

Ágata: nueva variedad de avena (*Avena sativa* L.) para la producción de grano en México

Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹
Eduardo Espitia Rangel¹
Julio Huerta Espino¹
Leodegario Osorio Alcalá²
René Hortelano Santa Rosa^{1§}
Eliel Martínez Cruz¹
María Florencia Rodríguez García¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 18.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. Tel. 01(800) 0882222, ext. 85357. ²Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Melchor Ocampo núm. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca. CP. 68200. Tel. 01(800) 0882222, ext. 86706. (osorio.leodegario@inifap.gob.mx).

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

Resumen

Durante los últimos cinco años la superficie sembrada de avena en México ha fluctuado de 700 000 a 800 000 ha. En 2015 la superficie sembrada con avena (*Avena sativa* L.) en México fue alrededor de las 800 mil hectáreas. La nueva variedad Ágata es de hábito de primavera y fue desarrollada en el Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias mediante la cruce de la línea A: KAR/GAL//ZAF/KAR con la línea B: BLEN/KAR, su genealogía es KAR/GAL//ZAF/KAR/3/BLEN/KAR y su pedigrí es I-4533-0C-12C-0R-0C-3C-0R. La nueva variedad Ágata fue probada durante los años 2011 a 2015 junto con 11 testigos en condiciones de temporal en 81 ambientes. El promedio de su producción de grano fue de 2.7, 4.2, 2.8 y 1.2 t ha⁻¹ en general, ambientes favorables, intermedios y críticos de producción, respectivamente, superior a todos los testigos utilizados desde 14% (Turquesa) hasta 56% (Ópalo), la mayor ventaja en su rendimiento con respecto a las variedades testigo fue en ambientes intermedios de producción, en donde prevalecen condiciones más adecuadas para la incidencia de roya del tallo. Ágata es una variedad de ciclo intermedio, de porte de planta intermedio y moderadamente resistente al acame, que tiene resistencia a moderada resistencia a roya del tallo y roya de la hoja, mostrando mayor nivel de resistencia que todas las variedades testigo, y es tolerante al complejo de enfermedades foliares. Se recomienda para siembras de temporal en las diferentes regiones productoras de avena en México.

Palabras clave: adaptación, rendimiento, variedades de avena.

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: junio de 2018

Durante los últimos cinco años la superficie sembrada de avena en México ha fluctuado de 700 000 a 800 000 ha (SIAP, 2016), incremento que se atribuye a que este cereal se adapta mejor a las condiciones de sequía y bajas temperaturas comparado con maíz, frijol, trigo o cebada (Villaseñor *et al.*, 2015), convirtiéndose la avena en el principal cultivo alternativo cuando se presentan siniestros en los antes indicados o cuando ya no es conveniente sembrarlos. En el país, 90% de la superficie sembrada con avena se destina a la producción de forraje en sus diferentes formas y 10% para producción de grano; asimismo, 81.7% de sus siembras se realizan bajo condiciones de temporal y 18.3% bajo condiciones de riego.

La roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks. y Henn.) es la principal limitante en la producción de avena, enfermedad que puede causar pérdidas hasta de 70% (Leyva *et al.*, 2004) en variedades susceptibles, se considera que la forma más efectiva del control de esta enfermedad es mediante la siembra de variedades resistentes o tolerantes (Roelfs *et al.*, 1992; Huerta-Espino y Singh, 2000) estrategia que ha mantenido el programa de mejoramiento genético de avena del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Villaseñor *et al.*, 2015) desde 1960 y que ahora se pone a disposición de los agricultores e industria de la transformación de avena la variedad Ágata, que ha destacado en más de 81 evaluaciones a nivel nacional por su alto rendimiento de grano y por su reacción a la roya del tallo que fue de resistente (R) a moderadamente susceptible (MS), a las diferentes razas de roya del tallo que han prevalecido en el país durante el período de evaluación de 2011 a 2015, las que según Mariscal *et al.* (2011) son más de 11 razas diferentes.

Origen y características

La variedad de avena Ágata es de hábito de primavera, ciclo intermedio (108 días a madurez fisiológica en promedio), de altura media (97 cm en promedio), es tolerante al acame, resistente a moderadamente resistente a roya del tallo y roya de la corona (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*), tolerante al complejo de enfermedades foliares y responde favorablemente en cualquier tipo de ambiente de producción bajo temporal. Esta variedad se generó en el Programa de Mejoramiento Genético de Avena del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con sede en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), mediante un proceso que incluyó recombinación genética, selección y evaluación. La variedad se obtuvo a través de una cruce simple identificada con el número I- 4 533 y de la aplicación de la combinación de los métodos de selección masivo o poblacional y el de familias derivadas. El masivo se utilizó bajo los principios del método gravimétrico para la selección de grano con mayor peso. A continuación, se describe el proceso de obtención.

La cruce se realizó en primavera- verano (PV) 1999, la F₁ se evaluó en otoño- invierno (O-I) 1999-2000 y su cruce se identificó con el número 4 533, la F₂ se sembró en PV- 2000 y se le aplicó selección bajo el método gravimétrico, en F₃ fue seleccionada la planta número 12, en F₄ se cosechó masivamente la familia número 185, en F₅ se cosechó masivamente la familia número 96, en F₆ se cosechó individualmente la planta número 3 y en F₇ se cosechó masivamente la línea uniforme (Cuadro 1), la que se identificó con la siguiente genealogía y pedigrí:

Genealogía: KAR/GAL//ZAF/KAR/3/BLEN/KAR

Pedigrí: I-4533-0C-12C-0R-0C-3C-0R

Cuadro 1. Proceso de obtención de la variedad Ágata.

Ciclo agrícola/sitio	Genealogía/generación
P-V/1999 en Chapingo, Méx.	Línea A: KAR/GAL//ZAF/KAR Línea B: BLEN/KAR Cruza: KAR/GAL//ZAF/KAR/3/BLEN/KAR
O-I/1999-2000 en Chapingo, Méx.	F ₁ : selección de la cruza 4533.
P-V/2000 en Chapingo, Méx.	F ₂ : siembra en competencia completa y selección de la población 4533 “método gravimétrico” (0C)
P-V/2001 en Chapingo, Méx.	F ₃ : siembra a planta espaciada y selección individual de la planta No. 12 (12C)
O-I/2001-2002 en Roque, Gto.	F ₄ : siembra en competencia completa, selección y cosecha de la familia No. 185 (0R)
P-V/2002 en Chapingo, Méx.	F ₅ : siembra en competencia completa, selección y cosecha de la familia No. 96 (0C)
P-V/2003 en Chapingo, Méx.	F ₆ : siembra a planta espaciada y selección individual de la planta No. 3 (3C)
O-I/2003-2004 en Roque, Gto.	F ₇ : siembra en competencia completa y selección de la línea uniforme (0R)

O-I= otoño-invierno; P-V= primavera-verano; F₁-F₆= generaciones filiales de segregación; F₇= línea uniforme.

A partir del verano de 2005 la línea experimental se evaluó en los diferentes ensayos. Se probó inicialmente en la prueba preliminar de rendimiento (PPR) en localidades del Estado de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala. Posteriormente de 2006 a 2010 se incluyó en los respectivos viveros de selección de avena (VISAVENA) y de 2011 a 2015 se evaluó en el onceavo al quinceavo ensayo nacional uniforme de avena (11^{vo} EUAVENA al 15^{vo} EUAVENA), respectivamente, hasta en 81 localidades ubicadas en 11 estados de la República Mexicana que comprendieron Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Zacatecas.

Reacción a royas y enfermedades foliares

Ágata es resistente a moderadamente susceptible a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*), es resistente a moderadamente resistente a roya de la corona o de la hoja (*P. coronata*) y es tolerante al complejo de enfermedades foliares causado por *Helminthosporium avenae* (mancha foliar), *Septoria avenae* f. sp. *avenae* (mancha foliar) y *Colletotrichum graminicola* (antracnosis).

En el Cuadro 2 se presenta la reacción a enfermedades de Ágata y variedades testigo después de 81 evaluaciones en temporal. En roya del tallo se registró lecturas de 0 a 30MR, tipo de reacción menor a Turquesa que en algunos sitios alcanzó lecturas de hasta 60S; asimismo, presentó menores lecturas que otras variedades testigo que ya presentan reacción de susceptibilidad con porcentajes desde 50% hasta 100% de infección. En roya de la corona o de la hoja Ágata fue el genotipo con mayor resistencia, ya que presentó incidencias de TR a 20MS, menor que Turquesa, así como al resto de testigos que tuvieron incidencias de 50% hasta 100% de reacción de susceptibilidad a dicha enfermedad, a excepción de Diamante R31 que sigue manifestando buena tolerancia.

Cuadro 2. Características agronómicas y fitopatológicas de Ágata y de variedades testigo en ambientes de temporal de 2011 a 2015.

Variedad	Ciclo	Altura (cm)	Acame	Roya del tallo	Roya de la corona	Foliares*
Ágata	Intermedio	98	MR	0R a 30MR	TR a 20MS	6/40 (T)
Turquesa	Intermedio	97	MR	30MS a 60S	10R a 30MS	6/40 (T)
Obsidiana	Intermedio	97	MR	10MS a 60S	20MS a 70S	5/20 (T)
Karma	Intermedio	95	R	10MS a 50S	10R a 50S	6/40 (T)
Avemex	Tardío	111	MS	20MS a 80S	20MS a 70S	6/40 (T)
Menonita	Precoz	93	R	10MS a 80S	20MS a 70S	7/60 (MS)
Papigochi	Intermedio	92	MR	5MR a 70S	20MR a 70S	7/60 (MS)
Chihuahua	Tardío	98	S	60S a 100S	50S a 100S	6/40 (T)
Ópalo	Tardío	107	S	70S a 100S	60S a 100S	6/30 (T)
Cuauhtémoc	Tardío	106	MR	60S a 100S	50S a 100S	6/40 (T)
Diamante R31	Precoz	97	R	5R a 40MR	10R a 20MS	6/40 (T)
Teporaca	Precoz	100	S	10MS a 80S	20MS a 70S	6/40 (T)

R= resistente; S= susceptible; MR= moderadamente resistente; MS= moderadamente susceptible; TR= trazas; T= tolerante, lecturas observadas; *= lectura máxima observada de reacción al complejo de enfermedades foliares en ambientes lluviosos (Nanacamilpa, Tlax. y Juchitepec, Estado de México), causado por *Helminthosporium avenae* (mancha foliar), *Septoria avenae* f. sp. *avenae* (mancha foliar) y *Colletotrichum graminicola* (antracnosis).

En las zonas con mayor altitud y con mayor incidencia de lluvias, las enfermedades foliares se presentan de forma más agresiva ya que en dichos sitios se tienen condiciones de humedad y temperatura propicias para su desarrollo (Prescott *et al.*, 1986). La variedad Ágata igualó en la tolerancia a estas enfermedades la mayoría de las variedades testigo, mostrando mayor tolerancia que las variedades susceptibles Papigochi y Menonita; por su tolerancia a estos patógenos, Ágata es buena opción para recomendarse en este tipo de ambientes (Cuadro 2).

Potencial de rendimiento de grano

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de rendimiento de grano de Ágata y las variedades testigo en 81 evaluaciones realizadas en 11 estados del país que se ubicaron desde Oaxaca hasta Chihuahua. En general, Ágata superó el rendimiento de grano de todas las variedades desde 14% (Turquesa) hasta 56% (Ópalo), observándose que a medida que fue la variedad fue más susceptible a roya del tallo, Ágata fue mejor.

Ambientes favorables (Fav.) (23 ambientes con rendimiento mayor a 3 000 kg ha⁻¹): Calera, Zac. 2012; Chapingo, Méx. 2011, 2014, 1F 2015, 2F 2013, 2F 2015; Coatepec, Méx. 2011, 2012, 2F 2013; Huamantla, Tlax. 2012; Jilotepec, Méx. 2011; Juchitepec, Méx. 2011, 2014, Mixteca, Oax. 2014; Nanacamilpa, Tlax. 2011, 2012, 2014, 2015; Roque, Gto.; Sta. Lucía, Méx. 1F 2011, 2012; Yanhuítlán, Oax. 2012, 2014.

Cuadro 3. Rendimiento de grano de Ágata y (%) de diferencias con variedades testigo en diferentes ambientes de temporal durante 2011 a 2015.

Variedad	General	(%) Dif.	Favorables	(%) Dif.	Intermedios	(%) Dif.	Críticos	(%) Dif.
Ágata	2 755 a		4 272 a		2 896 a		1 460 a	
Turquesa	2 374 ab	-14	3 622 ab	-15	2 364 b	-18	1 337 ab	-8
Teporaca	2 173 bc	-21	3 084 bc	-28	2 338 b	-19	1 211 abc	-17
Obsidiana	2 129 bc	-23	3 332 abc	-22	2 141 bc	-26	1 142 abc	-22
Karma	2 022 bcd	-27	3 205 bc	-25	1 993 bcd	-31	1 071 abcd	-27
Menonita	1 909 cd	-31	2 784 bcd	-35	1 925 bcd	-34	1 076 abcd	-26
Chihuahua	1 872 cd	-32	2 706 bcd	-37	1 886 bcd	-35	1 136 abc	-22
Papigochi	1 763 cd	-36	2 746 bcd	-36	1 631 cde	-44	1 081 abc	-26
Diamante R31	1 729 cd	-37	2 615 cd	-39	1 700 cde	-41	1 026 bcd	-30
Cuauhtémoc	1 627 de	-41	2 487 cd	-42	1 621 de	-44	908 cd	-38
Avemex	1 608 de	-42	2 450 cd	-43	1 515 de	-48	941 cd	-36
Ópalo	1 222 e	-56	1 787 d	-58	1 243 e	-57	683 d	-53
Tukey ($\alpha=0.05$)	451		998.3		513		394	

Ambientes intermedios (Inter.) (29 ambientes con rendimiento entre 1 500 a 3 000 kg ha⁻¹): Chapingo, Méx. 2012, 1F 2013; Chimalpa, Hgo. 2012; Coatepec, Méx. 1F 2013, 2014, 2015; Cusihuirachi, Chih. 2011; Fco. I.Madero, Tlax. 2015; Jesus Maria, Jal. 2012; La concepción, Pue. 1F y 2F 2013; Roque Gto. 2011; San Pedro Xula, Oax. 2012; Sta. Lucía, Méx. 2014, 1F 2013, 2F 2011; Sinaxtla, Oax. 2012; Soltepec, Tlax. 2011, 2014; Teacalco, Tlax. 2012; Tepatitlán, Jal. 2011, 2012; Terrenate, Tlax. 2F 2013; Tlalmanalco, Méx. 2014, 2015; V. de Guadiana, Dgo. 2014; Velasco, Tlax. 2012, 2014; Yanhuitlán, Oax. 2011.

Ambientes críticos (29 ambientes con rendimiento menor a 1 500 kg ha⁻¹): Atlangatepec, Tlax. 2011; Axapusco, Méx. 2014; Carbajal, Oax. 2012; Chalco, Méx. 2012; Cuyoaco, Pue. 2011; Fco. I. Madero, Dgo. 2012, 2014; Las Calaveras, Méx. 2012, Nanacamipa, Tlax. 2013; Pabellón, Ags. 2011, 2012, 2014; Páramo, Chih. 2012; Roque, Gto. 2014; Sandoval, Ags. 2012, 2014; Sta. Lucía, Méx. 2015; Sinaxtla, Oax. 2011; Soltepec, Tlax. 2015; Terrenate, Tlax. 2011, 2012, 2014, 2015; V. de Guadiana, Dgo. 2011, 2012; Velasco, Tlax. 2013, 2015; Veloz, Tlax. 2013.

La mayor ventaja de Ágata sobre las variedades testigo fue en ambientes intermedios de producción, en donde generalmente se presentaron incidencias severas de roya del tallo, conforme se mejoró la condición de producción para que se expresara mayor rendimiento de grano, se redujo la ventaja de Ágata sobre las variedades testigo, entre otras causas, porque en los ambientes favorables generalmente hay menor incidencia de roya del tallo. En ambientes de baja productividad, en donde generalmente se presentaron condiciones de sequía, Ágata superó a todas las variedades, pero su ventaja ya fue menor, sobre todo sobre Turquesa que se ha caracterizado por su buena respuesta en condiciones de estés hídrico (Villaseñor *et al.*, 2009).

Conclusiones

Ágata es una nueva variedad de avena con alto potencial de rendimiento de grano que se recomienda para siembras en ambientes críticos, intermedios y favorables de producción en las áreas temporales en donde se produce avena durante el verano en los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México, Querétaro, Michoacán, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Chihuahua. Es adecuada para utilizarse desde siembras tempranas hasta fechas tardías, como por ejemplo en los Valles Altos de México, desde inicios de junio hasta finales de julio, en el primer caso para la producción de grano y en el segundo para la producción de forraje acicalado.

Agradecimientos

Al INIFAP a través del apoyo brindado a través del proyecto denominado: generación de tecnología para incrementar la productividad del cultivo de avena en la región centro de México.

Literatura citada

- Huerta, E. J. y Singh, R. P. 2000. Las royas del trigo. *In:* el trigo de temporal en México. Villaseñor-Mir, H. E. y Espitia-Rangel, E. (Eds.). Campo Experimental Valle de México (CEVAMWX). SAGAR-INIFAP-CIRCE. Estado de México. 231-251 pp.
- Leyva, M. S. G.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E. y Huerta, E. J. 2004. Pérdidas ocasionadas por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks. y Henn., causante de la roya del tallo en seis cultivares de avena en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22(2):166-171.
- Mariscal; A. L. A.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Leyva, M. S. G.; Sandoval, I. J. S. y Benítez, R. I. 2011. Selección de genotipos de avena para la identificación de razas de roya del tallo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(4):593-600.
- Prescott, J. M.; Burnett, P. A. and Saari, E. E. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México. 148 p.
- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. y Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México. 81 p.
- SIAP. 2016. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México, DF. www.siap.gob.mx.
- 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. (Eds.). El trigo de temporal en México. Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). SAGAR-INIFAP. Chapingo, México. Libro técnico. 85-98 p.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta, E. J.; Hortelano, S. R. R.; Martínez, C. E.; Rivas, V. P.; Martínez, T. G.; Rodríguez, C. M. E. y Ramírez, V. Y. 2015. El programa de mejoramiento genético de avena del CEVAMEX. *In:* segunda reunión estatal de investigación: contribuciones científicas y tecnológicas del Campo Experimental Valle de México a 30 años de la creación del INIFAP y retos ante el cambio climático. Memoria técnica núm. 2. 99-115 pp.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta, E. J.; Osorio, A. L. y López, H. J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agríc. Téc. México.* 35(4):487-492.