.5	1468.8	1526.2 efg hijk
Karma	1277.5	1433.8	1370.8	1790.8	1585.5	1491.7 fghijk
Raramuri	1155	1655.5	1674.2	1715	1120	1464 fghijk
Bachiniva	1165.5	1334.7	1510.8	1295	1884.2	1438 ghijkl
Cusihuiriachi	1298.5	1159.7	1265.8	1388.3	1872.5	1397 hijkl
Putnam61	1225	1451.3	1761.6	1295	1242.5	1395.1 hijkl
Papigochi	1018.5	1387.2	1036	1540	1709.2	1338 ijklm
Turquesa	1114.2	1398.8	1212.2	1155	1289.2	1233.9 ijklm
Juchitepec	990.5	990.5	1281	1556.3	1136.3	1191 jklm
Menonita	1008	1194.7	1012.7	1061.7	1610	1177 jklm
Teporaca	1018.5	808.5	850.5	1193.5	1060.5	986.3 klm
AB177	791	779.3	826	1057	980	886.7 l mn
Nodaway	598.5	780.5	784	955.5	940.3	811.8 mn
Diamante R-31	413	402.5	434	434	423.5	421.4 n

*= Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales ($\alpha= 0.05$).

La importancia de conocer variedades de avena que pueden servir como fuente de resistencia a la roya del tallo es clave para los programas de mejoramiento, además de que el uso de variedades resistentes es la estrategia más usada para el control de esta enfermedad (Mariscal-Amaro *et al.*, 2010; Leyva-Mir *et al.*, 2013).

Las variedades que resultaron más susceptibles y que presentaron una mayor ABCPE fueron Guelatao, Tulancingo y Ópalo. En el caso de la variedad Tulancingo se difirió con lo indicado por Castro-Melendrez y Jiménez-González (1981), quienes la consideraron como moderadamente resistente a la roya del tallo, sin embargo, en esta investigación fue una de las variedades más susceptibles durante los dos ciclos evaluados. Entretanto, en el caso de las variedades Guelatao y Ópalo, nuestros resultados coincidieron con los reportados por Jiménez-González (1992), quien reportó a estas variedades como altamente susceptibles a la roya del tallo.

Comparación entre fechas de siembra

De acuerdo al Anova, en las cinco fechas de siembra ($p= 0.05$), hubo diferencias altamente significativas. Asimismo, la comparación de medias con DMS (Cuadro 2) indicó que las fechas de siembra 1 y 2 presentaron los menores valores de ABCPE (severidad de roya del tallo), coincidiendo con Tovar (1974), quien aseguró que existe efecto de diferentes fechas de siembra sobre el rendimiento ante el ataque de la roya del tallo en variedades de avena.

Cuadro 2. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para cada una de las 5 fechas de siembra de 28 genotipos de avena durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Fechas de siembra	ABCPE
Fecha 5 (21 de julio)	1657.58 a*
Fecha 4 (14 de julio)	1643.08 a
Fecha 3 (7 de julio)	1619.13 a
Fecha 2 (30 de junio)	1471.38 b
Fecha 1 (23 de junio)	1431.63 b

*= Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (DMS, 0.05).

Al analizar las interacciones entre cada una de las variedades y en todas las fechas de siembra, se observó que, en la mayoría de las variedades de avena, la fecha 1 y 2 podrían considerarse como las mejores, ya que obtuvieron menor ABCPE. Cabe señalar que se encontraron algunas excepciones, como las variedades Gema y Cevamex, en donde la mejor fecha de siembra fue la fecha 4, al igual que la variedad Pampas, en la cual la mejor fecha de siembra fue la 3, mientras que en la variedad Raramuri fue la fecha 5. Esto demuestra que hay variedades que son más susceptibles a la roya del tallo en determinadas fechas y por tal motivo los rendimientos de una variedad en diferentes fechas van a depender de las condiciones ambientales con que cuenta la enfermedad para dañar el cultivo y disminuir el rendimiento, como lo mencionaron Leyva-Mir *et al.* (2004).

Los resultados generados en este estudio pueden ser considerados para tomar decisiones sobre el momento óptimo para realizar la siembra y así obtener un mayor rendimiento de estos 28 genotipos de avena bajo condiciones de temporal en los Valles Altos de México. De manera similar, Bobadilla-Meléndez *et al.* (2013), comprobaron que las fechas de siembra, variedades y densidades, tienen influencia directa en la productividad y en la calidad física de la semilla.

Porcentaje de daño en la última evaluación

Las variedades avena evaluadas mostraron un incremento en la severidad de la primera a la cuarta fecha de siembra. La roya del tallo causó menor porcentaje de daño en fechas más tempranas en comparación con fechas más tardías; es decir, a fechas más tempranas las variedades de avena pueden escapar al ataque de la roya (Cuadro 3). Lo anterior, concuerda con el trabajo de Smith (1992), quien encontró que uno de los mejores métodos de control de la roya del tallo en avena es elegir el momento adecuado de siembra y evitar las variedades tardías.

Cuadro 3. Porcentaje de severidad de la enfermedad causada por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* en cada una de los 28 genotipos de avena en las 5 fechas de siembra evaluadas durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Variedad	Severidad (%)					Promedio (%)
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	
Texas	61	77	88	90	77	78.6
Nodaway	25	29	28	40	38	32
AB177	30	28	30	38	40	33.2
Putnam61	65	55	80	67	56	64.6
Perla	70	65	85	83	85	77.6
Ópalo	90	85	90	92	90	89.4
Chihuahua	66	50	78	63	80	67.4
Cuauhtémoc	71	67	83	85	88	78.8
Guelatao	93	83	90	93	95	90.8
Tulancingo	90	87	90	88	90	89
Juchitepec	40	38	45	60	45	45.6
Huamantla	75	56	66	78	68	68.6
Diamante R-31	15	15	16	16	15	15.4
Tarahumara	53	48	55	72	51	55.8
Paramo	75	55	65	74	61	66
Gema	80	70	85	80	65	76
Babicora	55	51	65	75	85	66.2
Cusihuirachi	45	46	55	68	82	59.2
Papigochi	37	51	40	70	65	52.6
Raramuri	55	58	70	80	50	62.6
Karma	50	51	52	80	63	59.2
Cevamex	78	76	73	85	88	80
Menonita	43	46	40	50	70	49.8
Bachiniva	48	53	58	67	77	60.6
Obsidiana	63	48	68	82	77	67.6
Turquesa	50	54	53	50	65	54.4
Pampas	75	73	77	80	85	78
Teporaca	35	30	33	40	43	36.2

La variación del porcentaje de daño entre variedades demuestra que cada genotipo contiene genes que le confieren resistencia ante el ataque de la roya del tallo. Para este caso podemos señalar que las variedades Guelatao, Tulancingo, Ópalo, Cuauhtémoc, Texas, Pampas y Perla fueron de las variedades de avena más susceptibles a la roya del tallo. Mientras que las variedades menos susceptibles fueron Diamante R-31, Nodaway, AB177 y Teporaca.

Es importante señalar que la mayoría de las variedades de avena cultivadas en México son susceptibles a la roya del tallo, coincidiendo con Li *et al.* (2015), quienes mencionaron que la mayoría de las variedades que se producen en China y a nivel mundial son susceptibles al patógeno y que varían ampliamente en el nivel de respuesta a la enfermedad.

Tratamiento con fungicida

La comparación del peso promedio de las 5 fechas de siembra sin fungicida y la fecha con fungicida de las 1000 semillas indicó que el rendimiento de grano en presencia de la roya del tallo en todas las variedades de avena tiende a disminuir cuando está presente la enfermedad, debido a que el hongo perturba las relaciones normales de fuente demanda de la planta succionando los asimilados que van a las semillas en desarrollo (Cuadro 4). Smith (1992), encontró que cuando *P. graminis* f. sp. *avenae* perturba la epidermis, la planta puede llegar a secarse, de forma que el flujo de savia no alcanza la espiga y como resultado de ello madure prematuramente formando menos semilla y menor peso del grano.

Cuadro 4. Promedio del peso de 1 000 semillas de 28 variedades de avena cosechadas durante 5 fechas de los ciclos primavera-verano 2013 y 2014, con y sin tratamiento con fungicida.

Variedades	Con fungicida 1 fecha	Sin fungicida \bar{x} de 5 fechas	(%) de pérdida
Texas	3.3	2.36	28
Nodaway	4.5	3.9	13
Ab-177	4.6	3.96	14
Putnam 61	4.2	3.12	26
Perla	3.4	2.38	30
Ópalo	3.1	1.5	52
Chihuahua	4	3.36	16
Cuauhtémoc	4	2.74	32
Guelatao	3.5	2.78	21
Tulancingo	3.2	2.56	20
Juchitepec	4	3.5	13
Huamantla	3	2.42	19
Diamante R-31	3.5	3.32	5
Tarahumara	3.2	2.6	19
Paramo	5	3.74	25
Gema	4	2.9	28
Babicora	3.4	3.12	8
Cusihuirachi	4.1	3.8	7
Papigoche	4.4	3.74	15
Raramuri	4.4	3.2	27

Variedades	Con fungicida 1 fecha	Sin fungicida \bar{x} de 5 fechas	(%) de pérdida
Karma	4.1	3.16	23
Cevamex	4.8	3.18	34
Menonita	3.7	3.04	18
Bachiniva	4.4	3.18	28
Obsidiana	4.1	3.24	21
Turquesa	4.4	3.4	23
Pampas	4.3	3.16	27
Teporaca	4.1	3.52	14

En el caso de la variedad Ópalo, la cual es altamente susceptible a la infección por *P. graminis* f. sp *avenae*, se encontró una reducción de 52% del rendimiento comparado con el tratamiento con aplicación de fungicida. Esto coincidió con May *et al.* (2014), quienes recomendaron que la aplicación de fungicida para el control de royas en avena, únicamente se debe realizar en variedades altamente susceptibles. Según Murray (2007), el tiempo de aplicación de los fungicidas es crítico para el éxito en el control de la enfermedad. Asimismo, los tratamientos pueden ser aplicados como tratamientos a la semilla, en mezcla con fertilizantes o asperjados sobre el cultivo.

Cabe mencionar que el porcentaje de pérdida de rendimiento en algunas variedades de avena no coincidió con el porcentaje de susceptibilidad o daño ocasionado por la roya del tallo, tal es el caso de la variedad Guelatao que fue una de las variedades más susceptibles a la roya del tallo, aunque no fue la que más pérdida de rendimiento obtuvo. Lo anterior coincidió con Epstein *et al.* (1988) y Leyva-Mir *et al.* (2004), quienes mencionaron que existen genotipos de avena que son altamente susceptibles a la infección por la roya del tallo pero que muestran un rendimiento aceptable por ser de alto potencial de rendimiento.

Días a floración

Las variedades con menos días a floración fueron Diamante R-31 (resistente a roya) y Paramo. Esto es importante, ya que entre más precoz sea una variedad, además de la elección de un momento adecuado de siembra, puede reducir los riesgos de pérdida por la roya del tallo (Smith, 1992). Por tal motivo la variedad Diamante R-31 puede ser una alternativa como fuente de resistencia si se desea realizar alguna cruce con alguna variedad de avena rendidora pero susceptible a la roya del tallo.

La variedad Ópalo mostró ser una de las variedades más tardías en días a floración y una de las más susceptibles a la roya del tallo, lo que indica que este tipo de variedades son más difíciles de poder escapar del ataque de este hongo fitopatógeno, aun y cuando se adelanten las fechas de siembra (Figura 1). Los días a floración nos permiten elegir las variedades más precoces cuando la finalidad de la producción de dichas variedades sea para forraje, pero cuando se requieren para grano se necesita conocer los días a madurez y así calcular la fecha de siembra en la cual pueda librarse del ataque de la roya del tallo.

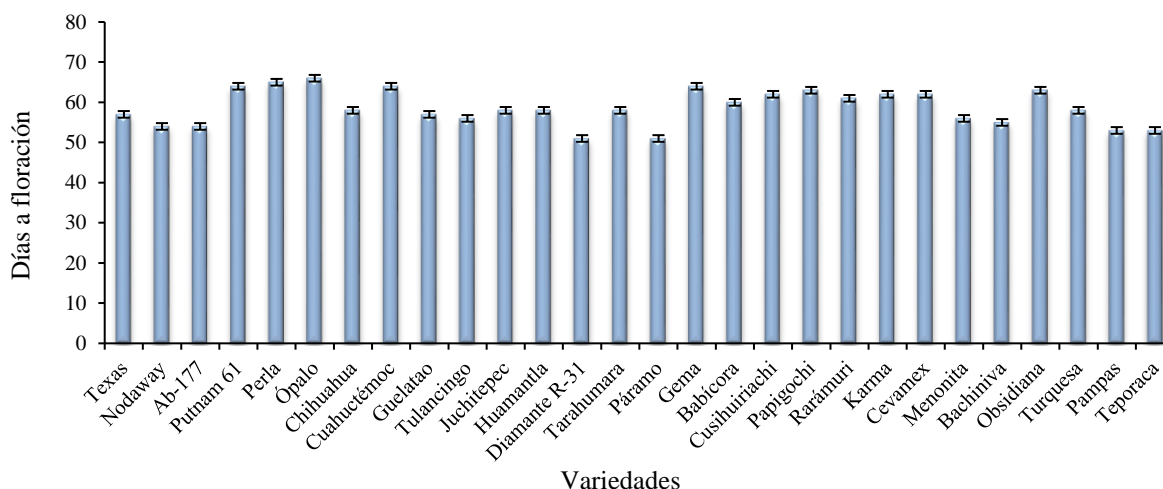


Figura 1. Días a floración de 28 variedades de avena sembradas bajo temporal en los Valles Altos de México durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Días a madurez

Se observó que la variedad Diamante R-31 fue una de las variedades más resistentes a la roya, aunque su ciclo fue más tardío en comparación a las variedades más precoces (Figura 2), las cuales se comportaron como altamente susceptibles, lo que nos indicó que la mejor forma de controlar esta enfermedad es generando variedades de avena que contengan resistencia horizontal. De manera similar Cornide *et al.* (1993), mencionaron que la resistencia horizontal es genéticamente poligénica y tiene como principal característica la falta de especificidad ante una serie de razas, motivo por el cual retrasa el desarrollo de una epidemia o nueva raza.

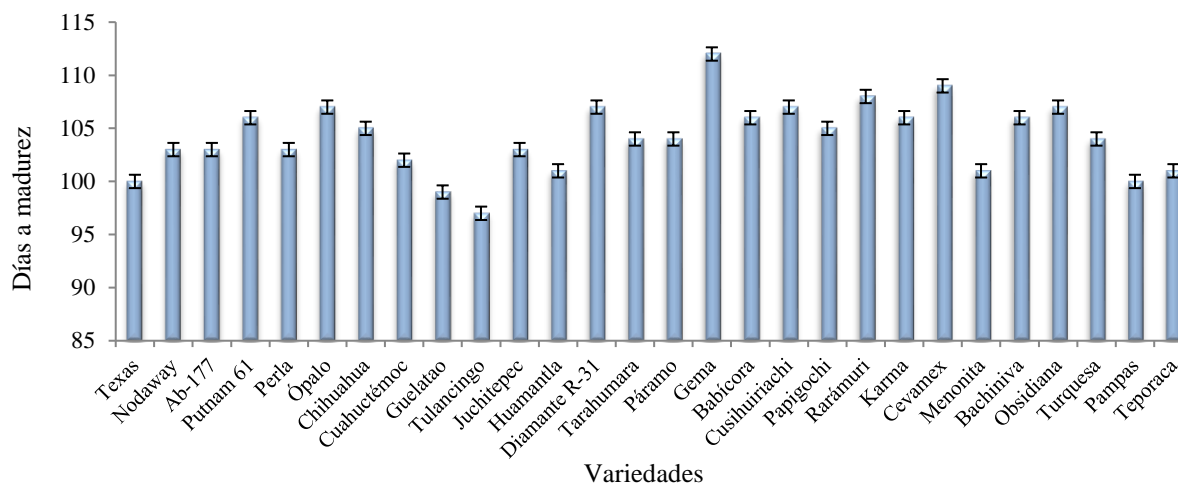


Figura 2. Días a madurez de 28 variedades de avena sembradas bajo temporal en los valles altos de México durante los ciclos primavera-verano 2013 y 2014.

Por otra parte, en las variedades susceptibles y precoces, los rendimientos van a disminuir a menos que se siembren en épocas donde logren escapar al ataque de la roya, las cuales serán los periodos cuando esta enfermedad no tenga las condiciones adecuadas para desarrollarse y por consiguiente dañar severamente al cultivo.

Conclusiones

Las mejores fechas de siembra de avena bajo temporal fueron las fechas del 23 y 30 de junio del 2013 y 2014, ya que fueron las fechas con menor severidad de la roya del tallo causada por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*.

La variedad de avena más resistente a la roya del tallo en las 5 fechas de siembra evaluadas fue Diamante R-31, que además es precoz, por lo que se infiere que puede poseer genes menores de resistencia durable. Mientras que, las variedades más susceptibles a la roya del tallo en las 5 fechas de siembra fueron las variedades Tulancingo, Guelatao y Ópalo.

Por otra parte, se observó que el rendimiento de avena en presencia de la roya del tallo y sin ser controladas con algún fungicida, disminuye severamente el rendimiento de grano.

Literatura citada

- Berlin, A.; Samils, B.; Djurle, A.; Wirsén, H.; Szabo, L. and Yuen, J. 2013. Disease development and genotypic diversity of *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* in Swedish oat fields. *Plant Pathol.* 62(1):32-40.
- Bobadilla, M. M.; Gámez, V. A. J.; Ávila, P. M. A.; García, R. J. J.; Espitia, R., E.; Moran, V. N. y Covarrubias, P. J. 2013. Rendimiento y calidad de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(7):973-985.
- Castro, M. O. R. y Jiménez, G. C. A. 1981. Tulancingo, nueva variedad temporalera de avena para Valles Altos. Campo Agrícola Experimental Valle de México-INIFAP. Chapingo, Estado de México. Folleto Técnico Núm. 9. 1-8 pp.
- Cornide, M. T.; Lima, H. y Surli, J. 1993. La resistencia genética de las plantas cultivadas. Primera Edición. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. 194 p.
- Epstein, A. H.; Simons, M. D.; Frey, K. J. and Rothman, P. G. 1988. Field resistance of oats to *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* measured by yield and seed weight reduction. *Plant Dis.* 72(2):154-1546.
- Forsberg, R. A. and Reeves, L. D. 1995. Agronomy of oats. *In: the oat crop.* (Ed.). Welch, R. W. 2th (Ed.). Chaoman and Hall. UK. 584:223-244.
- García, L. E.; Leyva, M. S. G.; Villaseñor, M. H. E.; Rodríguez, G. M. F. y Tovar, P. J. M. 2015. Diversidad e incidencia de hongos asociados a enfermedades foliares de la avena (*Avena sativa* L.) en Valles Altos de México. *Rev. Inves. Agrop.* 41(1):53-56.
- García, M. E. 1981. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köpen. Adaptada a condiciones de la República Mexicana. 3^{ra}. (Ed.). México, D. F. 149 p.
- Gold, S. J.; Mitchell, F. J. and Fetch, T. G. Jr. 2005. Evaluation of *Avena* spp. accessions for resistance to oat stem rust. *Plant Dis.* 89(5):521-525.
- Haque, S.; Park, R. F.; Keiper, F. J.; Bariana, H. S. and Wellings, C. R. 2008. Pathogenic and molecular variation supports the presence of genetically distinct clonal lineages in Australian populations of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Mycol. Res.* 112(6):663-673.
- Jiménez, G. C. A. 1992. Descripción de variedades de avena cultivadas en México. SARH-INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central, Campo Agrícola Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. Folleto Técnico Núm. 3. 69 p.

- Keiper, F. J.; Haque, M. S.; Hayden, M. J. and Park, R. F. 2006. Genetic diversity in Australian populations of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Phytopathology*. 96(1):96-104.
- Leyva, M. S. G.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E. y Huerta, E. J. 2004. Pérdidas ocasionadas por (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) causante de la roya del tallo en seis cultivares de avena (*Avena sativa* L.) en los Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22(2):166-171.
- Leyva, M. S. G.; Sillas, C. R.; Villaseñor, M. H. E.; Mariscal, A. L. A. y Rodríguez, G. M. F. 2013. Enfermedades fungosas asociadas al cultivo de avena (*Avena sativa* L.) en el Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(7):1103-1107.
- Li, T.; Cao, Y.; Wu, X.; Chen, S.; Wang, H.; Li, K. and Shen, L. 2015. First report of race and virulence characterization of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* and resistance of oat cultivars in China. *Eur. J. Plant Pathol.* 142(1):85-91.
- May, W. E.; Ames, N.; Irvine, R. B.; Kutcher, H. R.; Lafond, G. P. and Shirliff, S. J. 2014. Are fungicide applications to control crown rust of oat beneficial? *Canadian J. Plant Sci.* 94(5): 911-922.
- Mariscal, A. L. A.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Leyva, M. S. G.; Sandoval, I. S. y Benítez, R. I. 2010. Prueba de similitud en genes con resistencia a roya del tallo en genotipos de avena. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4):541-554.
- Mitchell, F. J. and Fetch Jr. T. 2011. Inheritance of resistance to oat stem rust in the cultivars Ronald and AC Gwen. *Can. J. Plant Sci.* 91(2):419-423.
- Montgomery, D. C. 2003. Diseños y análisis de experimentos. Ed. Limusa Wiley. Balderas 95, México, D. F. 686 p.
- Murray G. M. 2007. Review of diseases of oats for hay: current and future management. Part II: Identification and control options for the diseases of importance. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. <http://www.rirdc.gov.au/reports/FCR/06-120.pdf>.
- Peterson, R.; Campbell, A. and Hannah, A. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian J. Res.* 26(5):496-500.
- Salmerón, Z. J. J. 2001. Teporaca: nueva variedad de avena para temporal, resistente a royas y grano de alto peso específico *Agric. Téc. Méx.* 27(2):175-176.
- Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2015. México. www.siap.gob.mx.
- Smith, I. M. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 536-550 pp.
- Tovar, R. A. 1974. Efecto de cinco fechas de siembra en el rendimiento y escape por precocidad al ataque de las royas de siete variedades comerciales de avena forrajera. Facultad de agronomía de la Universidad Autonomía de Nuevo León. Nuevo León, México. 73 p.
- van Niekerk, B. D.; Pretorius, Z. A. and Boshoff, W. H. P. 2001. Pathogenic variability of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* and *P. graminis* f. sp. *avenae* on oat in South Africa. *Plant Disease*. 85(10):1085-1090.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. y Huerta, E. J. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: historia y aportaciones. *In: 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México*. SAGARPA, INIFAP, Centro de Investigación del Centro, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. 17-30 p.
- Villaseñor, M. H. E.; Limón, O. A.; María, R. A.; Rodríguez, G. M. F.; Huerta, E. J.; Leyva, M. S. G. y Espitia, R. E. 2009. El cultivo de avena de temporal en el estado de Tlaxcala, Áreas potenciales, enfermedades, variedades. INIFAP-CIRCT. Folleto Técnico Núm. 37. 23 p.