Revista Mexicana de Fitopatología
e-ISSN: 2007-8080

Crossref Open access

Nota Fitopatológica

Epidemiología de la roya del cafeto bajo el efecto de fungicidas en la Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla

Miguel José Luna-Alvarez[1], Martin Aguilar-Tlatelpa[1], Marja Liza Fajardo-Franco[1*]. [1]Maestría en Ciencias en Manejo Sustentable de Recursos Naturales, Universidad Intercultural del Estado de Puebla, Lipuntahuaca S/N, C. P. 73475, Huehuetla, Puebla, México.

Autor de correspondencia:
Marja Liza Fajardo-Franco
marjaliza.fajardo@uiep.edu.mx

Sección:
Edición periódica

***Recibido*:**
13 Marzo, 2026
***Aceptado*:**
13 Agosto, 2026
***Publicado*:**
21 Agosto, 2026

Cita:
Luna-Alvarez MJ, Aguilar-Tlatelpa M y Fajardo-Franco ML. 2026. Epidemiología de la roya del cafeto bajo el efecto de fungicidas en la Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla. Revista Mexicana de Fitopatología 44(3): 133. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2603-3

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. La roya del cafeto es la principal enfermedad en el cultivo. El objetivo fue evaluar el comportamiento de la incidencia y la severidad de la roya del cafeto bajo el efecto de un fungicida sistémico y dos biofungicidas, en variedades cultivadas en la Sierra Norte y Nororiental de Puebla.

Desarrollo experimental. Se evaluó el efecto de Azoxistrobin, *Melaleuca alternifolia y Bacillus subtilis* en seis parcelas cultivadas bajo sombra con las variedades Typica, Costa Rica 95, Garnica, Marsellesa y Oro Azteca, ubicadas en Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla. Se realizaron 16 muestreos, en cada uno se evaluó la incidencia y severidad de la roya, el porcentaje de sombra, el peso de 100 cerezas maduras y la altitud. Además, se registró la temperatura y humedad relativa en Huehuetla. La incidencia y severidad se comparó mediante la prueba de Kruskal-Wallis y el método de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF). Además, se analizó la correlación de estas variables con la altitud y el porcentaje de sombra. Los datos del peso de las cerezas se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias, mientras que con las variables climáticas se realizó un análisis de riesgo.

Resultados. La roya alcanzó la severidad e incidencia máxima (19.9 y 100 % respectivamente) en la variedad Typica (marzo de 2025). Azoxistrobin redujo significativamente la enfermedad seguido por *M. alternifolia* y *B. subtilis*. No se identificó influencia de la sombra sobre la incidencia ($r=0.33360$) y severidad ($r=0.30735$). En contraste, la altitud sobre la incidencia tuvo una correlación moderada negativa ($r=-0.4632$, $p<0.0001$) al igual que la altitud sobre la severidad ($r=-0.57433$, $p<0.0001$). Las variedades Typica y Garnica fueron las más susceptibles.

Conclusión. Los fungicidas mostraron control sobre la enfermedad en comparación con el testigo, por lo tanto, podrían considerarse para el manejo de *H. vastatrix.*

Palabras clave: *Hemileia vastatrix,* Epidemiología, Azoxistrobin, Biofungicidas, Variedades

Copyright: © 2026 por los autores. Licencia RMF / SMF, México. Esta Nota es de *acceso abierto* distribuida bajo los términos y condiciones de la Sociedad Mexicana Fitopatología. www.rmf.smf.org.mx.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) se produce en más de 80 países de América Latina, África y Asia, principalmente en regiones tropicales húmedas (WFO Plant List, 2024; Rubio-Sosa *et al.*, 2025). En el mundo, su producción tiene importancia económica, social y ambiental (Flores-Vichi, 2015). Sin embargo, la cafeticultura presenta problemáticas como la inestabilidad de los precios, alto costo de insumos agrícolas y problemas fitosanitarios, en este último caso, la enfermedad más importante y dañina es la roya anaranjada o roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) que se encuentra presente en las regiones cafetaleras del mundo (Díaz-Vicente *et al*., 2014). En diversos países se ha recurrido al desarrollo de variedades con alta resistencia a la roya, entre ellas se encuentran, Catigua MG2, Centroamericano, Esperanza, IPR 103, IPR 107, Kartika 1, Milenio, Mundo Maya, Parainema, Ruiru 11, S4808, Starmaya, entre otras y con resistencia intermedia como Marsellesa y Oro Azteca (WCR, 2025). También se ha recomendado la aplicación de oxicloruro de cobre (acción preventiva) y de ciproconazole, azoxistrobin y triadimefon (acción curativa) (SENASICA, 2019). Otros estudios han indicado la disminución de la enfermedad con la aplicación de microorganismos antagonistas como *Bacillus* sp. o *Trichoderma* sp. (Ramírez-Rodríguez *et al*., 2020) y aceites vegetales como *M. alternifolia* (Fajardo-Franco *et al*., 2020). Sin embargo, la respuesta de cada variedad y de los microorganismos ante la ocurrencia de la enfermedad puede variar según las razas de roya y el microclima presente en cada región.

En México, el café es cultivado en zonas montañosas tropicales y templadas en altitudes de 300 a 2000 m s. n. m., en una amplia variedad de climas, suelo y vegetación desde el centro al sur del país (Anta-Fonseca, 2006). En este sentido, el café forma parte de los productos estratégicos del país, producido en 14 entidades con un aporte del 0.66 % del PIB nacional (SAGARPA, 2017; Ley de Desarrollo Rural Sustentable, 2024). Los principales estados productores son Chiapas, Veracruz y Puebla (SIAP, 2025), donde se cultiva principalmente por comunidades originarias, en sistemas rústicos tradicionales y bajo condiciones de sombra, propiciando un microclima benéfico para la flora y fauna, el almacenamiento de carbono y el balance nutrimental (Benítez-García *et al*., 2015; Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018).

En la Sierra Norte y Nororiental de Puebla existen plantaciones con variedades susceptibles a la roya donde las labores agrícolas y el uso de insumos para el manejo de la enfermedad son mínimos, predominando el uso de mano de obra, lo que favorece la ocurrencia de enfermedades (Fajardo-Franco *et al*., 2020). En condiciones favorables, la roya puede atacar en todo el ciclo de las plantas. En este sentido, destaca la importancia de conocer la epidemiología actual de la roya en esta región, para ello, se planteó el siguiente objetivo: evaluar el comportamiento de la incidencia y la severidad de la roya del cafeto bajo el efecto de un fungicida sistémico y dos biofungicidas, en variedades cultivadas bajo sombra en la Sierra Norte y Nororiental de Puebla.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Establecimiento de parcelas experimentales. En 2024, se seleccionaron seis parcelas con manejo tradicional pertenecientes a productores participantes de los municipios de Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla (Sierra Nororiental y Norte de Puebla), para lo cual, se consideró la variedad de café, plantas en edad productiva, sistema de producción de café bajo sombra en sitios colindantes con parcelas sin aplicación de fungicidas. Las parcelas fueron georreferenciadas con un GPS (Garmin, GPS MAP 64s) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de las parcelas experimentales para la evaluación de la incidencia, severidad y efecto de fungicidas sobre la roya del cafeto (*H. vastatrix*) en la Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla.

Región	Parcela	Paraje	Coordenadas geográficas	m s. n. m.	Variedad	Edad (años)
Huehuetla	Lipuntahuaca 1	El Panteón	20° 04’ 26.1’’ 097° 38’ 03.9’	508	Costa Rica 95	8
	Lipuntahuaca 2	El Manantial	20° 05’ 08.0’’ 097° 37’ 31.8’’	498	Typica	12
Ixtepec	Escatachuchut 1	El Pozo	20° 03’ 03.5’’ 097° 38’ 24.5’’	912	Costa Rica 95	7
	Escatachuchut 2	Las Piedras	20° 03’ 48.7’’ 097° 37’ 41.3’’	819	Garnica	6
Zongozotla	Zongozotla 1	Camino Real	20° 04’ 13.8’’ 097° 38’ 19.4’’	1116	Marsellesa	6
	Zongozotla 2	La Curva	19° 58’ 39.5’’ 097° 42’ 25.5’’	1064	Oro Azteca	6

Diseño de parcelas experimentales y tratamientos. Los experimentos se desarrollaron en condiciones de campo, en un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), considerando la pendiente como el gradiente de variación. Se evaluaron cuatro tratamientos con cinco repeticiones cada uno: Azoxistrobin (Maxtrobin®, 0.4 L ha^{-1}), *Melaleuca alternifolia* (Timorex Gold®, 1.5 L ha^{-1}), *Bacillus subtilis* (Baktillis®, 2 L ha^{-1}) y el testigo (sin aplicación). La unidad experimental consistió en cuatro plantas debidamente identificadas, en cada experimento se evaluaron 80 plantas establecidas en el centro de cada predio. La aplicación de los fungicidas se realizó con aspersores manuales de mochila (Antarix modelo AS-18) y boquilla de abanico, utilizando un equipo exclusivo por tratamiento para evitar contaminación cruzada.

En los tratamientos con Azoxistrobin (AZ) y *M. alternifolia* (MA) se realizaron dos aspersiones en total, con intervalo de 15 días, mientras que *B. subtilis* (BS) se aplicó en cuatro ocasiones cada 7 días. Para evitar la deriva del producto por la acción del viento, las aspersiones se realizaron de 6:00 a 10:00 am.

Evaluación de incidencia y severidad. Se realizaron 16 evaluaciones, en intervalos de 15 días, durante el periodo de agosto 2024 a marzo 2025. La severidad se determinó como el porcentaje de área foliar afectada por *H. vastatrix* utilizando como referencia una escala diagramática que incluye 7 clases: 0 %, puntos cloróticos, 2, 7, 20, 45, ≥70 %. Mientras que la incidencia en planta se estimó como la proporción de hojas enfermas respecto al total de hojas muestreadas; para ello, se seleccionaron tres ramas del tercio medio por planta, evaluando un total de 10 hojas por individuo, distribuidas en 3, 4 y 3 hojas por rama (SINAVEF, 2013).

Evaluación de sombra y peso de cerezas. En la parte central de cada parcela experimental se evaluó el porcentaje de sombra en cada estación del año. La medición se realizó mediante un densiómetro esférico cóncavo (Forestry Suppliers-Modelo C). El peso de las cerezas se obtuvo colectando 100 cerezas maduras por planta en cada tratamiento.

Variables climáticas. Se registró la temperatura y humedad relativa con una microestación climática (WatchDog serie 1650), ubicada en Huehuetla, Puebla. La información se sistematizó y se calcularon las medias diarias de temperatura y humedad relativa (abril 2024 a marzo 2025). Considerando el rango de la temperatura (17-26 ºC) y la humedad relativa óptima (>80 %) reportada para *H. vastatrix* se analizó el periodo con condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad (SENASICA, 2019; Parada-Molina *et al*., 2020).

Análisis de datos. Debido al incumplimiento de los supuestos de normalidad, los datos de incidencia y severidad se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, empleando el método de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF) para la comparación múltiple de rangos. Ademas, se hizo un análisis de correlación para determinar la relación entre la

altitud y el porcentaje de sombra con la incidencia y la severidad de la enfermedad. Por otro lado, los datos del peso de cerezas se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA) seguido de la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Por último, con la caracterización climática se generó un análisis mediante métodos gráficos y estadística descriptiva, utilizando exclusivamente los datos de la microestación climática (Lipuntahuaca 2). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistical Analysis System (SAS Studio, OnDemand para académicos).

Comportamiento temporal de la roya en plantas testigo. La variedad Marsellesa (Zongozotla 1) presentó los menores porcentajes tanto de incidencia como de severidad, mientras que Typica mostró los mayores. En cuanto a la severidad, el inóculo inicial (Yi) en Marsellesa fue de 0.1 % en octubre de 2024, y la intensidad máxima (Ymax) en Typica alcanzó el 19.9 % en marzo de 2025. Para la incidencia, el Yi también se registró en Marsellesa con un 1 % en la misma fecha, mientras que la Ymax se observó en Typica (Lipuntahuaca 2) en marzo de 2025, con un valor del 100 %, lo que indica que la totalidad de las plantas evaluadas presentaron síntomas.

La variedad Typica tiene baja resistencia a la roya, mientras que Costa Rica 95, Oro Azteca y Marsellesa son consideradas variedades con resistencia intermedia (Hernández-Martínez y Velázquez-Premio, 2016; WCR, 2025). Esta tolerancia está presente aún en la zona de estudio, ya que las parcelas establecidas con Costa Rica 95, Marsellesa y Oro Azteca presentaron niveles bajos de la enfermedad (0.01 % de severidad y 1 % de incidencia) (Figura 1). Sin embargo, pueden generar focos de infección para parcelas cercanas establecidas con variedades susceptibles como Typica y Garnica (Fajardo-Franco *et al.,* 2020). La fase exponencial en el desarrollo de la enfermedad coincidió con el periodo de humedad relativa superior al 80 %, el periodo de mayor crecimiento fue de diciembre 2024 a febrero 2025, posteriormente, se observó una fase estacionaria (Figura 1).

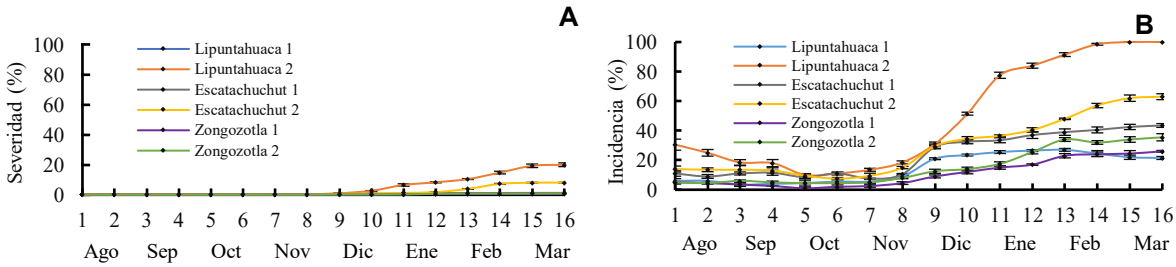


Figura 1. Dinámica temporal de la severidad de la roya (*H. vastatrix*) en cafeto cultivado en Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla, Puebla sin aplicación de fungicidas. **A**) Severidad, **B**) Incidencia. Las líneas representan el desarrollo de la enfermedad a través del tiempo, Costa Rica 95 (azul), Typica (naranja), Costa Rica 95 (gris), Garnica (amarillo), Marsellesa (morado) y Oro Azteca (verde).

Este comportamiento coincide con lo mencionado por la DGSV (2014) y Díaz-Vicente *et al*. (2014), donde la roya tuvo un crecimiento sigmoidal y el crecimiento máximo se presentó en los meses de enero y febrero, lo cual se atribuye a temperaturas cálidas y periodos prolongados de humedad (Santiago-Elena *et al*., 2020). Durante el período de estudio (abril 2024 - marzo 2025), la temperatura media fue de 24.9 °C, con una mínima absoluta de 9.4 °C registrada en enero de 2025 y una máxima absoluta de 34.6 °C alcanzada en mayo de 2024.

Por su parte, la humedad relativa (HR) osciló entre 28.2 y 100 %. Entre agosto 2024 y enero 2025 la temperatura se mantuvo en un rango de 15 °C a 28 °C, y la HR superó el 70 %, (alcanzando ocasionalmente el 100 %). Esto coincide con el rango de temperatura (17-26 ºC) y humedad relativa (>80 %) reportada como óptima para el desarrollo de *H. vastatrix* (SENASICA, 2019; Parada-Molina *et al*., 2020). El periodo con temperaturas óptimas para el desarrollo de *H. vastatrix* fue de agosto a enero (destacando a partir de octubre), sin embargo, de enero a marzo también se presentaron periodos favorables, aunque en ocasiones la temperatura descendió a 9.4 ºC (Figura 2).

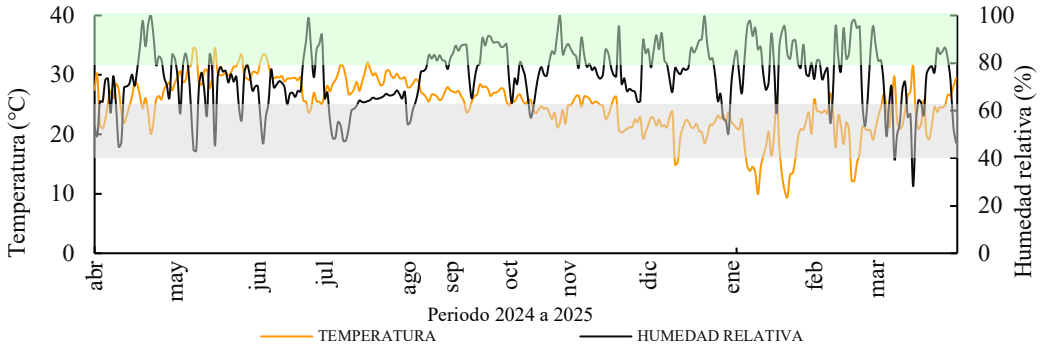


Figura 2. Temperatura y humedad relativa de Huehuetla, Puebla. Periodo: abril de 2024 a marzo de 2025. La franja gris indica el rango de temperatura óptima para la roya del cafeto (17 a 26 ºC) y la franja verde indica el rango de humedad relativa óptima (80-100 %) reportada por SENASICA (2019) y Parada-Molina *et al*. (2020).

A partir de noviembre los días con HR ≥ 80 % fueron más frecuente, lo que, asociado a temperaturas óptimas, pudo favorecer el desarrollo de la enfermedad, ya que precisamente en noviembre es donde se observaron los incrementos de incidencia y severidad. Por lo tanto, es importante identificar los periodos favorables para el desarrollo de la enfermedad con la finalidad de diseñar estrategias de manejo que permitan disminuir sus daños (Guerrero-Carrera *et al*., 2020).

El análisis de correlación indicó que la incidencia y la severidad presentaron una alta correlación positiva (r= 0.92928, p <0.0001), similar a lo reportado por Julca-Otiniano *et al*. (2019) en un estudio sobre la roya en cafetales de San Ramón, Chanchamayo, Perú. Sin embargo, la altitud y las variables de daño presentaron una correlación moderada negativa: incidencia con r= -0.4632, p<0.0001 y severidad con r= -0.57433, p<0.0001). Estos resultados indican que los mayores niveles de incidencia y severidad se presentaron en las parcelas ubicadas a menor altitud, lo que puede deberse a condiciones climáticas favorables con temperaturas cálidas y periodos prolongados de humedad (Santiago-Elena *et al*., 2020).

El porcentaje de sombra varió entre 10 y 65 %, con valores máximos en verano y primavera del 2024 y 2025, respectivamente. Además, se observó una baja correlación entre la sombra tanto con la incidencia (r=0.33360) como con la severidad (r=0.30735), por lo tanto, la expresión de la enfermedad no fue influenciada significativamente por la sombra.

Efecto de los fungicidas sobre la severidad e incidencia. Los tres fungicidas evaluados redujeron significativamente la severidad e incidencia de *H. vastatrix* en todas las parcelas, con diferencias significativas entre tratamientos a partir del noveno muestreo y hasta el final de la evaluación. En todos los sitios, Azoxistrobin (AZ) fue el tratamiento más eficaz, seguido por *M. alternifolia* (MA) y *B. subtilis* (BS), mientras que las plantas testigo (TE)

registraron los valores más altos (Figura 3 y 4). La disminución gradual de la enfermedad ocurrió entre los 15 a 30 días después de la segunda aplicación.

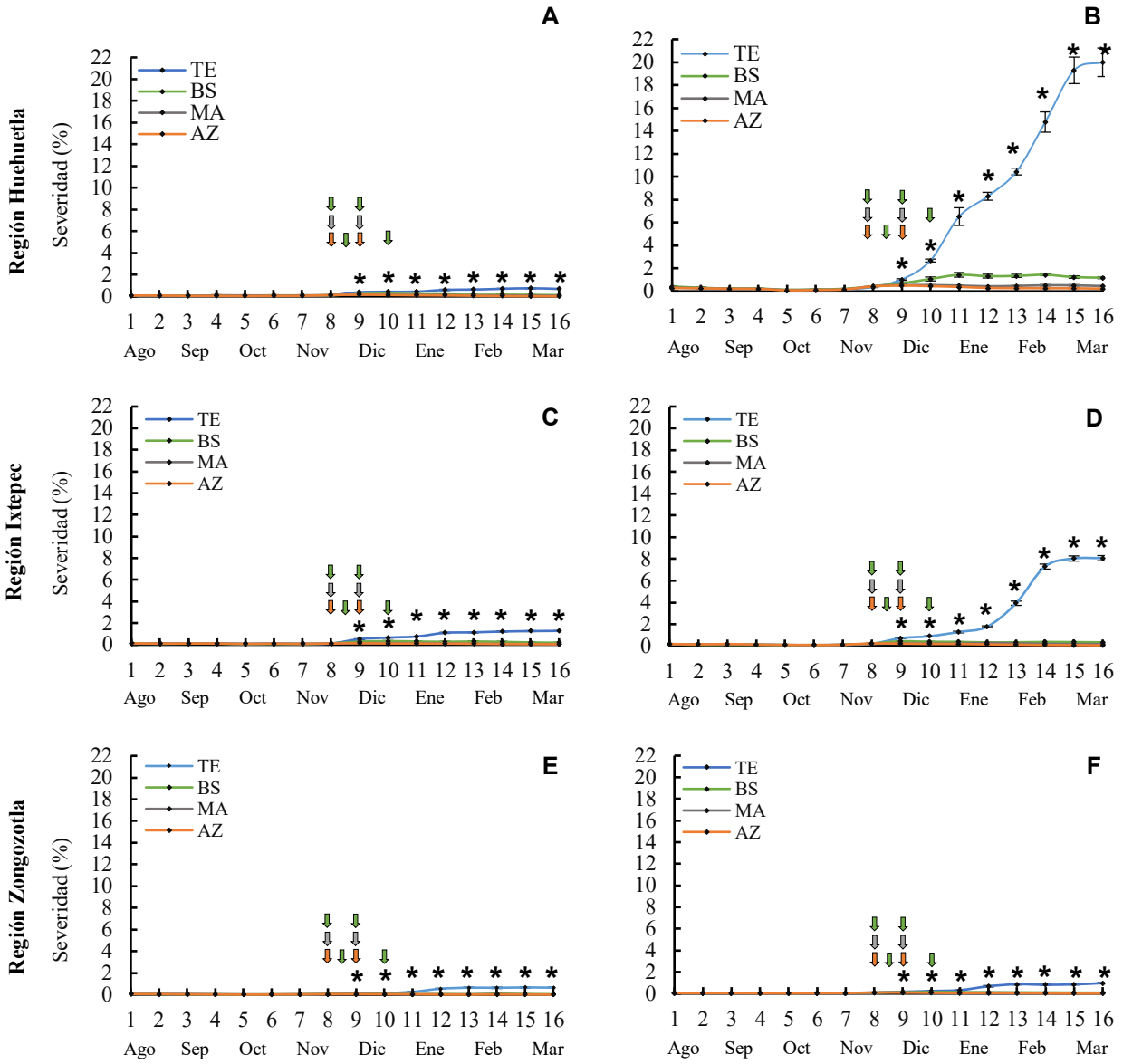


Figura 3. Efecto de fungicidas sobre la dinámica de la severidad de la roya (*H. vastatrix*) en cafeto cultivado en Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla, Puebla. **A**) Lipuntahuaca 1 (Costa Rica 95), **B**) Lipuntahuaca 2 (Typica), **C**) Escatachuchut 1 (Costa Rica 95), **D**) Escatachuchut 2 (Garnica), **E**) Zongozotla 1 (Marsellesa) y **F**) Zongozotla 2 (Oro Azteca). Las flechas indican el momento de aplicación de los fungicidas: naranja: Azoxistrobin, gris: *M. alternifolia* y verde: *B. subtilis*. El asterisco (*) indica diferencias significativas entre los tratamientos de cada muestreo de acuerdo con la prueba de comparación de medias Tukey.

Región Huehuetla (Lipuntahuaca 1 y 2). En esta región confluyeron los extremos epidemiológicos del estudio. Lipuntahuaca 2 (Typica, 498 m s. n. m.) presentó los niveles más altos de enfermedad en las plantas testigo, alcanzando una severidad de 19.9 % e incidencia del 100 %. En contraste, Lipuntahuaca 1 (Costa Rica 95, 508 m s. n. m.) mostró valores sustancialmente más bajos con apenas 0.69 % de severidad y 21.5 % de incidencia. Azoxistrobin redujo drásticamente la enfermedad en ambos sitios, con valores finales de severidad de 0.01 y 0.23 % e incidencia de 1 y 10.5 %, respectivamente. Los tratamientos

MA y BS también mostraron reducciones significativas, especialmente en Lipuntahuaca 2, donde *B. subtilis* solo redujo la incidencia a 34.5 %.

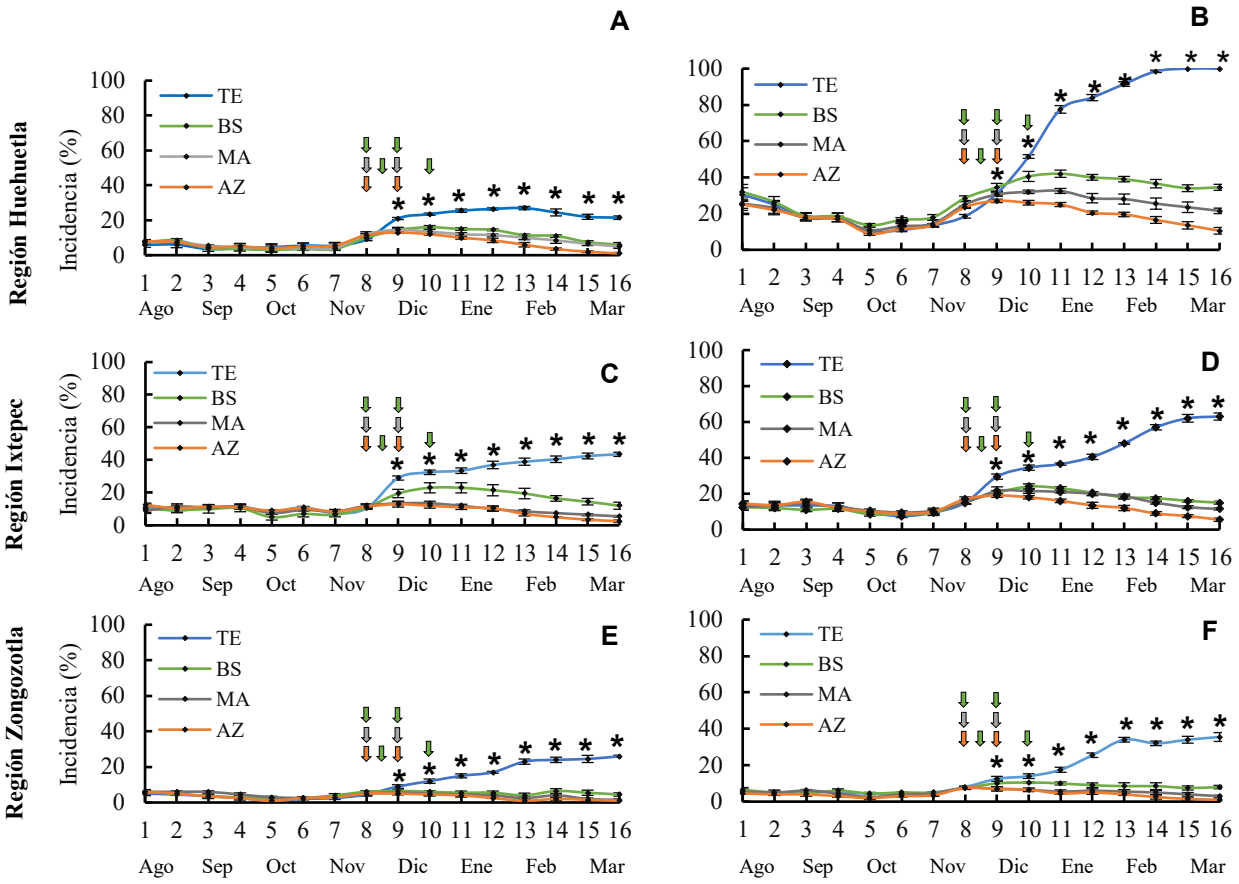


Figura 4. Efecto de fungicidas sobre la dinámica de la incidencia de la roya (*H. vastatrix*) en cafeto cultivado en Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla, Puebla. **A**) Lipuntahuaca 1 (Costa Rica 95), **B**) Lipuntahuaca 2 (Typica), **C**) Escatachuchut 1 (Costa Rica 95), **D**) Escatachuchut 2 (Garnica), **E**) Zongozotla 1 (Marsellesa) y **F**) Zongozotla 2 (Oro Azteca). Las flechas indican el momento de aplicación de los fungicidas: naranja: Azoxistrobin, gris: *M. alternifolia* y verde: *B. subtilis*. El asterisco (*) indica diferencias significativas entre los tratamientos de cada muestreo de acuerdo con la prueba de comparación de medias Tukey.

Región Ixtepec (Escatachuchut 1 y 2). En esta región la enfermedad tuvo niveles moderados a bajos. El testigo en Escatachuchut 2 (Garnica, 819 m s. n. m.) mostró los niveles más altos de daño en la región (severidad: 8.07 %; incidencia: 63 %), mientras que Escatachuchut 1 (Costa Rica 95, 912 m s. n. m.) presentó un desarrollo natural de la roya bastante bajo (severidad 1.28 %; incidencia: 43.5 %) sin la acción de fungicidas. Azoxistrobin controló eficazmente la roya en ambos sitios, con valores finales de severidad de 0.045 y 0.065 % e incidencia de 2.5 y 5.5 %, respectivamente. *M. alternifolia* y *B. subtilis* también mostraron reducciones significativas, aunque menos pronunciadas, especialmente en Escatachuchut 1, donde *B. subtilis* solo redujo la incidencia a 12 %.

Región Zongozotla (Zongozotla 1 y 2). En Zongozotla 1 (Marsellesa, 1116 m s. n. m.), el testigo presentó una severidad final de apenas 0.65 % y una incidencia: 26 %, mientras que Zongozotla 2 (Oro Azteca, 1064 m s. n. m.), los valores del testigo fueron ligeramente superiores (severidad: 0.97 %; incidencia: 35.5 %). El Azoxistrobin redujo

significativamente la enfermedad en ambos sitios con valores finales de severidad de 0.01 % e incidencia de 1 %. *M. alternifolia y B. subtilis* también mostraron reducciones significativas, especialmente en Zongozotla 1, donde *M. alternifolia* redujo la incidencia a 1.5 %.

A nivel global, Azoxistrobin demostró una alta consistencia al reducir entre el 96.48 y 99.19 % de la severidad final, y entre 91.26 y 97.18 % de la incidencia. Esta alta eficacia en el control coincide con lo reportado previamente para otras royas, como la roya amarilla de la cebada (*Puccinia striiformis* f sp. *hordei*) (Rodríguez-García *et al*., 2021). No obstante, debido al impacto negativo de los agroquímicos en el ambiente se ha identificado la necesidad de generar alternativas sostenibles para el manejo de fitopatógenos (Villarreal-Delgado *et al*., 2017). Bajo este enfoque, el extracto de *M. alternifolia* demostró ser una herramienta competitiva y viable, al lograr reducciones de severidad entre el 92.75 y 97.77 % e incidencias entre el 76.74 y 94.23 %. Asimismo, el agente de control biológico *B. subtilis* mitigó entre el 83.3 y 95.78 % de la severidad final y de 65.5 a 82.69 % de la incidencia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Reducción de la roya del cafeto (*H. vastatrix*) con el uso de fungicidas en la Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla.

Parcela	Ingrediente activo/Microorganismo	Severidad final (%)	Reducción severidad (%)	Incidencia final (%)	Reducción incidencia (%)
Lipuntahuaca 1	*Bacillus subtilis*	0.115	83.3	6	72.09
	Melaleuca alternifolia	0.05	92.75	5	76.74
	Azoxistrobin	0.01	98.55	1	95.34
	Testigo	0.69	----------	21.5	----------
Lipuntahuaca 2	*Bacillus subtilis*	1.19	94.04	34.5	65.5
	Melaleuca alternifolia	0.46	97.69	21.5	78.5
	Azoxistrobin	0.23	98.84	10.5	89.5
	Testigo	19.995	----------	100	----------
Escatachuchut 1	*Bacillus subtilis*	0.19	85.15	12	72.41
	Melaleuca alternifolia	0.055	95.70	5.5	87.35
	Azoxistrobin	0.045	96.48	2.5	94.25
	Testigo	1.28	----------	43.5	----------
Escatachuchut 2	*Bacillus subtilis*	0.34	95.78	15	76.19
	Melaleuca alternifolia	0.18	97.77	11.5	81.74
	Azoxistrobin	0.065	99.19	5.5	91.26
	Testigo	8.075	----------	63	----------
Zongozotla 1	*Bacillus subtilis*	0.045	93.07	4.5	82.69
	Melaleuca alternifolia	0.015	97.69	1.5	94.23
	Azoxistrobin	0.01	98.46	1	96.15
	Testigo	0.65	----------	26	----------
Zongozotla 2	*Bacillus subtilis*	0.085	91.23	8	77.46
	Melaleuca alternifolia	0.03	96.90	3	91.54
	Azoxistrobin	0.01	98.96	1	97.18
	Testigo	0.97	----------	35.5	----------

Impacto en el rendimiento (peso de cerezas). En las regiones de Huehuetla e Ixtepec, la aplicación de Azoxistrobin*, B. subtilis* y *M. alternifolia* incrementó de manera significativa el peso de 100 cerezas maduras en comparación con sus respectivos testigos, aunque no se registraron diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Este efecto positivo sobre el

rendimiento se observó de manera consistente en las parcelas de ambas localidades, abarcando las variedades Costa Rica 95, Typica y Garnica.

El peso más bajo de 100 cerezas maduras se obtuvo en las plantas testigo ($\bar{x}$=165.45 g) de la variedad Typica en la parcela Lipuntahuaca 2 (Figura 5B), mientras que, el peso más alto se obtuvo en las plantas asperjadas con Azoxistrobin ($\bar{x}$=173.6 g) en la variedad Marsellesa en la parcela Zongozotla 1 (Figura 5F). Sin embargo, las plantas tratadas con *M. alternifolia* y *B. subtilis* también presentaron aumento en el peso de las cerezas. En este sentido, Rodríguez-García *et al*. (2021) reportaron un comportamiento similar al aumentar el rendimiento de grano en cebada tratada con Azoxistrobin y Tebuconazole.

Por el contrario, en la región Zongozotla no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo (Figura 5), lo que pudo deberse a que los niveles de severidad fueron tan bajos (<1 %), por lo que el patógeno no llego a mermar el peso de las cerezas. Esta baja presión de la enfermedad en Zongozotla se explica por la sinergia entre las condiciones agroecológicas de altitud (por encima de los 1000 m s. n. m.) y el empleo de variedades genéticamente tolerantes como Marsellesa y Oro Azteca, así como la baja carga de inóculo inicial en toda la región.

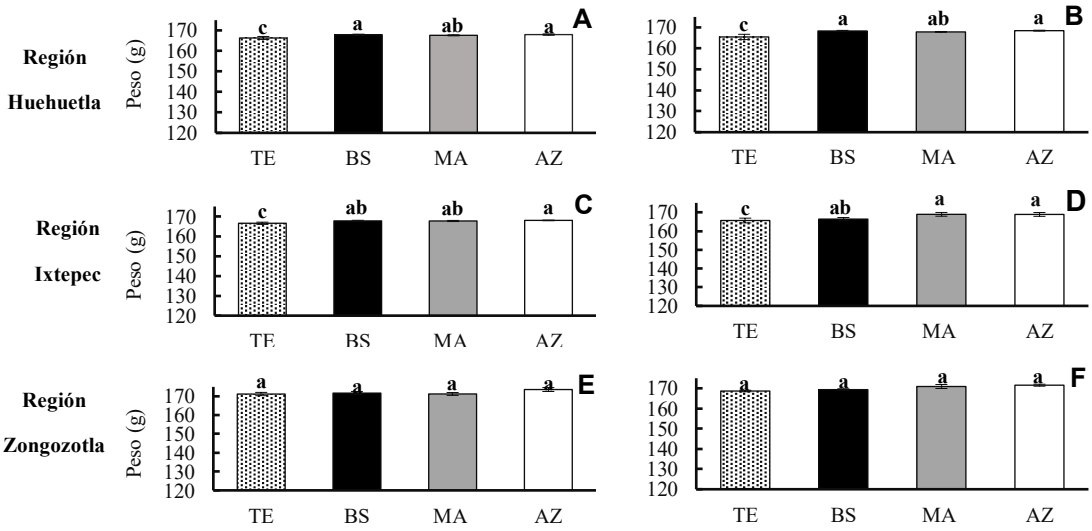


Figura 5. Efecto de los fungicidas en el rendimiento de café cultivado en Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla, Puebla. **A**) Lipuntahuaca 1: Costa Rica 95, **B**) Lipuntahuaca 2: Typica, **C**) Escatachuchut 1: Costa Rica 95, **D**) Escatachuchut 2: Garnica, **E**) Zongozotla 1: Marsellesa y **F**) Zongozotla 2: Oro Azteca. Las barras indican los tratamientos: TE=Testigo, BS=*Bacillus subtilis*, MA=*Melaleuca alternifolia* y AZ=Azoxistrobin. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p≤0.05).

CONCLUSIONES

La epidemia se manifestó de noviembre de 2024 a marzo de 2025, alcanzando la máxima incidencia y severidad en los meses de febrero a marzo de 2025. Los fungicidas disminuyeron la incidencia y la severidad de la roya del cafeto en comparación con el testigo, además, influyeron en el incremento del peso del café cereza, principalmente con el uso de Azoxistrobin, seguido por los biofungicidas formulados con *M. alternifolia* y *B. subtilis,* por lo tanto, podrían ser considerados en el manejo integrado de *H. vastatrix.*

Limitaciones. El estudio se realizó en cafetales bajo sombra de la Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla, los resultados son aplicables a condiciones similares.

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés con respecto a la investigación, autoría y/o publicación de esta Nota.

Financiamiento. Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación la concesión de una beca a MJLA. Los autores también agradecen al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el tipo Superior (PRODEP) su apoyo.

Agradecimientos. Los autores agradecen a los productores de café de Huehuetla, Ixtepec y Zongozotla, así como a los H. Ayuntamientos, las facilidades que les han brindado.

Contribución de los autores. Conceptualización, metodología, análisis de datos, redacción y revisión: MJLA, MLFF y MAT. Experimentación: MJLA y MLFF.

REFERENCIAS

Anta-Fonseca S. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. Gaceta Ecológica (80): 19-31. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908002

Benítez-García E, Jaramillo-Villanueva JL, Escobedo-Garrido S, Mora-Flores S. 2015. Caracterización de la producción y del comercio del café en el municipio de Cuetzalan, Puebla. Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo 12(2):181-198. https://doi.org/10.22231/asyd.v12i2.147

Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV). 2014. Situación epidemiológica de la roya del cafeto y otras plagas de importancia económica asociadas al cultivo de café en Chiapas, Veracruz y Puebla. No. 11. Disponible en línea en: https://www.royacafe.lanref.org.mx/Documentos/InformeRoyaJulio2014.pdf. (Consulta: mayo 20, 2026).

Díaz-Vicente VM, Pinzón-Rincón EP, Pérez-Quintanilla JN, Cabrera-Alvarado ME, Magallanes-Cedeño R, *et al*. 2014. El hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet, alternativa para el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.). Revista Agro Productividad 7(3): 58-62. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/es/article/view/525/405

Fajardo-Franco ML, Aguilar-Tlatelpa M, Guzmán-Plazola RA. 2020. Evaluación de biofungicidas en dos variedades de café para el control de *Hemileia vastatrix*. Revista Mexicana de Fitopatología 38(2): 293-306. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2001-1

Flores-Vichi F. 2015. La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Espacio I+D, Innovación más Desarrollo 4(7): 174-194. http://dx.doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07

Guerrero-Carrera J, Jaramillo-Villanueva JL, Mora-Rivera J, Bustamante-González A, Vargas-López S, *et al*. 2020. Impacto del cambio climático sobre la producción de café. Tropical and Subtropical Agroecosystems 23(3): 1-18. https://doi.org/10.56369/tsaes.3288

Hernández-Martínez G, Velázquez-Premio T. 2016. Análisis integral sobre la roya del café y su control. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable 1(1): 92-99. http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/9/pdf

Julca-Otiniano A, Borjas-Ventura R, Alvarado-Huamán L, Julca-Vera N, Castro-Cepero V, *et al*. 2019. Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón Chanchamayo, Perú. Journal of Science and Research 4(4): 1-19. https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/706/555

Ley de Desarrollo Rural Sustentable. 2024. Gobierno de México; Diario Oficial de la Federación. Disponible en línea en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LDRS.pdf (Consulta: julio 27, 2026).

Libert-Amico A y Paz-Pellat F. 2018. Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. Madera y Bosques 24: 1-24. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914

Parada-Molina PC, Roberto-Cerdán C, Ortiz-Ceballos G, Barradas-Miranda VL y Cervantes-Pérez J. 2020. *Hemileia vastatrix*: una prospección ante el cambio climático. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 7(3): e2507. https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2507

Ramírez-Rodríguez RF, Castañeda-Hidalgo E, Robles C, Santiago-Martínez GM, Pérez-León MI, *et al*. 2020. Efectividad de biofungicidas para el control de la roya en plántulas de café. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(6): 1403-1412. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2614

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): 414-434. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-5

Rubio-Sosa A, Martínez-Bolaños M, Gómez-Leyva JF, Lozano-Trejo S, Castañeda-Hidalgo E, *et al*. 2025. Inhibición del crecimiento de *Colletotrichum* causante de antracnosis de café (*Coffea arabica*) por cepas nativas de *Trichoderma*. Revista Mexicana de Fitopatología 43(2): 58. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2307-1

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Disponible en línea en: https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813. (Consulta: julio 27, 2026).

Santiago-Elena E, Zamora-Macorra EJ, Zamora-Macorra M and Elizalde-Gaytan KG. 2020. Interaction between *Mycodiplosis* and *Hemileia vastatrix* in three scenarios of coffee crop management (*Coffea arabica*). Mexican Journal of Phytopathology 38(3): 320-336. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2005-2

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Ciudad de México. Última actualización: mayo de 2019. Ficha Técnica No. 40. 16 p. Disponible en línea en: http://www.cesavep.org/descargas/rdc/ficha_tecnica_roya_del_cafeto.pdf. (Consulta: mayo 15, 2026).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2025. Cierre de la Producción Agrícola Nacional del ciclo agrícola 2024. Disponible en línea en: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (Consulta: agosto 11, 2025).

Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF). 2013. Escalas de severidad de roya del café en hoja y planta. DGSV-SINAVEF-LANREF. Versión 7. Disponible en línea en: http://www.royacafe.lanref.org.mx/Documentos/EscalaSeveridadDefoliacionPlantayHoja.pdf. (Consulta: julio 23, 2024).

Villarreal-Delgado MF, Villa-Rodríguez ED, Cira Chávez LA, Estrada-Alvarado MI, Parra-Cota FI, *et al*. 2017. The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. Revista Mexicana de Fitopatología 36(1): 95-130. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5

World Coffee Research (WCR). 2025. Coffea Variedades Catálogo. Disponible en línea en: https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es (Consulta: mayo 22, 2026).

WFO Plant List. 2024. *Coffea arabica* L. Disponible en línea en: https://wfoplantlist.org/taxon/wfo-0000910097-2024-12?page=1 (Consulta: julio 27, 2026).