

## Respuesta de variedades de cebada a fungicidas para el control de roya de la hoja

### [ Response of barley varieties to fungicides for the control of leaf rust ]

Miguel González González and María Florencia Rodríguez García

Programa de cebada, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In Mexico, the production of barley (*Hordeum vulgare* L.) is affected by various diseases including leaf rust (LR) caused by *Puccinia hordei* Otth. In the spring-summer/2018 cycle, under rainfed conditions and natural incidence of HR, a factorial test was established under a randomized complete block design, in the municipalities of Texcoco and Temascalapa, State of Mexico and Tlaxco, Tlaxcala, to evaluate the effect of two fungicides (Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% and Tebuconazole 25%) on the LR control in six varieties of barley. The variables measured were day to heading and maturity (DE, DM), Plant height (PH), Test weight (TW), grain yield (Yield) and final severity of the disease (FDS). Highly significant differences were found for TW, Yield and FDS for varieties, fungicides and localities (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). The most effective fungicide was Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% taking FDS of 2% and yield (REND) of 2,757.2 kg ha<sup>-1</sup> compared to the non-fungicide check which had 23% FDS and yield of 2,262.7 kg ha<sup>-1</sup>. The variety with the greatest resistance was ABI Voyager (10MS) and the most susceptible, Doña Josefa (40S). Disease control influenced performance, there were losses of 31% in Apizaco; 20% in Esmeralda; 19% for Doña Josefa and ABI Voyager; Maravilla with 16% and AC Metcalfe 9%. Resistance levels observed together with the use of fungicides will allow a comprehensive control of the disease.

**KEYWORDS:** Decrease, Yield, Resistance.

**RESUMEN:** En México, la producción de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es afectada por diversas enfermedades, entre ellas la roya de la hoja (RH) causada por *Puccinia hordei* Otth. En el ciclo primavera-verano 2018, bajo condiciones de temporal e incidencia natural de RH, se estableció un ensayo bajo un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial, en los municipios de Texcoco y Temascalapa, Estado de México y Tlaxco, Tlaxcala, para evaluar el efecto de dos fungicidas (Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y Tebuconazole 25%) en el control de RH en seis variedades de cebada. Se midieron las variables días a espigamiento y madurez (DE, DM), altura de planta (AP), peso hectolítrico (PH), rendimiento de grano (REND) y severidad final de la enfermedad (SFE). Se encontraron diferencias altamente significativas para PH, REND y SFE para variedades, fungicidas y localidades (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). El fungicida más eficaz fue Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% con una SFE de 2% y rendimiento (REND) de 2,757.2 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con el testigo, sin fungicida, que tuvo SFE de 23% y REND de 2,262.7 kg ha<sup>-1</sup>. La variedad más resistente fue ABI Voyager (10MS) y la más susceptible, Doña Josefa (40S). El control de la enfermedad afectó el rendimiento, hubo pérdidas de 31% en Apizaco; 20% en Esmeralda; 19% para Doña Josefa y ABI Voyager; Maravilla con 16% y AC Metcalfe de 9%. Los niveles de resistencia observados junto con el uso de fungicidas permitirán un control integral de la enfermedad.

**PALABRAS-CLAVE:** Disminución, Rendimiento, Resistencia.

## 1 INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), es una gramínea con alto potencial tanto para consumo animal como humano. Sus propiedades químicas la hacen de gran importancia nutritiva, rica en vitaminas y minerales. Ocupa el cuarto lugar a nivel mundial entre los países de mayor producción de cereales, después del maíz, trigo y arroz, mientras que en superficie cultivada ocupa el quinto lugar con 53 millones

de hectáreas sembradas alrededor del mundo. Según [1], la producción mundial en 2020 fue de alrededor de 157.7 millones de toneladas.

Durante el año 2021 la superficie sembrada de cebada en México fue de 345,414 hectáreas, de la cual el 21% fue establecida bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno y el 79% fue sembrada bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera/verano [2]. En los Valles Altos de la Mesa Central de México la cebada se produce bajo condiciones de temporal. La siembra bajo estas condiciones, en su mayoría, es afectada por factores abióticos, de los cuales la sequía, las heladas tempranas y el exceso de lluvias son los principales [3]. Por otra parte, se encuentran los factores bióticos, donde se destaca la incidencia de plagas y enfermedades.

Las enfermedades representan una limitación importante para la producción de cebada a nivel mundial, a pesar del gran esfuerzo que se realiza para el control de los agentes causantes [4]. No obstante, [5] indican que el cultivo de cebada se ve afectado por varios patógenos transmitidos por el aire, la semilla y el suelo, causando diversas enfermedades y pérdidas considerables del rendimiento y la calidad de los granos. Dentro de las principales enfermedades que afectan al cultivo de cebada se encuentran las royas, ocasionadas por hongos del género *Puccinia*, además, de manchas foliares provocadas principalmente por *Rhynchosporium secalis*, *Blumeria graminis*, *Drechslera teres* y *Bipolaris sorokiniana* [4].

La roya de la hoja (RH) causada por *P. hordei*, es una enfermedad común y ampliamente distribuida en muchas áreas productoras de cebada en el mundo y su importancia se ha incrementado en regiones con climas templados debido en parte a la agricultura intensiva [6], a la poca disponibilidad de variedades con resistencia a esta enfermedad [7], a la gran variabilidad patogénica del hongo [8] y al cambio climático [9]. En México la roya de la hoja se presenta en la mayoría de las áreas productoras de cebada de la Mesa Central [3].

En roya de la hoja de la cebada se han reportado epidemias importantes a nivel mundial y han causado pérdidas considerables en el rendimiento de grano. Estudios realizados por [10] y [11] indican una disminución del 17 a 25%; mientras que, [12] determinó una baja en la productividad del 32%. Por otra parte, [13] reportaron pérdidas del 33%; no obstante, estos daños pueden alcanzar un decremento de hasta el 62% según [6], en genotipos susceptibles.

Una de las estrategias de control más efectiva para el manejo de las royas es el uso de variedades de cebada resistentes; sin embargo, en México las que son actualmente recomendadas no poseen niveles de resistencia satisfactorios y se tiene que recurrir al control químico como medida complementaria al control genético. Por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue determinar la efectividad biológica de los fungicidas Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y Tebuconazole 25% para el control de roya de la hoja y evaluar el nivel de resistencia que poseen seis variedades de cebada.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron durante el ciclo primavera-verano del 2018 en tres ambientes de temporal representativos de las regiones productoras de cebada de los Valles Altos de México: 1) Santa Lucía, Texcoco, Estado de México - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX) ubicado a 19° 51' 48.4" LN y 98° 53' 14.29" LO y una altitud de 2 272 msnm; 2) Temascalapa, Estado de México ubicada a 19° 51' 48.4" LN, 98° 51' 17" LO y una altura de 2 323 msnm; 3) Unión Ejidal, Tierra y Libertad (La Unión), Tlaxco, Tlaxcala a 19° 39' 51.6" LN, 98° 19' 56.7" LO a 2 521 msnm.

El diseño experimental utilizado en cada ambiente fue bloques completos al azar con arreglo factorial (6 × 3) y cuatro repeticiones. 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 m<sup>2</sup> considerada como parcela útil.

Los fungicidas probados fueron Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (Azimut® 320 SC) y Tebuconazole 25% (Folicur® 25 EW) aplicando la dosis recomendada por el fabricante (0.7 L ha<sup>-1</sup> para Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%) y (0.5 L ha<sup>-1</sup> para Tebuconazole 25%). En todos los tratamientos se utilizó el coadyuvante poliéter polimetilsiloxano copolímero (Break Thru®) a una dosis de 0.25 L ha<sup>-1</sup>. La aplicación de los diferentes fungicidas se realizó dos veces, la primera a los 50 días después de la siembra y la segunda a los 20 días después de la primera aplicación. Para comparar el efecto de los fungicidas, se establecieron parcelas testigo (sin fungicida) en cada una de las variedades evaluadas.

La incidencia de la roya de la hoja se presentó de forma natural, ya que las tres localidades presentan condiciones climáticas favorables para el desarrollo del patógeno tales como períodos largos de humedad (±72 horas) y temperaturas de 10 a 25°C [3].

Se evaluaron seis variedades de cebada; Apizaco, Esmeralda y Maravilla liberadas y recomendadas para temporal por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), reportadas como susceptible, moderadamente resistente y resistente a la enfermedad, respectivamente; Doña Josefa (ampliamente sembrada en temporal) liberada por el Instituto de Investigación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), AC Metcalfe y ABI Voyager, variedades de Canadá y USA respectivamente de reciente introducción al país y recomendadas vía convenio por los consorcios cerveceros para su producción en

México. Todas las variedades son de tipo de crecimiento de primavera; las cuatro primeras son de seis hileras; mientras que, las últimas dos corresponden a variedades de dos hileras.

Se registraron las variables días a espigamiento (DE): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50% de las plantas presentaron espigas visibles; días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo cambia a un color amarillo; 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 y transformado en  $\text{kg ha}^{-1}$ ; peso hectolítrico (PH): peso del grano por unidad de volumen; y, severidad final de la enfermedad (SFE): nivel máximo del área foliar dañada, registrada en porcentaje y utilizando la escala modificada de Cobb propuesta por [14], y la respuesta del hospedante a la infección se determinó de acuerdo con [15], donde R: resistente, uredinios diminutos; MR: moderada resistencia, uredinios pequeños; MS: moderada susceptibilidad, uredinios pequeños de tamaño moderado y S: susceptible, uredinios grandes.

Los valores de la variable SFE fueron transformados para tener una distribución normal de los datos en el análisis de varianza. Sin embargo, para analizar el comportamiento promedio, se utilizaron los valores en porcentaje, para una mejor observación de la magnitud de la enfermedad (severidad y respuesta del hospedante).

Los datos de las variables obtenidas fueron analizados estadísticamente por localidad y de manera conjunta con el programa SAS® 9.3 [16] y se realizaron comparaciones de medias para las variables en estudio mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA

Los análisis estadísticos de los datos mostraron un comportamiento con tendencia similar en cada una de las localidades evaluadas, esto se confirmó al realizar el análisis estadístico combinado con las tres localidades de estudio. Con base en los resultados obtenidos del análisis estadístico conjunto (Tabla 1), se observó significancia estadística alta para todas las variables evaluadas. Para DE, los resultados mostraron significancia estadística alta para variedades, localidades y la interacción variedad\*localidad, lo que indica un comportamiento distinto entre las variedades cuya expresión de los genotipos está condicionada por el ambiente [17].

Tabla 1. Cuadros medios del análisis de varianza para variables agronómicas y de severidad en seis variedades de cebada. Ciclo P-V/2018

FV	GL	DE	DM	AP	PH	SFE	REND
Variedad (V)	5	1256.8**	1164.3**	627.8**	121.7**	413.3**	5293084.0**
Fungicida (F)	2	0.5 <sup>ns</sup>	331.5**	18.9 <sup>ns</sup>	120.5**	10337.5**	4527259.8**
Localidad (L)	2	469.3**	24.8*	17797.7**	1309.7**	3732.6**	137353159**
Repetición (R)	3	0.9	23.9	48.1	5.1	7.8	365338.3
F x R	6	1.2 <sup>ns</sup>	9.23 <sup>ns</sup>	5.2 <sup>ns</sup>	2.9 <sup>ns</sup>	5.4 <sup>ns</sup>	113032 <sup>ns</sup>
V x F	10	1.1 <sup>ns</sup>	8.2 <sup>ns</sup>	8.0 <sup>ns</sup>	13.0**	433.0**	283892.8 <sup>ns</sup>
L x F	4	1.3 <sup>ns</sup>	78.9**	19.6 <sup>ns</sup>	22.5**	1688.1**	501371.6 <sup>ns</sup>
V x L	10	37**	251.8 <sup>ns</sup>	209.3**	23.6**	58.1 <sup>ns</sup>	1256762**
Error	173	1.6	9.1	14.6	2.6	35.9	214914.8
CV (%)		2.1	2.5	6.00	2.8	65.7	18.6

\*, \*\*: Nivel de significancia  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente; ns: no significativo; FV: factor de variación; GL: grados de libertad; DE: días a espigamiento; DM: días a madurez; AP: altura de planta; PH: peso hectolítrico; REND: rendimiento de grano; SFE: severidad final de la enfermedad.

Para DM, se observaron diferencias estadísticas altas para variedades, fungicidas y la interacción fungicida\*localidad, lo que evidencia que el comportamiento de esta variable está en función de los genotipos y de los fungicidas aplicados. Las localidades también condicionan la respuesta de esta variable [17]. En AP, las diferencias estadísticas altas fueron para variedades, localidades y variedad\*localidad, estos resultados muestran que la dimensión de las plantas está en función de las variedades y del ambiente en donde fueron establecidos [17] y que los productos químicos no condicionaron este comportamiento.

Para la variable PH, se observaron diferencias significativas altas para variedades, fungicidas, localidades y sus respectivas interacciones. El peso hectolítrico es un parámetro de calidad que clasifica con base a su valor a cebadas adecuadas para maltería, por esta razón sus valores influyen en la calidad y el rendimiento de los productos terminados [3]. De acuerdo con la norma NMX-FF-043-SCFI-2003 las cebadas de seis hileras para ser consideradas en la industrialización cervecera, deben tener un valor mínimo de  $56 \text{ kg hL}^{-1}$

y de 58 kg hL<sup>-1</sup> en cebadas de dos hileras. Los resultados obtenidos indican que las variedades, los fungicidas aplicados y las localidades tienen un efecto significativo en los valores del PH del grano.

Para SFE se encontró significancia estadística alta para variedades, fungicidas, localidades y las interacciones variedad × fungicida y localidad × fungicida, lo que indica que los niveles de severidad de la enfermedad son contrastantes entre variedades, ambientes y productos químicos. [18] observaron niveles de variación alta en la severidad de la enfermedad entre sitios geográficamente similares. Para la variable REND, se observó significancia estadística alta en variedades, fungicidas, localidades y en la interacción variedad × localidad. Es importante destacar que la interacción, variedad × fungicida fue no significativa por lo que la respuesta del rendimiento podría estar relacionado con el potencial de rendimiento de cada variedad.

### 3.2 COMPARACIÓN DE MEDIAS

Los resultados de la comparación de medias de los fungicidas (Tabla 2), muestran un comportamiento contrastante entre los fungicidas para las variables DM, PH, REND y SFE; mientras que para DE y AP no se observaron diferencias estadísticas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Para DM Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% ocasionó que las variedades fueran más tardías esto debido en parte a que dicho fungicida es a base de azoxistrobin perteneciente a la familia química de las estrobirulinas, que en su conjunto causan el efecto de retardación de senescencia (stay-green), dicho fenómeno también fue observado en trigo por [19].

Tabla 2. Comparación de medias de fungicidas aplicados en seis variedades de cebada en tres localidades. Ciclo P/V-2018

Fungicida	DE	DM	AP	PH	SFE (%)	REND
Azoxistrobin + Tebuconazole	58.8 a	123.8 a	64.3 a	59.5 a	2.0	2757.2 a
Tebuconazole	58.8 a	122.6 b	63.7 a	58.4 b	2.4	2737.8 b
Sin fungicida	58.7 a	119.6 c	63.4 a	56.9 c	23.0	2262.7 b
Media	58.8	122.0	63.8	58.3	9.1	2485.9
DSH (0.05)	0.4943	1.2	1.5	0.6		182.7

Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). DE: días a espigamiento; DM: días a madurez fisiológica; AP: altura de planta; PH: peso por hectolitro (kg hL); REND: rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); SFE: severidad final de la enfermedad.

Para PH, los mayores valores se encontraron en los tratamientos con Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, seguido de Tebuconazole 25% y los menores valores se obtuvieron cuando no se aplicó ningún producto fungicida, estos resultados indican que los fungicidas influyeron en los niveles de infección de la roya de la hoja y por consiguiente en el valor del peso hectolítrico de las variedades [3].

En el caso de SFE se observó que, los tratamientos con fungicidas tuvieron un porcentaje reducido de la enfermedad (2%), mientras que cuando no se aplican fungicidas, la severidad final promedio alcanzó el 23%. El rendimiento de grano (REND), mostró valores promedio más altos en los tratamientos con Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, en cambio con Tebuconazole 25% y testigo sin aplicar, fueron estadísticamente similares para esta variable.

Al analizar el efecto de las localidades, los resultados obtenidos (Tabla 3), indican que, con excepción de DM, todas las variables estuvieron condicionadas por la localidad, lo que evidencia la importancia del ambiente en el comportamiento de los genotipos. Asimismo, [20] confirmaron la existencia de una fuerte variación de las condiciones ambientales en diferentes fechas de siembra, y años de prueba en cebada. Con base en los resultados, la localidad donde se presentó la mayor precocidad (DE; 56 días) fue Santa Lucia. Los mayores portes de planta se observaron en la localidad de La Unión y los menores, en Temascalapa.

Tabla 3. Valores promedio por localidad para variables agronómicas en tres localidades y seis variedades de cebada. Ciclo P/V-2018

Localidades	DE	DM	AP	PH	SFE (%)	REND
Temascalapa	60.3 a	121.4 a	48.0 c	59.0 b	17.3	1058.5 c
La Unión	60.1 a	122.1 a	79.5 a	62.2 a	6.3	3775.5 a
Santa Lucia	55.8 b	122.5 a	63.8 b	53.7 c	3.8	2653.7 b
Media	58.8	121.0	63.8	58.3	9.1	2485.9
DSH (0.05)	0.5	1.2	1.5	0.6		182.7

DE: días a espigamiento; DM: días a madurez fisiológica; AP: altura de planta; PH: peso por hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>); REND: rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); SFE: severidad final de la enfermedad. Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

El PH fue variable; en promedio, las localidades de Temascalapa y La Unión tuvieron valores de acuerdo con lo especificado por la norma, por el contrario, en la localidad de Santa Lucía, el valor promedio estuvo por debajo del valor mínimo requerido (56.0 kg hL<sup>-1</sup>). En cuanto a SFE la mayor severidad para roya de la hoja se observó en la localidad de Temascalapa con un 17.3%; por otro lado, en La Unión y Santa Lucía el promedio de severidad fue menor a 7%.

Para REND, los mayores valores fueron obtenidos en la localidad de La Unión, seguido de Santa Lucía. El rendimiento promedio alcanzado en ambas localidades supero a la media general en un 53 y 7% respectivamente; en contraste con lo obtenido en la localidad de Temascalapa que presentó una disminución del 57%. Estos resultados están relacionados directamente con los portes de planta, ya que, en las localidades con mayores alturas de planta, se observaron los mayores rendimientos, probablemente por la mayor producción de biomasa.

El comportamiento promedio (Tabla 4) de cada variedad con base en su tratamiento químico mostró resultados estadísticamente diferentes para todas las variables evaluadas. Las variedades de seis hileras (Esmeralda, Apizaco y Doña Josefa) fueron en general, más precoces que las de dos hileras (AC Metcalfe y ABI Voyager). En Esmeralda se observaron los mayores valores de precocidad (DE y DM). Para DM se observó una tendencia numérica dentro de cada variedad, que incrementó la cantidad de días requeridos para llegar a esta etapa en los tratamientos con Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% seguido de Tebuconazole 25%.

**Tabla 4. Comportamiento promedio de seis variedades de cebada evaluadas en tres localidades. Ciclo P/V-2018**

Tratamientos	DE	DM	AP	PH	SFE (%) -R	REND
Apizaco-Sf	55.2 cd	117.2 ed	61.0 edf	53.0 g	16 MS	1800.0 f
Apizaco-Teb	54.7 d	119.9 cd	61.7 edf	55.5 f	3 MR	1982.3 ef
Apizaco-Az+Teb	55.2 cd	120.8 cd	61.6 edf	57.8 dce	3 MR	2603.4 cedb
Esmeralda-Sf	50.8 e	111.1 f	59.0 ef	56.3 ef	27 MS	1864.2 f
Esmeralda-Teb	50.9 e	115.5 e	58.3 f	58.6 dceb	3 MR	2044.0 ef
Esmeralda-Az+Teb	50.7 e	117.3 ed	60.6 ef	58.9 cb	2 MR	2318.7 cedf
Doña Josefa-Sf	58.9 b	118.5 ed	60.7 ef	57.1 dcef	41 S	2759.7 cadb
Doña Josefa-Teb	59.8 b	123.3cb	60.7 ef	59.2 cb	3 MR	3063.0 ab
Doña Josefa-Az+Teb	59.4 b	123.8 cb	61.0 edf	60.5 ab	2 MR	3402.0 a
Maravilla-Sf	56.5 c	117.4 ed	63.7 cedf	57.3 dcef	18 MS	2425.2 cedbf
Maravilla-Teb	56.1 cd	118.4 ed	62.2 edf	57.7 dcef	2 MR	2754.8 cadb
Maravilla-Az+Teb	56.6 c	120.8 cd	64.5 cedb	56.4 def	2 MR	2879.4 cab
AC Metcalfe-Sf	65.7 a	127.3 ab	69.6 ab	58.8 dcb	24 MS	2154.4 edf
AC Metcalfe-Teb	66.4 a	129.5 a	69.4 ab	59.1 cb	2 MR	2413.8 cedbf
Ac Metcalfe-Az+Teb	66.2 a	130.2 a	70.50 a	61.7 a	2 MR	2373.6 cedf
ABI Voyager-Sf	64.8 a	126.3 ab	66.4 cadb	59.1 cb	12 MS	2392.8 cedbf
ABI Voyager-Teb	64.9 a	128.8 a	69.0 cab	60.5 ab	2 MR	2548.6 cedb
ABI Voyager-Az+Teb	64.8 a	130.2 a	67.9 cab	61.7 a	2 MR	2966.2 cab
DSH (0.05)	1.8	4.4	5.5	2.3		670.4

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ). DE: días a espigamiento, DM: días a madurez, AP: altura de planta, PH: peso hectolítrico, REND: rendimiento de grano en kg ha<sup>-1</sup>. SFE: severidad final promedio de la enfermedad. Sf: sin fungicida, Az+Teb: Azoxistrobin + Tebuconazole, Teb=Tebuconazole; R=reacción; MR=moderada resistencia; MS=moderada susceptibilidad; S=susceptible.

En AP, se encontraron diferencias entre variedades; sin embargo, la aplicación de fungicidas no mostró diferencias estadísticas en el comportamiento de cada variedad respecto de aquellas sin tratamiento. Las plantas más altas fueron registradas en las variedades de dos hileras y las plantas de menor altura, en la variedad de seis hileras Esmeralda con el tratamiento de Tebuconazole 25%.

En el PH se dieron diferencias en función del producto aplicado tanto entre variedades como dentro de las mismas. Los mejores valores se obtuvieron en las variedades ABI Voyager y AC Metcalfe cuando se aplicó el tratamiento Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%; en contraste con lo observado en Maravilla, donde se obtuvo el menor valor. Los menores valores de PH se presentaron en la variedad Apizaco con aplicación de Tebuconazole 25% y sin fungicidas. Además, estos dos tratamientos fueron los únicos que no cumplieron con el valor mínimo requerido de acuerdo con la norma establecida para su comercialización.

Para la SFE, las mayores severidades de RH se registraron en los tratamientos sin fungicida. Mientras que, con la aplicación de algún fungicida, se observó una respuesta satisfactoria para el control de la enfermedad. La mayor incidencia de roya de la hoja en los testigos

fue en las variedades Doña Josefa, Esmeralda y AC Metcalfe. En los que se aplicó fungicida, las diferencias encontradas fueron solo numéricas donde las variedades con Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% resultaron ser ligeramente superiores a las de Tebuconazole 25%. De esta manera, Doña Josefa y AC Metcalfe con Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% fueron numéricamente los mejores tratamientos.

El rendimiento de grano (Tabla 4) mostró una tendencia similar a lo observado en las variables antes mencionadas. En el tratamiento con el fungicida Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% se obtuvieron los mayores rendimientos seguido de Tebuconazole al 25%. Los REND más altos se presentaron en la variedad Doña Josefa con la aplicación de Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% y Tebuconazole al 25%; mientras que, en la variedad ABI Voyager solamente con la aplicación de Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%. Los rendimientos más bajos fueron registrados en Apizaco y Esmeralda sin fungicida y con aplicación de Tebuconazole 25%. En todas las variedades evaluadas con excepción de Apizaco, no se observó significancia estadística de algún producto en comparación con su testigo.

### 3.3 MERMAS EN EL RENDIMIENTO DE GRANO

En la tabla 5 se presentan las pérdidas en rendimiento de grano causadas por la roya de la hoja en variedades comerciales de cebada sin aplicación de fungicida. En variedades susceptibles como Apizaco, la disminución en el rendimiento puede alcanzar 31%. En variedades moderadamente susceptibles a susceptibles como Doña Josefa, ABI Voyager, Maravilla y Esmeralda varían entre un 12% a 20% dependiendo del ambiente. En AC Metcalfe, variedad moderadamente resistente a RH tuvo una merma en su productividad de 9%.

**Tabla 5. Pérdidas promedio en el rendimiento de grano ocasionadas por *Puccinia hordei* para tres localidades, seis variedades y el fungicida Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazol 18.4%**

Variedades	REND-SF	REND-CF	D-REND	P (%)
Apizaco	1800	2603	803	31
Esmeralda	1864	2319	455	20
Doña Josefa	2760	3402	642	19
ABI Voyager	2393	2966	573	19
Maravilla	2425	2879	454	16
AC Metcalfe	2154	2374	219	9

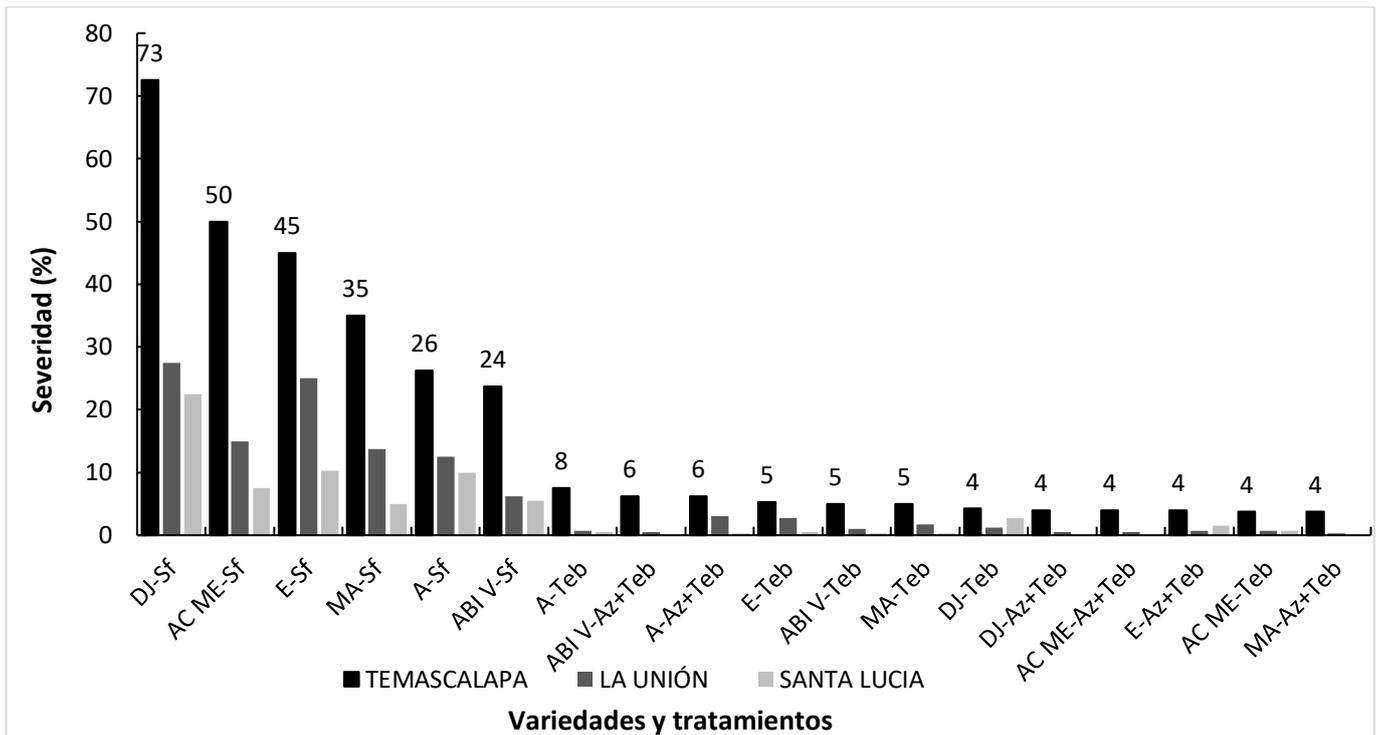
REND-SF: rendimiento de grano sin fungicida ( $kg\ ha^{-1}$ ); REND-CF: rendimiento de grano con fungicida ( $kg\ ha^{-1}$ ); D-REN: disminución del rendimiento de grano ( $kg\ ha^{-1}$ ); P: porcentaje de pérdidas.

Evaluaciones realizadas por diversos autores reportaron resultados similares a los obtenidos en este estudio. [11] indican disminución en el rendimiento de grano ocasionadas por la roya de la hoja de cebada de 17 a 25%. Por otra parte, [12], reportan una merma de 32% en variedades susceptibles como Barsoy. En África [21] cuantificaron daños en el rendimiento por RH en variedades susceptibles del 58% para SSG 525, del 49% (Stirling) y un 39% para Clipper; para cultivares con resistencia fueron del 20%, 13% y 5% para B95/10, B94/2 y SSG 532 respectivamente. [13], mencionan que la afectación por RH puede alcanzar hasta 33% en la variedad susceptible Wysor. No obstante, [6] reportan pérdidas hasta de 62% en variedades susceptibles de cebada.

En los ambientes de producción del cultivo de cebada, es común la incidencia de roya de la hoja. El efecto de esta enfermedad en el rendimiento de grano es variable y la producción de grano obtenida es mayor en comparación con el daño ocasionado por roya lineal amarilla (RLA), donde las pérdidas del rendimiento pueden alcanzar hasta el 72%, como lo indican [22].

### 3.4 SEVERIDAD DE LA ENFERMEDAD POR AMBIENTE

En la figura 1 se presenta la severidad final de la enfermedad en cada genotipo, tratamientos químicos y ambientes de evaluación, en la cual se puede apreciar que para todos los ambientes de evaluación sin la aplicación de fungicida la severidad de la enfermedad es mayor en comparación con la aplicación de cualquier fungicida.



**Fig. 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

Sin aplicación de fungicida, en la localidad de Temascalapa fue donde se observó mayor severidad de RH. Todas las variedades en dicho ambiente fueron de susceptibles a moderada susceptibilidad; Doña Josefa sin fungicida tuvo una severidad final del 73%, seguida de AC Metcalfe (50%), Esmeralda (45%), Maravilla (35%), Apizaco (26%) y ABI Voyager (24%), lo que indica que los niveles de resistencia que poseen las variedades no son adecuados para ambientes donde la incidencia de la enfermedad es importante como la zona productora de cebada del norte del Estado de México.

Sin embargo, la aplicación de fungicida representa una alternativa eficaz para el control RH en variedades con niveles bajos de resistencia como lo es Doña Josefa, que con la aplicación de fungicida se observó una severidad final del 4%. Estos resultados coinciden con lo reportado por [13] quienes mencionan que con la aplicación de fungicida hay una disminución en el porcentaje del área foliar dañada en genotipos de cebada susceptibles a moderadamente susceptible a roya de la hoja.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, el fungicida más eficaz para el control de la roya de la hoja en cebada fue Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4%, el cual redujo la severidad final de la enfermedad hasta en un 94% en comparación con el testigo como se observa en la variedad Doña Josefa; además, se registró un mayor rendimiento e incremento en el PH en las variedades cuando recibieron este tratamiento fúngico.

Dichos resultados coinciden con lo reportado por [23] y [3] quienes mencionan que al aplicar fungicida para el control de roya en cebada se reduce la severidad de la enfermedad y se aumenta el rendimiento. [24] y [25] reportan un incremento del rendimiento de grano hasta de 1 t ha<sup>-1</sup> al aplicar fungicidas con relación al testigo, sin que se justifique la aplicación en variedades tolerantes. [26], obtuvieron un incremento en el rendimiento de cebada de 0.5 a 1 t ha<sup>-1</sup> al aplicar fungicida. Por otra parte, [27] reportaron un control efectivo (> 85%) para roya de la hoja del trigo con la aplicación de Azoxistrobin + Tebuconazole y observaron un aumento en los componentes de rendimiento.

Una de las estrategias de control más efectiva para las royas en cereales es el mejoramiento genético; sin embargo, para cebada en México, las variedades actualmente recomendadas no poseen niveles de resistencia satisfactorios para roya de la hoja y se tiene que recurrir al control químico como medida complementaria al control genético como lo menciona [7]. Ante este panorama es importante considerar la variedad a sembrar y el fungicida por aplicar para tener un control eficiente como lo mencionan [4], quienes indican que, el control de enfermedades en la cebada depende en gran medida del uso combinado de fungicidas y variedades resistentes, junto con los procedimientos agronómicos apropiados.

#### 4 CONCLUSIÓN

Se obtuvo una superioridad numérica de Azoxistrobin + Tebuconazole sobre Tebuconazole 25% en el control de roya de la hoja. El rendimiento de grano fue superior en los tratamientos con fungicidas, siendo Doña Josefa con aplicación de Azoxistrobin 11.1% + Tebuconazole 18.4% (3402 kg ha<sup>-1</sup>) el mejor tratamiento. Las pérdidas en rendimiento de grano observadas estuvieron en función del nivel de resistencia de las variedades. La aplicación del fungicida a base de Azoxistrobin incrementó en promedio 4 días el ciclo de cultivo y en 496 kg el rendimiento de grano. Los resultados obtenidos permiten identificar los factores principales a considerar para el control eficiente de RH, destacando por su importancia la variedad a sembrar, el fungicida y el ambiente de producción.

#### AGRADECIMIENTO

Al proyecto de cebada: Mejoramiento genético de cebada para obtener líneas forrajeras de alta productividad y tolerantes a enfermedades No. SIGI: 12532434778.

#### REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «FAOSTAT» 2020 [Online] Disponible: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Marzo, 2023).
- [2] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, «Producción Anual Agrícola» 2021 [Online] Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Marzo 15, 2023).
- [3] M. González-González, M. Zamora-Díaz, R. Huerta-Zurita y S. Solano-Hernández, «Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera», *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 4, no. 8, pp. 1237-1250, 2013.
- [4] D. R. Walters, A. Avrova, I. J. Bingham, F. J. Burnett, J. Fountaine, N. D. Havis, S. P. Hoad, G. Hughes, M. Looseley, S. J. P. Oxley, A. Renwick, C. F. E. Topp and A. C. Newton, «Control foliar diseases in barley: towards an integrated approach», *European Journal of Plant Pathology*, vol. 133, no. 1, pp. 33-73, 2012.
- [5] O. P. Gangwar, S. C. Bhardwaj, G. P. Singh, P. Prasad and S. Kumar, «Barley diseases and their management: An Indian perspective», *Wheat and Barley Research*, vol. 10, no. 3, pp. 138-150, 2018.
- [6] R. F. Park, P. G. Golegaonkar, L. Derevnina, K. S. Sandhu, H. Karaoglu, H. M. Elmansour, P. M. Dracatos and D. Singh, «Leaf rust of cultivated barley pathology and control», *Annual Review of Phytopathology*, vol. 53, pp. 565-589, 2015.
- [7] M. F. Rodríguez-García, M. González-González, J. Huerta-Espino, S. Solano-Hernández y H. E. Villaseñor-Mir, «Control químico de la roya de la hoja en cebada en condiciones de temporal» *Revista Mexicana de Fitopatología* vol. 37 no. sup, pp. 88-89, 2019.
- [8] K. S. Sandhu, H. Karaoglu and R. F. Park, «Pathogenic and genetic diversity in *Puccinia hordei* Otth in Australasia», *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, vol. 8, no. 10, pp. 197-205, 2016.
- [9] I. K. Dawson, J. Russell, W. Powell, B. Steffenson, W. T. B. Thomas and R. Waugh, «Barley: a translational model for adaptation to climate change», *New Phytologist*, vol. 206, no. 3, pp.913-931. 2015.
- [10] M. J. Conry and B. Dunne, «Effects of nitrogen timing and frequency of fungicide applications on grain yields of winter barley in Ireland», *The Journal of Agricultural Science*, vol. 120, no. 2, pp. 181-186, 1993.
- [11] V. Schoefl, V. Zinkernangel and J. A. Vereet, «Decision support system to control *Puccinia hordei* on barley based on disease threshold values and weather criteria», *46<sup>th</sup> International Symposium on Crop Protection*, United Kingdom 1992 to 1993, Gen Belgium, pp. 977-985, 1994.
- [12] C. A. Griffey, M. K. Das, R. E. Baldwin and C. M. Waldenmaier, «Yield losses in winter barley resulting from a new race of *Puccinia hordei* in North America» *Plant Disease*, vol. 78, no. 3, pp. 256-260, 1994.
- [13] M. K. Das, C. A. Griffey, R. E. Baldwin, C. M. Waldenmaier, M. E. Vaughn, A. M. Price and W. S. Brooks, «Host resistance and fungicide control of leaf rust (*Puccinia hordei*) in barley (*Hordeum vulgare*) and effects on grain yield and yield components», *Crop Protection*, vol. 26, no. 9, pp. 1422-1430, 2007.
- [14] R. F. Peterson, A. B. Campbell and A. E. Hannah, «A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stem of cereals», *Canadian Journal of Research*, vol. 26c, no. 5, pp. 496-500, 1948.
- [15] A. P. Roelfs, R. P. Singh y E. E. Saari, «Las Royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades», *CIMMYT*. El Batán, Texcoco, Estado de Mexico. Manual técnico. 81 p. 1992.
- [16] Statistical Analysis System (SAS), Release 9.3 for Windows, SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA, 2016.
- [17] M. González-González, M. Zamora-Díaz y S. Solano-Hernández, «Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera», *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7, no. 1, pp. 159-171, 2016.
- [18] H. E. Creissen, T. H. Jorgensen and J. K. M. Brown, «Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes», *Crop Protection*, vol. 85, no. 7, pp. 1-8, 2016.

- [19] L. A. Mariscal-Amaro, H. E. Villaseñor-Mir, E. Solís-Moya, R. Hortelano-Santa Rosa y E. Martínez-Cruz, «Efecto de fungicidas sobre caracteres agronómicos, rendimiento y tizones foliares en trigo de temporal en México», *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 43, no. 1, pp. 71-78, 2020.
- [20] J. Pérez-Ruiz, M. Zamora-Díaz, J. Mejía-Contreras, A. Hernández-Livera y S. Solano-Hernández, «Estabilidad del rendimiento de grano en cebada maltera en El Bajío, México», *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, vol. 32, no. 1, pp. 12-19, 2016.
- [21] B. D. Niekerk, Z. A. Pretorius and W. H. P. Boshoff, «Potential yield losses caused by barley leaf rust and oat leaf and stem rust to South African barley and oat cultivars», *South African Journal of Plant and Soil*, vol. 18, no. 3, pp. 108-113, 2001.
- [22] D. Marshall and R. L. Sutton, «Epidemiology of stripe rust, virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, and yield loss in barley», *Plant Disease*, vol. 79, no. 7, pp. 732-737, 1995.
- [23] H. Kanwar, P. S. Shekhawat, V. Kumar and B. D. S. Nathawat, «Evaluation of fungicides for the management of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) of barley», *Wheat and Barley Research*, vol. 10, no. 8, pp. 224-227, 2018.
- [24] P. Sooväli and M. Koppel, «Efficacy of fungicide tebuconazole in barley varieties with different resistance level», *Agricultural and Food Science*, vol. 19, no. 1, pp. 34-42, 2009.
- [25] I. J. Bingham, S. P. Hoad, W. T. B. Thomas and A. C. Newton, «Yield response to fungicide of spring barley genotypes differing in disease susceptibility and canopy structure», *Field Crops Research*, vol. 139, no. 12, pp. 9-19, 2012.
- [26] L. N. Jørgensen, E. Noe, G. C. Nielsen, J. E. Jensen, J. E. Orum and H. O. Pinnschmidt, «Problems with disseminating information on disease control in cereals to farmers», *European Journal of Plant Pathology*, vol. 121, no. 3, pp. 303-312, 2008.
- [27] J. P. Barro, C. T. Forte, D. Trentin, M. Scariot and P. M. Milanesi, «Effectiveness of different fungicide formulations and number of applications in controlling wheat leaf rust», *Summa Phytopathologica*, vol. 43, no. 4, pp. 276-280, 2017.