

Fungicides evaluation against yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in six barley cultivars

Evaluación de fungicidas contra roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) en seis variedades de cebada

María Florencia Rodríguez-García, Miguel González-González*, Julio Huerta-Espino, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, CP 56250, México; Salomón Solano-Hernández, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, CP 38110, México. *Autor para correspondencia: gonzalez.miguel@inifap.gob.mx

Recibido: 29 de Junio, 2021.

Aceptado: 12 de Agosto, 2021.

Rodríguez-García MF, González-González M, Huerta-Espino J and Solano-Hernández S. 2021. Fungicides evaluation against yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in six barley cultivars. Mexican Journal of Phytopathology 39(3).

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-5>

Primera publicación DOI: 26 de Agosto, 2021.

First DOI publication: August 26, 2021.

Resumen. La roya amarilla (RA) en cebada ha incrementado su importancia en los últimos ciclos de producción en México. Durante el ciclo primavera-verano 2018 se evaluó la efectividad biológica de los fungicidas Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y Tebuconazole 25% en las variedades Apizaco, Esmeralda, Maravilla, Doña Josefa, AC Metcalfe y ABI Voyager en el control de RA y su efecto en el rendimiento en tres ambientes de temporal. Las variables medidas fueron:

Abstract. Yellow rust (YR) in barley has increased its importance in recent production seasons in Mexico. During the spring-summer 2018 cycle, the biological effectiveness of the fungicides Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% and Tebuconazole 25% was evaluated on cultivars Apizaco, Esmeralda, Maravilla, Doña Josefa, AC Metcalfe, and ABI Voyager for control of YR, as well as their effect on grain yield under three rainfed environments. The variables measured were: days to heading and maturity, plant height, test weight, grain yield, final disease severity, and area under the disease progress curve. The analysis of variance showed significant variation for cultivars, final disease severity, fungicides, and localities ($p \leq 0.01$). The most effective product was Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. The highest grain yield was recorded in Doña Josefa ($3,567 \text{ kg ha}^{-1}$) with the application of Azoxystrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. Yield losses reached 53% due to the rust effect. A higher grain yield and

días a espigamiento y madurez, altura de planta, peso hectolítrico, rendimiento de grano, severidad final de la enfermedad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad. El análisis de varianza mostró variación significativa para variedades, severidad final de la enfermedad, fungicidas y localidades ($p \leq 0.01$). El producto con mayor eficacia fue Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. El mayor rendimiento de grano se registró en Doña Josefa (3,567 kg ha⁻¹) al aplicar Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. Las pérdidas en el rendimiento alcanzaron 53% por efecto de la roya. Con la aplicación de cualquiera de los dos fungicidas evaluados se obtuvo mayor rendimiento y peso hectolítrico del grano; sin embargo, las variedades respondieron de forma diferente a la aplicación de los productos.

Palabras clave: resistencia, rendimiento, variedades, eficacia, *Hordeum vulgare*.

La cebada (*Hordeum vulgare*), uno de los cereales más importantes a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en producción después del maíz, trigo y arroz (FAO, 2020). En México, la superficie sembrada de cebada en el año 2019 fue de 366,553 ha, de las que se cosecharon 323,132 ha, con una producción de 905,962 t y rendimiento promedio nacional de 2.80 t ha⁻¹. El 79% de la superficie sembrada se estableció bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano y el 21% bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno. En condiciones de temporal se cosecharon 249,590 ha y se obtuvieron 496,790 t con rendimiento medio de 1.99 t ha⁻¹. De acuerdo con el SIAP (2020), el 86% de la superficie cultivada bajo estas condiciones se realiza en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Estado de México y aportan el 90% de la producción de temporal.

test weight were obtained with the application of any of the two fungicides evaluated; however, cultivars responded differently to the application of the products.

Key words: resistance, yield, cultivars, efficacy, *Hordeum vulgare*.

Barley (*Hordeum vulgare*), one of the world's most important cereals, is the fourth most widely produced, after maize, wheat and rice (FAO, 2020). In Mexico, the area used to plant barley in 2019 was 366,553 ha, out of which 323,132 ha were harvested, giving a production of 905,962 t and a national average yield of 2.80 t ha⁻¹. Out of the total area harvested, 79% was established under rainfed conditions during the spring-summer cycle, and 21%, under irrigated conditions during the autumn-winter cycle. In rainfed conditions, 249,590 ha were harvested, and 496,790 t were obtained, with a mean yield of 1.99 t ha⁻¹. According to the SIAP (2020), 86% of the area planted under these conditions is found in the states of Hidalgo, Puebla, Tlaxcala and the State of Mexico, and they contribute with 90% of the rainfed production.

The importance of barley is based mainly on the production of alcohol (particularly in the brewing industry) and for animal feed. Although barley has the potential to be used for human food due to its high content of beta-glucans, its use for this purpose is currently limited (Newton *et al.*, 2011; Walters *et al.*, 2012). In Mexico, this grain is used mostly by the brewing industry.

Barley grain yield, in Mexico and on a global scale, has been reduced by abiotic factors, especially drought, early frost and excess rainfalls (González-González *et al.*, 2016). On the other hand, and no less important, are the biotic factors, where the incidence of diseases stands out; among

La importancia de la cebada se basa principalmente en la producción de alcohol (especialmente en la industria cervecera) y en la alimentación animal. Aunque la cebada tiene potencial para usarse en la alimentación humana por su alto contenido de beta-glucanos, su uso para este fin en la actualidad es limitada (Newton *et al.*, 2011; Walters *et al.*, 2012). En México, este cereal está destinado básicamente para la industria maltera-cervecera.

El rendimiento de grano de cebada tanto en México como a nivel mundial se ve disminuido por factores abióticos, de los cuales la sequía, heladas tempranas y exceso de lluvias son los principales (González-González *et al.*, 2016). Por otra parte, y no menos importantes, se encuentran los factores bióticos, donde destaca la incidencia de enfermedades; dentro de éstos, las royas causadas por hongos del género *Puccinia* (roya de la hoja, roya amarilla y la roya del tallo) son las enfermedades de cebada de gran importancia a nivel mundial (Gangwar *et al.*, 2018). La roya amarilla (RA) causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, es una enfermedad muy importante en regiones productoras de cebada en el mundo y una de las más destructivas en Europa y América (Brown *et al.*, 2001). Line (2002) indica que la RA es la enfermedad más importante de la cebada en el oeste de los Estados Unidos. Devlash *et al.* (2015) indican que es la enfermedad de la cebada más importante en la India. Por otra parte, Gangwar *et al.* (2018) mencionan que es una enfermedad foliar de gran importancia en el norte de la India, y ha devastado durante mucho tiempo el sur de Asia, África Oriental, Europa Occidental y Oriente Medio. Roelfs *et al.* (1992) identificaron la enfermedad por primera vez en el sur de Texas en los Estados Unidos. Para 1988, se extendió en toda la Mesa Central y afectó de forma drástica a más del 50% de la superficie cultivada en esa región, constituyéndose en la enfermedad más importante. La roya amarilla de la cebada no existía en México

these, rusts caused by the genus *Puccinia* (leaf rust, yellow rust and stem rust) are the most important barley diseases worldwide (Gangwar *et al.*, 2018). Yellow rust (YR), caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, is a very important disease in barley-producing regions in the world, and is one of the most destructive in Europe and the Americas (Brown *et al.*, 2001). Line (2002) points out that YR is the most important disease in western United States. Devlash *et al.* (2015) indicate that this barley disease is the most important one in India. On the other hand, Gangwar *et al.* (2018) mention that YR is a highly important foliar disease in northern India, and it has devastated southern Asia, East Africa, Western Europe and the Middle East for a long time. Roelfs *et al.* (1992) identified the disease for the first time in southern Texas, in the USA. By 1988, it extended across the central highlands and drastically affected more than 50% of the surface planted in that region, becoming the most important disease. Barley yellow rust did not exist in Mexico before 1986, and according to Calhoun *et al.* (1988) and Sandoval-Islas *et al.* (1999), in the summer of 1987, this disease was found in the Valles Altos area of the Mexican central highlands, and in the winter of the same year, it was found in El Bajío, an area made up by the states of Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Jalisco and San Luis Potosí.

On the other hand, Rodríguez-García *et al.* (2019) mentioned that in Mexico, this rust has been found more frequently in recent years. This is partly due to climate change, to the evolution to new biotypes or physiological races of the pathogen, a lack of resistance in the varieties planted and to the introduction of varieties that are not adapted to the barley-producing regions of the country.

When *P. striiformis* f. sp. *hordei* affects the barley crop, it reduces the grain yield, which may lead to substantial losses. Marshall and Sutton (1995) reported losses caused by YR of 72% in

hasta antes de 1986 y de acuerdo con Calhoun *et al.* (1988) y Sandoval-Islas *et al.* (1999), durante el verano de 1987, esta enfermedad se detectó en los Valles Altos de la Mesa Central de México y en el invierno de ese mismo año se presentó en El Bajío, área conformada por parte de los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Jalisco y San Luis Potosí.

Por otra parte, Rodríguez-García *et al.* (2019) mencionan que en México esta roya se ha observado con mayor frecuencia en los últimos años; esto debido en parte, al cambio climático, a la evolución hacia nuevos biotipos o razas fisiológicas del patógeno, a la falta de resistencia en las variedades sembradas y a la introducción de variedades no adaptadas a las regiones productoras de cebada del país.

Cuando *P. striiformis* f. sp. *hordei* afecta al cultivo de cebada disminuye el rendimiento de grano cuyas mermas pueden ser cuantiosas. Marshall y Sutton (1995) reportan pérdidas por RA de 72% en la variedad susceptible Perkins, mientras que, Dubin y Stubbs (1986) del 30 a 70% en los países andinos. Vaish *et al.* (2011) reportan una disminución en el rendimiento del 66% en la región de Ladakh en la India durante 2004-2005.

En México, la RA se puede presentar desde etapas de plántula y planta adulta, cuando las condiciones climáticas y la variedad sembrada favorecen su incidencia, causando disminución del rendimiento y afectando la calidad del grano, lo cual limita su aprovechamiento ya que de acuerdo con González-González *et al.* (2013), alrededor del 80% de la producción nacional se destina a la transformación en malta, siendo la calidad física del grano indispensable para su comercialización y uso en la industria cervecera.

Dentro de las medidas más utilizadas para el control de esta enfermedad se encuentra el químico, cuyo uso debería ser principalmente en caso emergente cuando el patógeno es difícil de controlar, ya

the susceptible variety Perkins, whereas Dubin and Stubbs (1986) reported losses between 30 and 70% in Andean countries. Vaish *et al.* (2011) reported a 66% yield reduction in the region of Ladakh in India during 2004-2005.

In Mexico, YR can present itself in the stages of seedling and adult plant, when weather conditions and the variety planted favor its incidence, causing a reduction in the yield and affecting the quality of the grain, which limits its use, since, according to González-González *et al.* (2013), around 80% of the country's production is converted into malt, therefore the physical quality of the grain is crucial for its marketing and its use in the brewing industry.

Chemicals are among the most widely used measures for the control of this disease, and they should be used in case of an emergency, when the pathogen is difficult to control because it has already been spread in most production areas, or because there is a lack of resistant varieties, since the irrational use and inadequate doses harm the environment, as mentioned by Sandoval-Islas *et al.* (1999), who indicate that YR can be controlled by spraying fungicides, although this increases the cost of the crop, along with the damages it can cause on the environment.

In Mexico, the currently recommended barley varieties do not have satisfactory levels of genetic resistance and chemical control is required as a complementary measure to genetic control. Therefore, the aim of this research was to determine the biological effectiveness of the fungicides Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% and Tebuconazole 25% for the control of YR and its effect on the yield of commercial varieties of barley produced under rainfed conditions.

MATERIALS AND METHODS

Location. The experiments were established in the 2018 spring-summer cycle in three regions that are

que se encuentra diseminado en la mayoría de las zonas productoras, o en su caso, porque se carece de variedades resistentes, ya que el uso irracional y las dosis no adecuadas perjudican al ambiente como lo mencionan Sandoval-Islas *et al.* (1999); quienes indican que la RA se puede controlar con aspersiones de fungicidas, pero esto incrementa los costos del cultivo aunado a los daños que puede provocar al ambiente.

En México, las variedades de cebada recomendadas actualmente no poseen niveles de resistencia genética satisfactoria y se tiene que recurrir al control químico como medida complementaria al control genético. Por lo cual, el objetivo de esta investigación fue determinar la efectividad biológica de los fungicidas Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y Tebuconazole 25%, para el control de RA y su efecto en el rendimiento en variedades comerciales de cebada producidas bajo condiciones de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. Los experimentos se establecieron durante el ciclo primavera-verano del 2018 en tres regiones representativas de la zona productora de cebada de temporal de los Valles Altos de la Mesa Central de México: 1) Relinas, Axapusco, Estado de México, ubicado en el paralelo 19° 50' 33.32" de LN y 98° 53' 36.73" de LO y una altitud de 2322 msnm, el suelo predominate es el tipo Feozem; 2) Moxolahuac, Tlahuapan, Puebla, a 19° 26' 31.37" LN, 98° 32' 31.60" LO y una altura de 2763 msnm, el tipo de suelo predominante es el Andosol son suelos de origen volcánico, ricos en materia orgánica y alta capacidad de retención de agua así como de intercambio catiónico; 3) Soltepec, Tlaxco, Tlaxcala, a 19° 35' 40.07" LN, 98° 18' 36.48" LO a 2 532 msnm; el suelo predominate es del tipo

representative of the rainfed barley producing area of the Mexican highlands: 1) Relinas, Axapusco, State of Mexico, located 19° 50' 33.32" LN and 98° 53' 36.73" LW and at an altitude of 2322 masl, where the predominant soil was Feozem; 2) Moxolahuac, Tlahuapan, Puebla, 19° 26' 31.37" LN, 98° 32' 31.60" LW and an altitude of 2763 masl, where the predominant soil is Andosol, of volcanic origin, rich in organic matter, a high water retention and cationic exchange; 3) Soltepec, Tlaxco, Tlaxcala, 19° 35' 40.07" LN, 98° 18' 36.48" LW at 2532 masl; the predominant soil type is Feozem, which is porous and rich in organic matter.

Experimental design. The experimental design was a randomized complete blocks with a factorial arrangement (6 x 3) resulted in 18 treatments and four repetitions, for a total of 72 experimental units or plots for each location. The experimental unit consisted of four furrows, each one 3 m in length and with a space of 30 cm between them, corresponding to an area of 3.6 m², considered a useful plot.

Germplasm. Six barley varieties were evaluated: Apizaco, Esmeralda and Maravilla, released by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Doña Josefa, released by the ICAMEX, and AC Metcalfe and ABI Voyager, varieties from Canada and the USA, recently introduced into Mexico. The first four varieties are of six rows, while the latter two are of two rows. These varieties are malting varieties, except for Maravilla and Doña Josefa, which are forage grain varieties. The level of resistance to YR in the varieties released by INIFAP indicate that Esmeralda is resistant (Zamora *et al.*, 1997), Maravilla is cataloged as tolerant (Zamora-Díaz *et al.*, 2017) and Apizaco, as susceptible (Cuéllar-Zambrano *et al.*, 2015), whereas Doña Josefa is

Feozem, estos suelos son porosos y ricos en materia orgánica.

Diseño experimental. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial (6 x 3) originando 18 tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 72 unidades experimentales o parcelas por cada localidad. La unidad experimental fue de cuatro surcos de tres metros de largo y espaciado a 30 cm, que corresponde a una superficie de 3.6 m², considerada como parcela útil.

Germoplasma. Se evaluaron seis variedades de cebada: Apizaco, Esmeralda y Maravilla liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Doña Josefa liberada por el ICAMEX, y AC Metcalfe y ABI Voyager, variedades de Canadá y EUA de reciente introducción a México. Las cuatro primeras variedades son de seis hileras, mientras que las dos últimas son de dos hileras. Estas variedades son malteras, excepto Maravilla y Doña Josefa que son variedades de grano forrajero. El nivel de resistencia a RA en las variedades liberadas por INIFAP indican que Esmeralda es resistente (Zamora *et al.*, 1997), Maravilla catalogada como tolerante (Zamora-Díaz *et al.*, 2017) y Apizaco como susceptible (Cuéllar-Zambrano *et al.*, 2015). Por su parte, Doña Josefa es resistente (Guzmán-Ortíz *et al.*, 2019). No existen datos publicados para México que indiquen el nivel de resistencia de las variedades AC Metcalfe y ABI Voyager.

Fungicidas. Los fungicidas probados fueron Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (Azimut[®] 320 SC) y Tebuconazole 25% (Folicur[®] 25 EW); se aplicó la dosis recomendada por el fabricante (0.7 L ha⁻¹ para Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y 0.5 L ha⁻¹ para Tebuconazole 25%). Los 18 tratamientos consistieron de todas las

resistant (Guzmán-Ortíz *et al.*, 2019). There are no data published for Mexico indicating the level of resistance of varieties AC Metcalfe and ABI Voyager.

Fungicides. The fungicides tested were Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (Azimut[®] 320 SC) and Tebuconazole 25% (Folicur[®] 25 EW) and the dose used was the one recommended by the manufacturer (0.7 L ha⁻¹ for Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% and 0.5 L ha⁻¹ for Tebuconazole 25%). The 18 treatments consisted of all the varieties without fungicide, all varieties with Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% and all varieties with Tebuconazole 25%. In all treatments we used the coadjuvant polyether polymethylsiloxane copolymer (Break Thru[®]) at a dose of 0.25 L ha⁻¹. The fungicides were applied using a SWISSMEX knapsack compression sprayer (15 L) with a flat TeeJet ASJ 11003 spray tip. Fungicides were applied twice: the first was 50 days after planting, when plants were in development stage 41-49 according to the scale proposed by Zadoks *et al.* (1974) and observing a severity of 1 to 5% in the susceptible variety Apizaco, and the second one was 20 days after the first application.

Inoculum. The incidence of yellow rust appeared naturally, from the growth stage of booting (development stage 41-49; Zadoks *et al.*, 1974), since the three locations display favorable weather conditions for the development of the disease, such as cold to temperate temperatures (5 to 18 °C) and the formation of dew.

Variables. The following variables were recorded: days to heading (DE – days between planting and the moment in which 50% of plants displayed visible spikes), days to physiological maturity (DM – days between harvest and the moment in which

variedades sin fungicida, todas las variedades con la aplicación de Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y de todas las variedades con la aplicación de Tebuconazole 25%. En todos los tratamientos se utilizó el coadyuvante poliéter polimetilsiloxano copolímero (Break Thru®) a una dosis de 0.25 L ha⁻¹. Los fungicidas fueron aplicados utilizando una bomba de mochila marca SWISSMEX (15 L de capacidad) con boquilla abanico plano TeeJet ASJ 11003. La aplicación se realizó en dos ocasiones, la primera a los 50 días después de la siembra cuando las plantas se encontraban en la etapa de desarrollo 41-49 según la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974) y observando en la variedad susceptible Apizaco una severidad de 1 al 5%; y la segunda 20 días después de la primera aplicación.

Inóculo. La incidencia de la roya amarilla se presentó de forma natural, a partir de la etapa de embuche (etapa de desarrollo 41-49; Zadoks *et al.*, 1974), ya que las tres localidades presentan condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la enfermedad, como temperaturas de frías a templadas (5 a 18 °C) y la formación de rocío.

Variables. Se registraron las variables días a espiamiento (DE): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50% de las plantas presentaban espigas visibles; días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo de la espiga cambió a un color amarillo paja; altura de planta (AP): altura en centímetros desde la superficie del suelo hasta la punta de la espiguilla terminal de la espiga principal o superior; rendimiento de grano (REND): peso de grano producido por todas las espigas de cada parcela útil, registrado en gramos, la cual posteriormente se transformó en kg ha⁻¹; peso hectolítrico (PH): peso del grano por unidad de volumen (kg hL⁻¹); severidad final de la enfermedad

the spike's peduncle turned hay yellow), plant height (AP – height in centimeters from the surface of the soil to the tip of the terminal or higher spike), grain yield (REND – the weight of grain produced by all the spikes of all useful plots, registered in grams, which was later converted into kg ha⁻¹), test weight (PH – weight of the grain per volume unit (kg hL⁻¹)) final disease severity (SFE – highest level of damaged foliar area, registered as a percentage and using the scale modified by Cobb) (Peterson *et al.*, 1948). The first reading of yellow rust was carried out just before the products were applied for the first time, and was followed by three more, once every 10 days. With the readings of severity (four) taken in time intervals, the area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated using the equation described by Bjarko and Line (1988).

Statistical analysis. The data of the variables obtained in the three locations were analyzed statistically in a joint manner using the program SAS 9.3 (SAS Institute®, USA) and comparisons of averages were carried out for the variables under study using the DMS test ($p=0.01$).

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance: The joint analysis of variance of the three evaluated locations found highly significant differences for most of the variables evaluated. The fungicides showed a highly significant difference for days to maturity (DM), test weight (PH), grain yield (REND), final disease severity (SFE) and area under the disease progress curve (AUDPC). Meanwhile, in the variety*fungicide interactions it was the same case for PH, SFE and AUDPC, whereas in location*fungicide, significant differences were

(SFE): nivel máximo del área foliar dañada, registrada en porcentaje y utilizando la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948). La primera lectura de roya amarilla se realizó justo antes de que se llevará a cabo la primera aplicación de los productos; y otras tres, cada 10 días. Con las lecturas de severidad (cuatro) tomadas en intervalos de tiempo se calculó el Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) utilizando la ecuación descrita por Bjorko y Line (1988).

Análisis estadístico. Los datos de las variables obtenidas en las tres localidades fueron analizados estadísticamente de manera conjunta con el programa SAS 9.3 (SAS Institute®, EUA) y se realizaron comparaciones de medias para las variables en estudio mediante la prueba DMS ($p=0.01$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza: El análisis de varianza conjunto de las tres localidades evaluadas detectó diferencias altamente significativas para la mayoría de las variables evaluadas. Los fungicidas mostraron significancia estadística alta para días a madurez (DM), peso hectolítrico (PH), rendimiento de grano (REND), severidad final de la enfermedad (SFE) y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE); mientras que en las interacciones variedad*fungicida lo fueron para PH, SFE y ABCPE, en tanto que en localidad*fungicida se observaron diferencias significativas para DM, PH y ABCPE. Estos resultados indican un comportamiento diferente entre las variedades en donde las localidades tienen un papel fundamental en la expresión y comportamiento de los materiales genéticos como lo menciona González-González *et al.* (2016); resultados similares fueron reportados por Rodríguez-García *et al.* (2020) en el cultivo

found for DM, PH and AUDPC. These results indicate a different behavior between varieties, where the locations play an important part in the expression and behavior of the genetic materials, as mentioned by González-González *et al.* (2016); similar results were reported by Rodríguez-García *et al.* (2020) for wheat. The application of fungicides shows that there is a positive response of the varieties in the control of the disease, the crop cycle and yield-related variables, based on the product applied, which is conditioned by the environment. For variables DE and AP, no significant effects of the chemicals were observed, therefore the behavior of these variables depend on the variety and the environment.

Comparison of means for fungicides, locations and varieties. The average values (Table 1) show that there are no statistical differences for variables DE and AP, with and without fungicides. For the remaining variables (DM, PH, REND, SFE and AUDPC), there is a response between the application of fungicides and the control without fungicide. However, when analyzing the information of the products applied, no significant statistical differences are observed between them. The application of fungicides for the control of YR affects the value of most of the evaluated variables in a positive way, with the most notorious increases in PH and REND. Devlash *et al.* (2015) reported similar behaviors in the application of several fungicides for the control of YR in barley, and point out that applying fungicide, regardless of the product, significantly reduces SFE and increases the yield in comparison with the control without fungicide.

In the average values per location (Table 2), locations played a crucial part in the expression of the values of each one of the variables evaluated. For DE, the locations of Relinas and Soltepec displayed

de trigo. La aplicación de fungicidas muestra que existe una respuesta positiva de las variedades en el control de la enfermedad, ciclo de cultivo y variables relacionadas con rendimiento en función del producto aplicado, la cual está condicionada por el ambiente. Para las variables DE y AP no se observó efecto significativo de los productos por lo que el comportamiento de estas variables dependerá de la variedad y del ambiente.

Comparaciones de medias para fungicidas, localidades y variedades. Los valores promedio (Cuadro 1) muestran que no existen diferencias estadísticas para las variables DE y AP con y sin aplicación de fungicidas. Para las demás variables (DM, PH, REND, SFE y ABCPE), existe una respuesta entre la aplicación de fungicidas y el testigo sin aplicar. Sin embargo, al analizar la información de los dos productos aplicados, se aprecia que no existen diferencias estadísticas significativas entre ellos. La aplicación de fungicidas para el control de la RA, afecta positivamente el valor de la mayoría de las variables evaluadas, siendo más notorio el incremento en el PH y REND. Devlash *et al.* (2015) reportan comportamientos similares en

a similar behavior when reaching this stage 60 days after planting (dds). In Moxolahuac, the cycle was later, requiring 10 additional days. A similar behavior was observed in DM, with Moxolahuac being the location with the longest cycle (143 dds). Plant height varied between locations, with lower heights observed in Relinas (48 cm), whereas plants in Soltepec and Moxolahuac surpassed the height of 70 cm. The grain test weight (PH) was greater in Soltepec (62.16 kg hL⁻¹), followed by Moxolahuac and Relinas. Grain yield was higher than 3 t ha⁻¹ in the locations of Soltepec and Moxolahuac, whereas in Relinas, the average yield hardly surpassed 1 t ha⁻¹. This behavior may be due to the availability of water during the crop cycle, since Soltepec and Moxolahuac had 428 and 417 mm of rain respectively during the crop cycle, yet the location of Relinas had 286 mm (data registered by the Barley Genetic Breeding Program of INIFAP- Valle de México Experimental Field), causing the low yields observed. The highest incidence of YR was registered in the locations of Relinas and Soltepec, in comparison to those found in Moxolahuac.

The behavior of the varieties (Table 3) displayed significant differences between them. The earliest

Cuadro 1. Comparación de medias en la aplicación de fungicidas en seis variedades de cebada, en tres localidades durante el ciclo Primavera-Verano, 2018.

Table 1. Comparison of means in the use of fungicides in six varieties of barley in three locations during the 2018 Spring-Summer cycle.

Fungicida	DE	DM	AP	PH	REND	SFE	ABCPE
Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%	63.86 a	130.12 a	67.98 a	61.32 a	2886.43 a	3.19 b	46.38 b
Tebuconazole 25%	63.90 a	129.86 a	66.72 a	61.15 a	2731.47 a	4.91 b	52.04 b
Sin fungicida	63.77 a	126.77 b	66.43 a	59.68 b	2409.47 b	22.86 a	181.67 a
Media	63.84	128.92	67.04	60.72	2675.79	10.32	93.36
DMS	0.56	1.23	2.06	0.70	204.86	3.48	26.11

Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.01$). DE= días a espigamiento; DM= días a madurez fisiológica; AP= altura de planta; PH= peso por hectolitro (kg hL⁻¹); REND= rendimiento de grano (kg ha⁻¹); SFE= severidad final de la enfermedad; ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad. / Values with the same letter in each column are not statistically different (DMS, $p \leq 0.01$). DE= days to heading; DM= days to physiological maturity; AP= plant height; PH= test weight (kg hL⁻¹); REND= grain yield (kg ha⁻¹); SFE= final disease severity; AUDPC= area under the disease progress curve.

la aplicación de diversos fungicidas para el control de la RA en cebada e indican que, al aplicar fungicida sin importar el tipo de producto, se reduce significativamente la SFE y aumenta el rendimiento en comparación con el testigo sin aplicación de fungicida.

En los valores promedio por localidad (Cuadro 2), se observó que las localidades tienen un papel fundamental en la expresión de los valores de cada una de las variables evaluadas. Para DE, las localidades de Relinas y Soltepec tuvieron un comportamiento similar al llegar a esta etapa a los 60 días después de la siembra (dds). En Moxolahuac, el ciclo fue más tardío requiriendo 10 días adicionales. Un comportamiento similar se presentó en DM, siendo Moxolahuac la localidad de ciclo más largo (143 dds). Los portes de planta variaron entre las localidades observándose menor altura en Relinas (48 cm), mientras que en Soltepec y Moxolahuac las plantas superaron los 70 cm de altura. El peso hectolítrico del grano (PH) fue mayor en Soltepec (62.16 kg hL⁻¹), seguido de Moxolahuac y Relinas. El rendimiento de grano fue superior a las 3 t ha⁻¹ en las localidades de Soltepec y Moxolahuac; por otra parte, en Relinas el rendimiento promedio apenas superó 1 t ha⁻¹. Este comportamiento puede

materials (DE and DM) were, in general terms, the six-row varieties, whereas the two-row varieties were late. Esmeralda was the early variety, reaching heading and maturity at 54 and 121 dds, respectively. The variety ABI Voyager and AC Metcalfe were the latest, reaching maturity at 140 and 137 dds, respectively. The height of plants was distributed in a range of 64 to 72 cm, with the two-row varieties being taller than the six-row ones. PH was numerically higher in the Esmeralda variety (62.04 kg hL⁻¹), although similar statistically to the values obtained in AC Metcalfe and Doña Josefa; Apizaco was the variety with the lowest PH, with 58.5 kg hL⁻¹. In grain yield, Doña Josefa (3234.5 kg ha⁻¹) statistically surpassed all other varieties. Esmeralda and Maravilla had statistically similar results to AC Metcalfe and ABI Voyager, whereas Apizaco was the lowest yielding (2337 kg ha⁻¹). A similar behavior was observed in locations and genotypes by González-González *et al.* (2016) and Jalata *et al.* (2011), who mention that the environmental variation between locations and the genetic variability have an influence on the expression and the potential of the genotypes.

The average response of SFE and ABCPE indicate that Apizaco was the variety with

Cuadro 2. Comparación de medias por localidad para las variables DE, DM, AP, PH, REND y SFE de tres localidades y seis variedades de cebada, durante el ciclo Primavera-Verano, 2018.

Table 2. Comparison of means by location for the variables DE, DM, AP, PH, REND and SFE of three locations and six barley varieties during the 2018 spring-summer cycle.

Localidades	DE	DM	AP	PH	REND	SFE	ABCPE
Relinas	60.34 b	121.37 b	48.01 c	58.98 c	1028.4 c	12.50 a	161.29 a
Soltepec	60.09 b	122.06 b	79.45 a	62.16 a	3775.52 a	11.12 a	57.38 b
Moxolahuac	71.09 a	143.31 a	73.66 b	61.02 b	3223.38 b	7.34 b	61.42 b
Media	63.84	128.92	67.04	60.72	2675.79	10.32	93.36
DMS	0.56	1.23	2.06	0.70	204.86	3.48	26.11

DE= días a espigamiento; DM= días a madurez fisiológica; AP= altura de planta; PH= peso por hectolitro (kg hL⁻¹); REND= rendimiento de grano (kg ha⁻¹); SFE= Severidad final de la enfermedad; ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.01$). / DE= days to heading; DM= days to physiological maturity; AP= plant height; PH= test weight (kg hL⁻¹); REND= grain yield (kg ha⁻¹); SFE= final disease severity; AUDPC= area under the disease progress curve. Means with the same letter in a column are not statistically different (DMS, $p \leq 0.01$).

ser atribuido a la disponibilidad de agua durante el ciclo de cultivo, pues mientras que en Soltepec y Moxolahuac tuvieron 428 y 417 mm de lluvia respectivamente durante el ciclo de cultivo, en la localidad de Relinas la disponibilidad de agua fue de 286 mm (datos registrados por el Programa de Mejoramiento Genético de Cebada del INIFAP-Campo Experimental Valle de México), ocasionando los rendimientos bajos observados. La mayor incidencia de RA se registró en las localidades de Relinas y Soltepec, en comparación con las observadas en Moxolahuac.

El comportamiento de las variedades (Cuadro 3), mostró diferencias estadísticas entre ellas. Los materiales más precoces (DE y DM) fueron en general las variedades de seis hileras, mientras que las de dos fueron más tardías. Esmeralda fue la variedad más precoz llegando a espigamiento y madurez a los 54 y 121 dds, respectivamente. La variedad ABI Voyager y AC Metcalfe fueron las más tardías alcanzando madurez a los 140 y 137 dds, respectivamente. La altura de plantas se distribuyó en un rango de 64 a 72 cm, siendo las variedades de dos

the greatest YR infection levels, which is a susceptibility response of this genotype, since it is one of the old varieties released by the INIFAP and has no effective resistance genes for the current races of this pathogen or due to its release before the pathogen was established in Mexico. The three remaining six-row varieties (Esmeralda, Maravilla and Doña Josefa), were statistically similar, and the ones with the highest levels of resistance to the disease. The two-row varieties, AC Metcalfe and ABI Voyager, were, along with Apizaco, the most susceptible to YR. These results show a clear superiority in resistance of the varieties released by INIFAP (Esmeralda and Maravilla), in comparison with the two-row varieties recently introduced into Mexico for their use in the brewing industry. When comparing the yields of AC Metcalfe, ABI Voyager and Esmeralda, these are observed to have statistically similar values. However, Esmeralda tolerated best the presence of the pathogen, since it is a variety that, when released, it was described by Zamora *et al.* (1997) as the first barley variety developed in Mexico for rainfed conditions with

Cuadro 3. Comparación de medias por variedad para las variables DE, DM, AP, PH, REND, SFE y ABCPE de tres localidades y seis variedades de cebada, durante el ciclo Primavera-Verano, 2018.

Table 3. Comparison of means by variety for the variables DE, DM, AP, PH, REND, SFE and ABCPE for three locations and six barley varieties during the 2018 Spring-Summer cycle.

Variedad	DE	DM	AP	PH	REND	SFE	ABCPE
Apizaco	60.36 c	126.08 c	64.13 c	58.50 d	2336.7 d	26.25 a	245.97 a
ABI-Voyager	72.25 a	139.66 a	69.50 ab	60.90 bc	2748.3 bc	20.44 b	181.42 b
AC-Metcalfe	71.97 a	137.22 b	71.77 a	61.58 ab	2497.5 bcd	12.25 c	104.81 c
Esmeralda	54.52 d	121.36 e	63.83 c	62.04 a	2469.8 cd	2.44 d	18.31 d
Maravilla	60.25 c	123.38 d	68.30 b	59.93 c	2767.9 b	0.27 d	3.69 d
Doña Josefa	63.72 b	125.80c	64.72 c	61.37 ab	3234.5 a	0.27 d	5.97 d
Media	63.84	128.92	67.04	60.72	2675.79	10.32	93.36
DMS	0.80	1.74	2.91	0.99	289.72	4.93	36.93

DE= días a espigamiento; DM= días a madurez fisiológica; AP= altura de planta; PH= peso por hectolitro (kg hL⁻¹); REND= rendimiento de grano (kg ha⁻¹); SFE= Severidad final de la enfermedad; ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.01$). / DE= days to heading; DM= days to physiological maturity; AP= plant height; PH= test weight (kg hL⁻¹); REND= grain yield (kg ha⁻¹); SFE= final disease severity; AUDPC= area under the disease progress curve. Means with the same letter in a column are not statistically different (DMS, $p \leq 0.01$).

hileras más altas que las de seis hileras. El PH fue superior numéricamente en la variedad Esmeralda (62.04 kg hL^{-1}), aunque similar estadísticamente a los valores obtenidos en AC Metcalfe y Doña Josefa; Apizaco fue la variedad con menor PH con 58.5 kg hL^{-1} . En rendimiento de grano, Doña Josefa ($3234.5 \text{ kg ha}^{-1}$) superó estadísticamente a todas las variedades. Esmeralda y Maravilla, tuvieron rendimientos estadísticamente similares a AC Metcalfe y ABI Voyager; mientras que Apizaco fue la de menor rendimiento (2337 kg ha^{-1}). Comportamientos similares en localidades y genotipos fueron observados por González-González *et al.* (2016) y Jalata *et al.* (2011), quienes mencionan que la variación ambiental entre localidades y la variabilidad genética influyen en la expresión y el potencial de los genotipos.

La respuesta promedio de SFE y ABCPE indican que Apizaco fue la variedad con mayores niveles de infección a RA, lo cual es una respuesta de susceptibilidad de este genotipo, ya que es una de las variedades antiguas liberadas por el INIFAP y no tiene genes de resistencia efectivos para las razas actuales de este patógeno o por su liberación antes de que el patógeno se estableciera en México. Las restantes tres variedades de seis hileras (Esmeralda, Maravilla y Doña Josefa), fueron estadísticamente similares y las que tuvieron los niveles de resistencia mayores a la enfermedad. Las variedades de dos hileras, AC Metcalfe y ABI Voyager fueron junto con Apizaco, las más susceptibles a RA. Estos resultados muestran una clara superioridad en resistencia de las variedades liberadas por el INIFAP (Esmeralda y Maravilla), en comparación con las variedades de dos hileras recientemente introducidas en México para su aprovechamiento en la industria maltera-cervecera. Al comparar los rendimientos de AC Metcalfe, ABI Voyager y Esmeralda, se observa que éstos tienen valores estadísticamente similares; sin embargo, Esmeralda tolera

a certain level of resistance to yellow rust. This variety keeps its resistance until now.

Effect of the fungicides and agronomic behavior of the varieties. The originated treatments of the combination of varieties with the fungicides applied (Table 4) show the behavior of each one of the varieties under the effect of the product. The fungicides affected the behavior of the varieties for the variables evaluated, except for DE and AP. The Esmeralda variety was the earliest in all its treatments for DM, whereas the two-row varieties were the latest; a tendency to increase cycle duration was observed when applying a product, as opposed to when it is not applied. The results obtained show that Esmeralda was the earliest genotype when no fungicide was applied (Esmeralda-Sf) and the combination of ABI-Voyager-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% was the latest. In general terms, the treatments without fungicide were the earliest in each variety, and when Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% was applied, the behavior of the varieties Esmeralda, Maravilla and ABI-Voyager was to delay leaf senescence, whereas with Tebuconazole 25%, it was the varieties Apizaco, Doña Josefa and AC-Metcalfe. Bertelsen *et al.* (2001) reported that the fungicide Azoxistrobin causes a delay in the senescence of leaves, although this does not necessarily mean that there is an increase in biomass or in grain yield.

For the variable PH, a greater test weight can be found within each variety when a fungicide is applied than when it is not applied (Table 4), except in the combination Maravilla-Az+Teb. Also, a numerical superiority is observed when applying Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% over Tebuconazole 25% in all varieties except in Maravilla, in which Tebuconazole 25% was superior to Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 25%. The average PH values obtained in each

mejor la presencia del patógeno, ya que es una variedad que, al momento de su liberación, Zamora *et al.* (1997) la describe como la primera variedad de cebada desarrollada en México para condiciones de temporal que tiene cierto nivel de resistencia a roya amarilla. Dicha variedad, sigue conservando su resistencia.

Efecto de los fungicidas y comportamiento agroeconómico de las variedades. Los tratamientos originados de la combinación de variedades con los fungicidas aplicados (Cuadro 4), muestran el comportamiento de cada una de las variedades por efecto del producto. Los fungicidas afectaron el comportamiento de las variedades para las

treatment, except for Apizaco without fungicide, comply with the values specified in the Mexican norm NMX-FF-043-SCFI-2003 for the marketing of barley, as indicated by González-González *et al.* (2016). The highest PH values were obtained in the combinations of AC Metcalfe-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (62.56 kg hL⁻¹) and Doña Josefa-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (62.53 kg hL⁻¹).

Grain yield (REND) increased in every variety when fungicides were applied. The varieties where Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% were applied gave higher yields than those with Tebuconazole 25%, except Maravilla and AC-Metcalfe, where Tebuconazole 25% was

Cuadro 4. Comportamiento promedio de seis variedades de cebada con y sin aplicación de fungicidas, evaluadas en tres localidades durante el ciclo Primavera-Verano, 2018.

Table 4. Average behavior of six varieties of barley with and without the use of fungicides, evaluated in three locations during the 2018 Spring-Summer cycle.

Tratamientos	DM	PH	REND	SFE (%)	ABCPE
Apizaco -Sf	124.33 fgh	55.53 g	2015.1 h	57.50 a	474.83 a
Apizaco -Teb	127.25 ef	59.33 ef	2284.3 gh	12.91 d	134.50 d
Apizaco -Az+Teb	126.66 ef	60.63 bcde	2710.8 cdefg	8.33 def	128.58 d
Esmeralda-Sf	119.16 i	61.60 abc	2325.9 efgh	6.33 def	39.58 fg
Esmeralda-Teb	122.08 ghi	62.26 ab	2388.5 gh	0.41 f	6.25 g
Esmeralda-Az+Teb	122.83 gh	62.26 ab	2695.1 cdefg	0.58 f	9.08 g
Doña Josefa-Sf	123.08 gh	59.80 def	2877.8 bcde	0.83 f	15.08 g
Doña Josefa-Teb	127.41 e	61.80 abc	3258.3 ab	0.00 f	1.58 g
Doña Josefa-Az+Teb	126.91 ef	62.53 a	3567.4 a	0.00 f	1.25 g
Maravilla-Sf	121.83 hi	60.36 cdef	2490.2 defgh	0.83 f	11.08 g
Maravilla-Teb	123.33 gh	60.76 bcde	2950.7 bcd	0.00 f	0.00 g
Maravilla-Az+Teb	125.00 efg	58.66 f	2862.7 bcdef	0.00 f	0.00 g
AC-Metcalfe-Sf	135.25 d	60.63 bcde	2363.0 fgh	27.08 c	207.50 c
AC-Metcalfe-Teb	138.58 abc	61.56 abc	2689.9 cdefg	6.50 def	59.67 efg
AC-Metcalfe-Az+Teb	137.83 bcd	62.56 a	2439.4 efgh	3.16 ef	47.25 efg
ABI-Voyager-Sf	137.00 cd	60.20 cdef	2322.2 gh	44.58 b	341.92 b
ABI-Voyager-Teb	140.50 ab	61.20 abcd	2879.7 bcde	9.66 de	110.25 de
ABI-Voyager-Az+Teb	141.50a	61.30 abcd	3043.2 bc	7.08 def	92.08 def
DMS	3.02	1.72	501.8	8.54	63.97

DM= días a madurez, PH: peso hectolítico, REND= rendimiento de grano (kg ha⁻¹), SFE= severidad final de la enfermedad. ABCPE= Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad; Sf= Sin fungicida, Az+Teb= Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, Teb=Tebuconazole 25%. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.01$). / DM= days to maturity, PH: test weight, REND= grain yield (kg ha⁻¹), SFE= final disease severity. AUDPC= Area under the disease progress curve; Sf= Without fungicide, Az+Teb= Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, Teb=Tebuconazole 25%. Means with the same letter are not statistically different (DMS, $p \leq 0.01$).

variables evaluadas con excepción de DE y AP. La variedad Esmeralda fue la más precoz en todos sus tratamientos para DM en tanto que las variedades de dos hileras fueron las más tardías; se observó una tendencia a incrementar la duración del ciclo cuando se aplica algún producto que cuando no se aplica. Los resultados obtenidos muestran que Esmeralda fue el genotipo más precoz cuando no se aplica fungicida (Esmeralda-Sf), y el más tardío la combinación de ABI-Voyager-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. De manera general, los tratamientos sin fungicida fueron los más precoces en cada variedad, mientras que cuando se aplicó Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, se observó que el comportamiento de las variedades Esmeralda, Maravilla y ABI-Voyager fue el de retardar la senescencia de la hoja, mientras que con Tebuconazole 25% fueron las variedades Apizaco, Doña Josefa y AC-Metcalf. Bertelsen *et al.* (2001) reportaron que el fungicida Azoxistrobin provoca un retraso en la senescencia de la hoja; sin embargo, esto no significa necesariamente un aumento en la biomasa ni el rendimiento de grano.

Para la variable PH, se puede apreciar un mayor peso hectolítrico dentro de cada variedad cuando se aplica algún fungicida que cuando no se aplica (Cuadro 4), excepto en la combinación Maravilla-Az+Teb. Además, se observa una superioridad numérica al aplicar Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% sobre Tebuconazole 25% en todas las variedades excepto en Maravilla en la cual, Tebuconazole 25% fue superior a Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 25%. Los valores promedio de PH obtenidos en cada tratamiento con excepción de Apizaco-sin fungicida, cumplen con el valor especificado en la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 para la comercialización de cebada, como lo indican González-González *et al.* (2016). Los mayores PH fueron obtenidos en las combinaciones de AC Metcalfe-Azoxistrobin 11.1% +

numerically superior to Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (Table 4). The combination of Doña Josefa-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (3567.4 kg ha⁻¹) displayed the best yield, although it was similar statistically to that obtained in Doña Josefa-Tebuconazole 25% (3258.3 kg ha⁻¹) (Table 4). The lowest grain yield was obtained in the Apizaco variety when fungicide was not applied (Apizaco-Sf), a statistically similar value to most varieties when no fungicide was applied or when Tebuconazole 25% was applied on Apizaco and Esmeralda and Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% was applied on AC-Metcalf. Devlash *et al.* (2015) proved that YR severely reduces grain yield in susceptible genotypes, and in these cases, the use of fungicides must be promoted to control the pathogen.

In terms of percentages, the increases in yield obtained when applying Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% were 35, 31, 24, 16, 15 and 3% in the varieties Apizaco, ABI Voyager, Doña Josefa, Esmeralda, Maravilla and AC Metcalfe, respectively, in comparison with not applying fungicide. These results show that the varieties respond differently to the application of these chemicals. Similar results were reported by Kanwar *et al.* (2018), who point out that when applying fungicides of the group of triazoles such as Trifloxystrobin 25% + Tebuconazole 50% and Tebuconazole 25.9%, they found an increase in grain yield of 56.5 and 53.27%, respectively. On the other hand, Selvakumar *et al.* (2014) reported an average increase in yield of 42.97% when applying Tebuconazole 25.9%.

For SFE, statistically similar values were obtained in most treatments (Table 4); the most notorious statistical differences were observed in the treatments of susceptible varieties such as Apizaco, AC Metcalfe and ABI Voyager, where SFE values reached 57.50, 27.08 and 44.58% in

Tebuconazole 18.4% (62.56 kg hL^{-1}) y Doña Josefa-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (62.53 kg hL^{-1}).

El rendimiento de grano (REND) se incrementó en cada variedad cuando se aplicaron fungicidas. Las variedades a las que se les aplicó Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% tuvieron rendimientos superiores que en aquellas con aplicaciones de Tebuconazole 25%, excepto en Maravilla y AC-Metcalfé, donde Tebuconazole 25% fue superior numéricamente a Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (Cuadro 4). La combinación de Doña Josefa-Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% ($3567.4 \text{ kg ha}^{-1}$) fue donde se obtuvo el mejor rendimiento, aunque estadísticamente similar al obtenido en Doña Josefa-Tebuconazole 25% ($3258.3 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 4). El menor rendimiento de grano se obtuvo en la variedad Apizaco cuando no se aplicó fungicida (Apizaco-Sf) valor estadísticamente similar a la mayoría de las variedades cuando no se aplicó algún fungicida o cuando se aplicó Tebuconazole 25% en Apizaco y Esmeralda y Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% en AC-Metcalfé. Devlash *et al.* (2015) demostraron que la RA reduce severamente el rendimiento de grano en genotipos susceptibles, en estos casos se debe fomentar el uso de fungicidas efectivos para controlar al patógeno.

En términos de porcentaje, el aumento en el rendimiento obtenidos cuando se aplicó Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, fueron del 35, 31, 24, 16, 15 y 3% en las variedades Apizaco, ABI Voyager, Doña Josefa, Esmeralda, Maravilla, y AC Metcalfé, respectivamente, en comparación con no aplicar fungicida. Estos resultados muestran que las variedades responden de forma diferente a la aplicación de estos productos. Resultados similares fueron reportados por Kanwar *et al.* (2018) quienes indican que al aplicar fungicidas del grupo de los triazoles como Trifloxystrobin 25%

these varieties, respectively, when the disease was not controlled, whereas with the application of fungicides, SFE is notoriously reduced. In varieties Esmeralda, Doña Josefa and Maravilla, SFE was very low in all treatments and were statistically similar amongst them, even when Esmeralda-without fungicide recorded a SFE of 6.33. These results indicate a greater resistance to YR of these three varieties in comparison with the varieties Apizaco, AC Metcalfé and ABI Voyager. The AUDPC shows a similar tendency to that observed in SFE, where the varieties Apizaco, AC Metcalfé and ABI Voyager have the highest values for this variable, whereas Esmeralda, Doña Josefa and Maravilla are the varieties with the lowest AUDPC values, and therefore the most resistant to the disease.

Effect of the fungicides on the severity of the disease. The results obtained indicate a clear effect of the fungicides on the varieties (Tables 1 and 4) and that, in addition, in each location, there was a different level of severity (Tables 2, 3 and Figure 1). This effect on the application of fungicides for the control of YR has a greater relevance when observing the superiority of the yield, PH and a greater health of plants in comparison to when the disease is not controlled. Out of the six varieties, only Esmeralda presented low SFE values (Table 4), similar to those obtained by the two forage varieties (Maravilla and Doña Josefa). In addition, except for Apizaco, it is possible to claim that the six-row varieties display lower SFE than the two-row varieties (ABI Voyager and AC Metcalfé). The analysis of the joint information does not display a statistical superiority of Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% on Tebuconazole 25% in most varieties for SFE (Table 4), therefore the application of either one of the two fungicides is effective in controlling the disease and ensures a higher grain

+Tebuconazole 50% y Tebuconazole 25.9% observaron un aumento en el rendimiento de grano del 56.5 y 53.27%, respectivamente. Por otra parte, Selvakumar *et al.* (2014) reportan incremento en el rendimiento promedio de 42.97% con la aplicación de Tebuconazole 25.9%.

Para SFE se obtuvieron valores estadísticamente similares en la mayoría de los tratamientos (Cuadro 4), las diferencias estadísticas más notables se observaron en los tratamientos de las variedades susceptibles como Apizaco, AC Metcalfe y ABI Voyager, donde se alcanzaron valores de SFE de 57.50, 27.08 y 44.58% en estas variedades, respectivamente, cuando no se controló la enfermedad; con la aplicación de fungicidas, disminuye notablemente la SFE. En las variedades Esmeralda, Doña Josefa y Maravilla, la SFE fue muy baja en todos sus tratamientos y fueron estadísticamente similar entre ellas, aún y cuando Esmeralda-sin fungicida registró SFE de 6.33. Estos resultados indican mayor resistencia a RA de estas tres variedades en comparación con las variedades Apizaco, AC Metcalfe y ABI Voyager. El ABCPE, muestra una tendencia similar a lo observado en SFE donde las variedades Apizaco, AC Metcalfe y ABI Voyager tienen los mayores valores para esta variable, mientras que Esmeralda, Doña Josefa y Maravilla son las variedades con los menores valores de ABCPE y por ende las más resistentes a la enfermedad.

Efecto de los fungicidas sobre la severidad de la enfermedad. Los resultados obtenidos indican un efecto claro de los fungicidas en las variedades (Cuadros 1 y 4) y que, además en cada localidad se presentó una severidad diferente (Cuadros 2, 3 y Figura 1). Este efecto en la aplicación de fungicidas para el control de RA, tiene mayor relevancia al observar la superioridad del rendimiento, PH y mayor sanidad de las plantas en comparación a cuando no se realiza el control de la enfermedad. De las seis

yield, particularly in susceptible varieties. This coincides with the report by Devlash *et al.* (2015), who point out that applying fungicide, regardless of the product, significantly reduces the severity of the disease and increases yield in comparison with the control without fungicide, and they also point out that Tebuconazole reduced the disease severity by up to 91.8%. On the other hand, Walters *et al.* (2012) mention that protecting the plant from disease is better than trying to eradicate the pathogen, indicating that triazoles and strobilurins are effective in the reduction of the incidence of YR. Gangwar *et al.* (2018) mention that the fungicides belonging to the group of the triazoles, such as Tebuconazol 25%, and to the strobilurins, such as Azoxystrobin 25%, have proven to be effective in the control of rust in barley.

Losses in grain yield. Table 5 shows yield losses caused by YR in the three locations evaluated. The highest loss percentages were recorded in Relinas, with Apizaco being the variety with the greatest loss (53%), followed by AC Metcalfe (36%) and ABI Voyager (25%); Maravilla was the variety with the lowest percentage of losses, with only 5%. The location of Moxolahuac was the location with the second greatest loss, and where Apizaco and ABI Voyager had percentages of 26 and 25%, respectively. Esmeralda and Maravilla were the varieties with the least losses, with 13% each. For the location of Soltepec, the greatest losses were recorded in the varieties ABI Voyager (23%) and Doña Josefa (19%), while Esmeralda was the best variety with only 6% of yield loss. These results indicate that the varieties released by INIFAP (Esmeralda and Maravilla) are less affected in their yields by the presence of YR, while the two-row varieties, AC Metcalfe and ABI Voyager, along with Apizaco, are the varieties most affected by yellow rust due to their susceptibility.

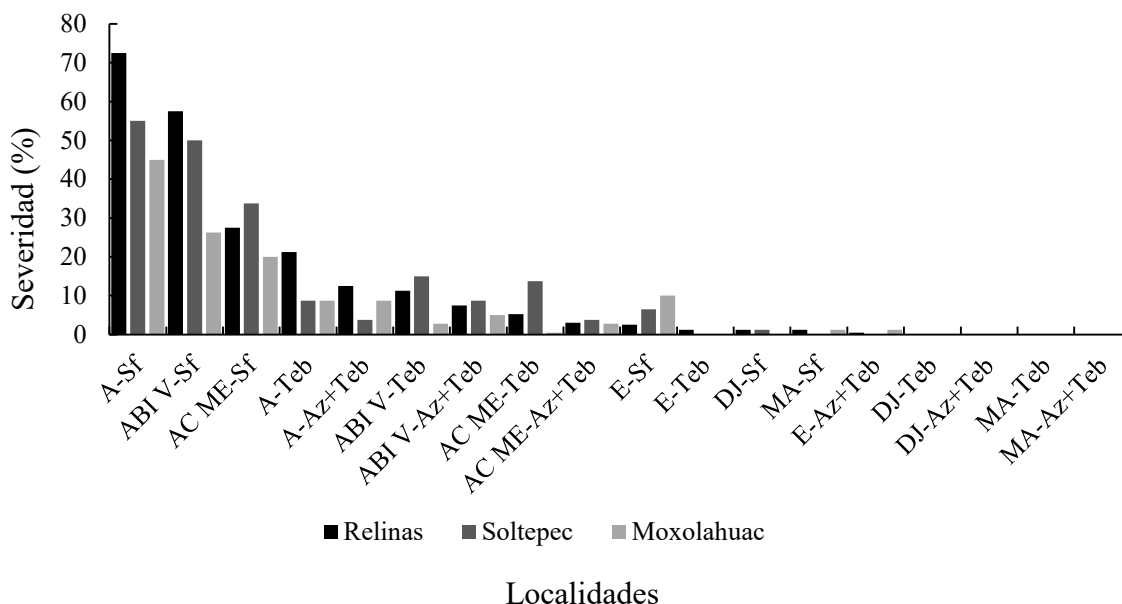


Figura 1. Comportamiento promedio por localidad de la severidad final de la enfermedad en seis variedades de cebada con y sin aplicación de fungicidas. A=Apizaco; DJ=Doña Josefa; E=Esmeralda; MA=Maravilla; AC ME=Metcalfe; ABI V=Voyager; Sf=Sin fungicida; Az+Teb=Azoxistrobin+Tebuconazole; Teb=Tebuconazole.

Figure 1. Average behavior by location of the final severity of the disease in six barley varieties with and without the use of fungicides. A=Apizaco; DJ=Doña Josefa; E=Esmeralda; MA=Maravilla; AC ME=Metcalfe; ABI V=Voyager; Sf=Sin fungicida; Az+Teb=Azoxistrobin+Tebuconazole; Teb=Tebuconazole.

variedades, las cuatro malteras, únicamente Esmeralda presentó valores de SFE bajos (Cuadro 4), cuyo valor fue similar al obtenido por las dos variedades forrajeras (Maravilla y Doña Josefa). Además, excluyendo Apizaco, es posible afirmar que las variedades de seis hileras presentan los menores valores de SFE que las variedades de dos hileras (ABI Voyager y AC Metcalfe). El análisis de la información conjunta no muestra una superioridad estadística de Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% sobre Tebuconazole 25% en la mayoría de las variedades para SFE (Cuadro 4), por lo que la aplicación de cualquiera de los dos fungicidas es efectiva para el control de la enfermedad y asegura un mayor rendimiento de grano, particularmente en variedades susceptibles; esta aseveración coincide con lo reportado por Devlash *et al.* (2015), quienes indican que al aplicar fungicida sin importar que

The yields obtained (average percentage) when Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% was applied were of 31, 24, 19, 18, 13 and 12 % in the varieties Apizaco, ABI Voyager, AC Metcalfe, Doña Josefa, Esmeralda and Maravilla, respectively, in comparison with not applying fungicide (Table 5). These results indicate that the varieties respond differently to these products and that they have different levels of resistance, although these differences do not statistically imply a higher yield. YR has caused significant losses in barley around the world. Marshall and Sutton (1995) reported losses of up to 72% in susceptible varieties, whereas Dubin and Stubbs (1986) indicate that losses in yield were estimated in 30 to 70% in Andean countries. On the other hand, Safavi *et al.* (2012) reported average losses caused by this disease in yield components such as the weight of one

producto sea, se reduce significativamente la severidad de la enfermedad y se aumenta el rendimiento en comparación con el testigo sin aplicación e indican que Tebuconazol redujo la severidad de la enfermedad hasta un 91.8%. Por otra parte, Walters *et al.* (2012) mencionan que es preferible proteger a la planta de la enfermedad y no tratar de erradicar el patógeno, indicando que los triazoles y las estrobilurinas son efectivos para reducir la incidencia de RA. Gangwar *et al.* (2018) mencionan que los fungicidas pertenecientes al grupo de los triazoles como Tebuconazol 25% y a las estrobilurinas como Azoxystrobin 25% han demostrado ser efectivos para el control de royas en cebada.

Pérdidas en el rendimiento de grano. En el Cuadro 5 se muestran las pérdidas del rendimiento ocasionadas por RA en las tres localidades evaluadas. Los mayores porcentajes de pérdidas se registraron en Relinas, siendo Apizaco la variedad con mayor pérdida (53%), seguido de AC Metcalfe (36%) y ABI Voyager (25%); Maravilla fue la variedad con menor porcentaje de pérdida con solo 5%. La localidad de Moxolahuac fue la segunda localidad con

thousand grains of 31% in susceptible genotypes, 3% in genotypes with resistance of a specific race, and 12% in lines with partial resistance, and for grain per spike, they reported losses of 19% (susceptible), 0.2% (specific race) and 8% (partial resistance). Kumar *et al.* (2020) reported losses in yield in Alberta, Canada, which range between 17.6 and 91% in susceptible varieties, and they point out that the application of fungicide is necessary when moderately resistant varieties are used and the disease prevail, which will reduce yield losses. Yellow rust is currently becoming more frequent in Mexico and the varieties planted do not have satisfactory levels of resistance, therefore one of the strategies to avoid losses in yield and the subsequent low-quality grain is to use chemical control methods as a complement to genetic control, using the control rationally and responsibly, to avoid contributing to the deterioration of the natural resources and to the resistance of the pathogen. Murray and Brennan (2010) point out that the use of chemical products must be in the correct dose in order to avoid producing lower amounts of residues in the environment, but particularly to stop the

Cuadro 5. Pérdidas promedio en el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de cebada ocasionadas por *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* para tres localidades, seis variedades y el fungicida Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazol 18.4%.

Table 5. Average losses in grain yield (kg ha^{-1}) of barley caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* for three locations, six varieties and the fungicide Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazol 18.4%.

Variedades	Relinas			Soltepec			Moxolahuac			Pp (%)
	REND SF	REND CF	P (%)	REND SF	REND CF	P (%)	REND SF	REND CF	P (%)	
Apizaco	646	1381	53	3103	3653	15	2297	3098	26	31
AC Metcalfe	542	844	36	3876	4161	7	2672	3158	15	19
ABI Voyager	787	1052	25	3558	4596	23	2623	3482	25	24
Esmeralda	983	1242	21	3125	3320	6	3057	3523	13	13
Doña Josefa	1227	1400	12	3972	4906	19	3435	4397	22	18
Maravilla	1136	1198	5	3279	4020	18	2994	3433	13	12

REND= rendimiento de grano (kg ha^{-1}); P= porcentaje de pérdidas; Pp= porcentaje de pérdidas promedio; SF= sin fungicida; CF= con fungicida. / REND= grain yield (kg ha^{-1}); P= percentage of losses; Pp= percentage of average losses; SF= without fungicide; CF= with fungicide.

mayores pérdidas y en ella, Apizaco y ABI Voyager tuvieron 26 y 25%, respectivamente. Esmeralda y Maravilla fueron las variedades con menores pérdidas con 13% cada una. Para la localidad de Soltepec, las mayores pérdidas se registraron en las variedades ABI Voyager (23%) y Doña Josefa (19%), mientras que Esmeralda fue la mejor variedad con solo 6% de pérdida en su rendimiento. Estos resultados indican que las variedades liberadas por INIFAP (Esmeralda y Maravilla), son menos afectadas en sus rendimientos por la presencia de RA mientras que, las variedades de dos hileras: AC Metcalfe y ABI Voyager, al igual que Apizaco son las variedades más afectadas por la roya amarilla por su susceptibilidad.

Los rendimientos obtenidos (porcentaje promedio) cuando se aplicó Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, fueron del 31, 24, 19, 18, 13 y 12% en las variedades Apizaco, ABI Voyager, AC Metcalfe, Doña Josefa, Esmeralda y Maravilla, respectivamente en comparación con no aplicar fungicida (Cuadro 5). Estos resultados muestran que las variedades responden de forma diferente a la aplicación de estos productos y que poseen niveles de resistencia diferente, no obstante, estas diferencias no implican un mayor rendimiento estadísticamente.

Mundialmente, la RA ha causado pérdidas significativas en el cultivo de cebada; Marshall y Sutton (1995) reportaron pérdidas hasta de 72% en variedades susceptibles; mientras que Dubin y Stubbbs (1986) indican que las pérdidas en rendimiento se estimaron de 30 a 70% en los países andinos. Por otra parte, Safavi *et al.* (2012), reportaron pérdidas promedio por esta enfermedad en componentes de rendimiento como peso de mil granos del 31% en genotipos susceptibles, del 3% en genotipos con resistencia de raza específica y del 12% en líneas con resistencia parcial, y para granos por espiga reportaron pérdidas del 19% (susceptibles), 0.2%

pathogen from becoming resistant to the products applied. Likewise, Walters *et al.* (2012) mention that the control of diseases in barley depends, to a large extent, on the combined use of fungicides and resistant varieties, along with adequate agronomic practices. Therefore, to carry out an efficient control of YR in barley, it is necessary to consider diverse aspects, including the production environment, the variety to be planted and the fungicide product to be applied, which will contribute towards having a lower impact on the environment and a higher income for the farmer.

CONCLUSIONS

The fungicide Azoxistrobin 11.1 % + Tebuconazole 18.4% presented the best control of yellow rust in barley and caused an increase of 35% in grain yield. The use of fungicides gave the greatest grain test weight. The losses in grain yield due to the disease reached 53%. Chemical control is a feasible alternative for the control of yellow rust in the barley crop in rainfed environments.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the fiscal barley project of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): Genetic Breeding of Barley to obtain highly productive and disease-resistant forage lines No. SIGI: 12532434778.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

(raza específica) y 8% (resistencia parcial). Kumar *et al.* (2020) reportaron pérdidas en el rendimiento en Alberta, Canadá que van del 17.6 al 91% en variedades susceptibles, e indican que es necesario

aplicar fungicida cuando se usan variedades moderadamente resistentes y la enfermedad es prevalente, lo cual reducirá las pérdidas en el rendimiento.

Actualmente en México, la roya amarilla de la cebada se está presentando con más frecuencia y las variedades sembradas no poseen niveles satisfactorios de resistencia, por lo cual una de las estrategias para evitar las pérdidas en rendimiento y la subsecuente obtención de mala calidad del grano, es utilizar el control químico como complemento al control genético, cuidando la utilización racional y responsable de dicho control, para evitar contribuir al deterioro de los recursos naturales y a la resistencia del patógeno. Murray y Brennan (2010) indican que la utilización de productos químicos debe ser en la dosis adecuada para no generar tantos residuos al ambiente, pero sobre todo para evitar que el patógeno genere resistencia al producto aplicado. Por su parte, Walters *et al.* (2012) mencionan que el control de enfermedades en la cebada depende en gran medida del uso combinado de fungicidas y variedades resistentes, junto con prácticas agro-nómicas apropiadas. Por ello, para tener un control eficiente de la RA en el cultivo de cebada, es necesario considerar diversos aspectos entre ellos el ambiente de producción, la variedad a sembrar y el producto fungicida por aplicar, lo cual permitirá tener un menor impacto en el ambiente y mayores ingresos económicos para el productor.

## CONCLUSIONES

El fungicida Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% presentó el mejor control de la roya amarilla de la cebada y causó un incremento del 35% en el rendimiento de grano. Con la aplicación de fungicidas se obtuvo mayor peso hectolítrico del grano. Las pérdidas en el rendimiento de grano por efecto de la enfermedad fueron de hasta 53%. El

control químico, es una alternativa viable para el control de la roya amarilla en el cultivo cebada en ambientes de temporal.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto fiscal de cebada del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): Mejoramiento Genético de cebada para obtener líneas forrajeras de alta productividad y tolerantes a enfermedades No. SIGI: 12532434778.

## LITERATURA CITADA

- Bertelsen JR, Neergaard E and Smedegaard-Petersen V. 2001. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology* 50(2): 190-205. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00545.x>
- Bjarko ME and Line RF. 1988. Heritability and number of genes controlling leaf rust resistance in four cultivars of wheat. *Phytopathology* 78(4): 457-461.
- Brown WM, Hill JP and Velasco VR. 2001. Barley yellow rust in North America. *Annual Review of Phytopathology* 39:367-384. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.367>
- Calhoun DS, Luna A and Vivar FHE. 1988. Chemical control of barley stripe rust, a new disease for North America. *Barley Newsletter* 32: 109-112.
- Cuéllar-Zambrano C, Sandoval-Islas S, Quijano-Carranza JA, Zamora-Díaz M y Gómez-Mercado R. 2015. Modelo de infección y desarrollo de *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* Eriks en Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Publicación Especial* 11: 2219-2224.
- Devlash R, Kishore N and Singh GD. 2015. Management of stripe rust of barley (*Hordeum vulgare* L.) using fungicides. *Journal of Applied and Natural Science* 7(1): 170-174. <https://doi.org/10.31018/jans.v7i1.583>
- Dubin HJ and Stubbs RW. 1986. Epidemic spread of barley stripe rust in South America. *Plant Disease* 70(2): 141-144.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2020. Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Diciembre 2020).
- Gangwar OP, Bhardwaj SC, Singh GP, Prasad P and Kumar S. 2018. Barley disease and their management: An Indian perspective. *Wheat and Barley Research* 10(3): 138-150. <https://doi.org/10.25174/22494065/2018/83844>
- González-González M, Zamora-Díaz M, Huerta-Zurita R y Solano-Hernández S. 2013. Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1237-1250. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n8/v4n8a10.pdf>

- González-González M, Zamora-Díaz M y Solano-Hernández S. 2016. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1): 159-171. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n1/2007-0934-remexca-7-01-00159-en.pdf>
- Guzmán-Ortiz FA, Soto-Carrasquel A, López-Perea P and Román-Gutiérrez AD. 2019. Valuation and use of a new variety of barley for brewing craft beer. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 11(1): 81-95. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.01.001>
- Jalata Z, Ayana A and Fufa F. 2011. Assessment of yield stability and disease responses in Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces and crosses. *International Journal of Agricultural Research* 6(11): 754-768. <https://doi.org/10.3923/ijar.2011.754.768>
- Kanwar H, Shekhawat PS, Kumar V and Nathawat BDS. 2018. Evaluation of fungicides for the management of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*) of barley. *Wheat and Barley Research* 10(3): 224-227. <https://doi.org/10.25174/2249-4065/2018/83425>
- Kumar K, Xi K, Turkington TK, Aljarrah M and Capettini F. 2020. Yield responses in spring wheat and barley cultivars, varying in stripe rust resistance in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Pathology* 42(3): 344-352. <https://doi.org/10.1080/07060661.2019.1680443>
- Line RF. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review. *Annual Review of Phytopathology* 40: 75-118. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.020102.111645>
- Marshall D and Sutton RL. 1995. Epidemiology of stripe rust, virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, and yield loss in barley. *Plant Disease* 79(7): 732-737. <https://doi.org/10.1094/PD-79-0732>
- Murray GM and Brennan JP. 2010. Estimating disease losses to the Australian Barley industry. *Australasian Plant Pathology* 39(1): 85-96. <https://link.springer.com/article/10.1071/AP09064>
- Newton AC, Flavell AJ, George TS, Leat P, Mullholland B, Ramsay L, Revoredo-Giha C, Russell J, Steffenson BJ, Swanston JS, Thomas WTB, Waugh R, White PJ and Bingham IJ. 2011. Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security* 3:141-178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>
- Peterson RF, Campbell AB and Hannah AE. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stem of cereals. *Canadian Journal of Research*. 26c(5): 496-500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>
- Rodríguez-García MF, González-González M, Huerta-Espino J, Solano-Hernández S y Villaseñor-Mir HE. 2019. Evaluación de fungicidas para el control de la roya lineal amarilla en cebada. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37(Suplemento): S89. <https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen372019/S372019.pdf>
- Rodríguez-García MF, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir HE, Rivas-Valencia P, González-González M, Hortelano-Santa Rosa R, Robles-Yerena L and Aranda-Ocampo S. 2020. Chemical treatment to wheat seed to reduce the incidence of bacteria. *Mexican Journal of Phytopathology* 30(2): 239-249. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2001-5>
- Roelfs AP, Huerta-Espino J and Marshall D. 1992. Barley stripe rust in Texas. *Plant Disease*. 76: 538.
- Safavi SA, Badai-Ahari A, Afshari F and Arzanlou M. 2012. Effect of yellow rust on yield components of barley cultivars with race-specific and slow rusting resistance to yellow rust. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 45(12): 1488-1498. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.677493>
- Sandoval-Islas JS, Osada-Kawasoe S, Vivar-Flores H y Benítez-Riquelme I. 1999. Correlación entre resistencia en plántula y resistencia en planta adulta a la roya amarilla y a la escaldadura de la cebada. *Agrociencia* 33(4): 415-422. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1627>
- Selvakumar R, Meeta M, Shekhawat PS, Verma RPS and Sharma I. 2014. Management of stripe rust of barley using fungicides. *Indian Phytopathology* 67(2):138-142.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Vaish SS, Ahmed SB and Prakash K. 2011. First documentation of status of barley diseases from the high altitude cold arid trans-Himalayan Ladakh region of India. *Crop Protection* 30(9): 1129-1137. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.015>
- Walters DR, Avrova A, Bingham IJ, Burnett FJ, Fountaine J, Havis ND, Hoad SP, Hughes G, Looseley M, Oxley SJP, Renwick A, Topp CFE and Newton AC. 2012. Control of foliar diseases in barley: towards an integrated approach. *European Journal of Plant Pathology* 133(1): 33-73. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-9948-x0>
- Zadoks JC, Chang TT and Konzak CF. 1974. A Decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14(6): 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zamora DM, Márquez CLA, Ramirez PF e Ibañez CAM. 1997. ESMERALDA Variedad de cebada maltera para los Valles Altos. Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Folleto Técnico No. 5. Chapingo, Edo. de Méx., México. 20 p.
- Zamora-Díaz M, Pérez-Ruiz JA, Huerta-Zurita R, López-Cano ML, Gómez-Mercado R y Rojas-Martínez I. 2017. Maravilla: variedad de cebada forrajera para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6): 1449-1454. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n6/2007-0934-remexca-8-06-1449.pdf>