

## Efectividad de biofungicidas para el control de la roya en plántulas de café

Rolando Fabián Ramírez-Rodríguez<sup>1</sup>

Ernesto Castañeda-Hidalgo<sup>1§</sup>

Celerino Robles<sup>2</sup>

Gisela Margarita Santiago-Martínez<sup>1</sup>

María Isabel Pérez-León<sup>1</sup>

Salvador Lozano-Trejo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca-Tecnológico Nacional de México. Ex-Hacienda de Nazareno s/n. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230. Tel. 951 5170788. (roan.rmdz@outlook.com; gissant68@hotmail.com; maria.pl@voaxaca.tecnm.mx; lozanos2004.prodigy.net.mx). <sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Instituto Politécnico Nacional Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN). Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230. (crobles\_38@yahoo.it).

§Autor para correspondencia: ernesto.ch@voaxaca.tecnm.mx; casta\_h50@hotmail.com.

### Resumen

La roya (*Hemileia vastatrix*) es la enfermedad más destructiva y mayor importancia económica en el café a nivel mundial en *Coffea arabica* L. Se presenta en el ciclo de las plantas y para su control se utilizan métodos químicos, biológicos, culturales, manejo integrado y resistencia genética; aunque algunos son inefectivos, caros y contaminantes. El objetivo fue evaluar la incidencia y severidad de la roya en plántulas de café var. Geisha bajo el efecto de diferentes biofungicidas. La investigación se realizó en la finca El Nueve, Santa María Huatulco, Oaxaca; durante 2018 en vivero. Se evaluaron distintos tratamientos: testigo, productos a base de microorganismos: Bacit-Sur *subtilis*, Bacit-Sur, Michoderma, Blite Free F-07/Guanobras; los minerales: Oxidocloruro de cobre, Caldo Bordelés, Caldo mineral visosa, Sulfocal y un homeopático (Nat-Rx), más algunas combinaciones, para un total de 24 tratamientos. El diseño fue completamente al azar con 10 repeticiones. Las variables para evaluar incidencia fueron: total de hojas, hojas sanas y dañadas por roya. Se usaron fotografías de hojas dañadas para evaluar severidad visual mediante la escala logarítmica-diagramática. Para evaluar severidad digitalizada con Adobe Photoshop® CC 2017, se midió área foliar total, área dañada por roya y área sana. Se analizaron por la prueba de Kruskal-Wallis en SAS. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los biofungicidas a los 150 dda sobre la incidencia de roya (IR), sin diferencias significativas en severidad. Los tratamientos con menor IR fueron la combinación de microorganismos Bacit-Sur+Nat-Rx, Bacit-Sur *subtilis*+Blite FreeF-07/Guanobras y Michoderma+Blite Free F-07/Guanobras.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, Biofungicidas, incidencia, plántulas, severidad.

Recibido: julio de 2020

Aceptado: agosto de 2020

## Introducción

La producción de café (*Coffea arabica* L.) tiene un alto valor económico, social y ambiental en los países donde se cultiva (Flores, 2015). Sin embargo, el cultivo es afectado por el ataque de plagas y enfermedades, agravándose debido a las condiciones climáticas (Waller, 1982; SARH, 1993). La afectación va desde la germinación de la planta hasta la etapa productiva, lo que genera grandes pérdidas en la producción y disminución de la calidad del grano (CEPAL y CAC/SICA, 2014; Chemura *et al.*, 2017).

La roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) es la enfermedad más importante del café (Haddad *et al.*, 2014; Oliveira, *et al.*, 2014; Barka *et al.*, 2017), al utilizar a este cultivo como su principal huésped (Brown y Hovmøller 2002). Generalmente ocasiona la pérdida de hojas hasta de 50% (Avelino *et al.*, 2004; Bonilla, 2018) y 30% del rendimiento en algunas variedades de *C. arabica* L., lo que significa un gran impacto económico a nivel mundial (Oliveira, *et al.*, 2014; Barka *et al.*, 2017). En el ciclo 2013-2014 la producción en Centroamérica y México fue afectada en 3.3 millones de sacos (Flores, 2015) por lo que en 2016 México implementó el Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en los estados de Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Nayarit, Querétaro, Chiapas, Veracruz, Puebla, Guerrero, San Luis Potosí y Oaxaca para determinar la incidencia, severidad e implementar acciones preventivas de manejo contra la roya (SENASICA, 2016).

El control de *H. vastatrix* se da mediante el uso de agroquímicos, fungicidas, biofungicidas, variedades resistentes, control biológico, control cultural y manejo integrado (Obando *et al.*, 2013; Hernández-Martínez y Velázquez-Premio, 2016). Los agroquímicos generan contaminación al ambiente e incrementan los costos de producción (Romero, 2010; Gonza *et al.*, 2013) por ello, se han buscado alternativas viables que garanticen la sostenibilidad en la producción agrícola (Gonza *et al.*, 2013).

Un ejemplo de ello es el uso de los fungicidas cúpricos (oxicloruro de cobre y los caldos minerales) considerados los más eficientes para el control de la roya, puesto que no alteran la biota del agroecosistema (Capucho *et al.*, 2013; Melchor *et al.*, 2018), estos penetran en el tejido de las hojas y tienen efectos curativos (McCook, 2009) atacan al hongo durante el crecimiento miceliar y la formación de pústulas (Duicela y Ponce, 2015) así como el uso de microorganismos como hongos y bacterias (Gómez-De La Cruz *et al.*, 2017), con capacidad de sobrevivir a expensas del hongo (Boosalis, 1964) afectando las estructuras reproductivas del patógeno (Barros *et al.*, 1999).

La incidencia y severidad de la roya se obtiene mediante evaluaciones visuales por personal capacitado (Zambolim, 2016). Sin embargo, es común el uso de escalas logarítmicas con ilustraciones de hojas en diferentes grados de daño, siendo un método para cuantificar la severidad visual (Nascimento *et al.*, 2005; Hernández y Sandoval, 2015). La severidad digitalizada se obtiene con un integrador de área foliar (Chavarria *et al.*, 2015) y uso de software como ImageJ, Image Tool y Adobe Photoshop, permitiendo determinar áreas de imágenes con mayor exactitud y precisión (Sussel *et al.*, 2009; Rincón *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) var. Geisha bajo el efecto de diferentes biofungicidas.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó de febrero a agosto de 2018 en la finca El Nueve, Santa María Huatulco, Oaxaca, localizada en las coordenadas 15° 55' 56'' latitud norte y 96° 17' 08'' longitud oeste, con rango altitudinal de 1 200 a 1 300 m. El tipo de vegetación es selva mediana subperennifolia (INEGI, 2019). Para conocer el nivel de fertilidad del sustrato en vivero (mezcla de residuos de cosecha y tierra de monte relación 1:1) se realizó un análisis físico-químico acorde a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Se utilizaron plántulas de café var. Geisha con tres meses de edad, trasplantadas en bolsas de polietileno de 13 x 20 cm, estandarizadas en cuanto a altura (10 cm) y porte. Se establecieron 24 tratamientos con 10 repeticiones, cada repetición se consideró una plántula. Los productos evaluados fueron: un testigo, con efecto simple, cuatro a base de microorganismos, cuatro a base de minerales, un homeopático y las combinaciones con la misma dosis (Bss+Nr, Bs+Nr, M+Nr, Bfg+Nr, Oc+Nr, Cb+Nr, Cmv+Nr, S+Nr, Bss+Bfg, Bs+Bsg, M+Bfg, Bss+Nr+Bfg, Bs+Nr+Bfg y M+Nr+Bfg) (Cuadro 1).

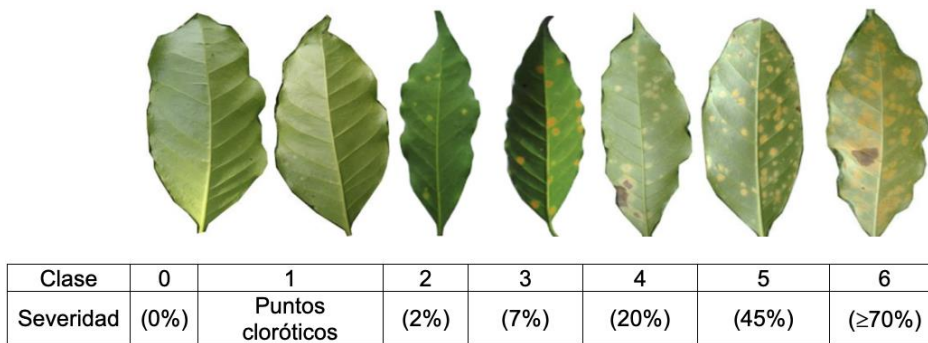
**Cuadro 1. Productos evaluados para su efecto simple y combinado en la incidencia y severidad de *H. vastatrix* Berk. & Br. en plántulas de *C. arabica* L. var. Geisha.**

Tratamiento	Composición	*Dosis
T Testigo	-	Sin aplicación
Bss Baci-Sur <i>subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> 5x10 <sup>20</sup> colonias ml	0.15 ml + 15 ml agua
Bs Bacit-Sur	<i>Bacillus subtilis</i> 5x10 <sup>20</sup> colonias ml, <i>Trichoderma</i> spp. 1.3x10 <sup>12</sup> esporas ha <sup>-1</sup>	0.15 ml + 15 ml agua
M Michoderma	<i>Trichoderma harzianum</i> 1.2x <sup>8</sup> g/l/dosis esporas	0.01 g + 15 ml agua
Bfg Blite Free F-07/Guanobras	<i>Streptomyces</i> spp. 1x10 UFC/ml 60%, glucosamina 1%, MO 3%, ác. húmicos 0.65%, ác fúlvicos 0.15%	0.2 ml + 0.15 ml + 15 ml agua
Oc Oxicloruro de cobre	Cobre metálico 59%	0.01 g + 4 ml agua
Cb Caldo Bordelés	Sulfato de cobre, hidróxido de calcio,	0.04 g CuSO <sub>4</sub> + 0.04 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 4 ml agua
Cmv Caldo mineral visosa	Sulfato de cobre, hidróxido de calcio, sulfato de zinc, sulfato de magnesio, ác. bórico	0.02 g CuSO <sub>4</sub> + 0.02 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0.02 g ZnSO <sub>4</sub> + 0.02 g MgSO <sub>4</sub> + 0.02 g H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + 4 ml agua
S Sulfocal	Azufre y cal viva	0.1 ml + 7.5 ml agua
Nr Nat-Rx	Hepar sulphur 15%, <i>Bovista plumbea</i> 5%, extracto vegetal homeopático 10%, agua	0.7 ml + 30 ml agua

\*= dosis por plántula por aplicación.

Los tratamientos se aplicaron en dos momentos con un mes de separación (15 de febrero y 15 de marzo). Las aplicaciones se realizaron por la mañana y las dosificaciones se ajustaron al 10% de lo que se aplica en campo teniendo como base las recomendaciones emitidas por los fabricantes y que se especificaban en la etiqueta de los productos.

Se evaluó la incidencia de la roya (INR) utilizando la metodología de Samayoa-Juárez y Sánchez-Garita (2000), adaptada al trabajo de investigación que consistió por cada repetición contar el total de hojas enfermas y dividir entre el número total de hojas, multiplicando el resultado por 100. De cada repetición se consideraron las variables: hojas totales (HT), hojas sanas (HS) y hojas dañadas por roya (HDR). Se realizaron cinco evaluaciones cada 30 días después de aplicar los biofungicidas (dda). A 150 dda se determinó la severidad visual (SVR) de las HDR, mediante el uso de la escala logarítmica-diagramática propuesta por el SENASICA (2016) (Figura 1).



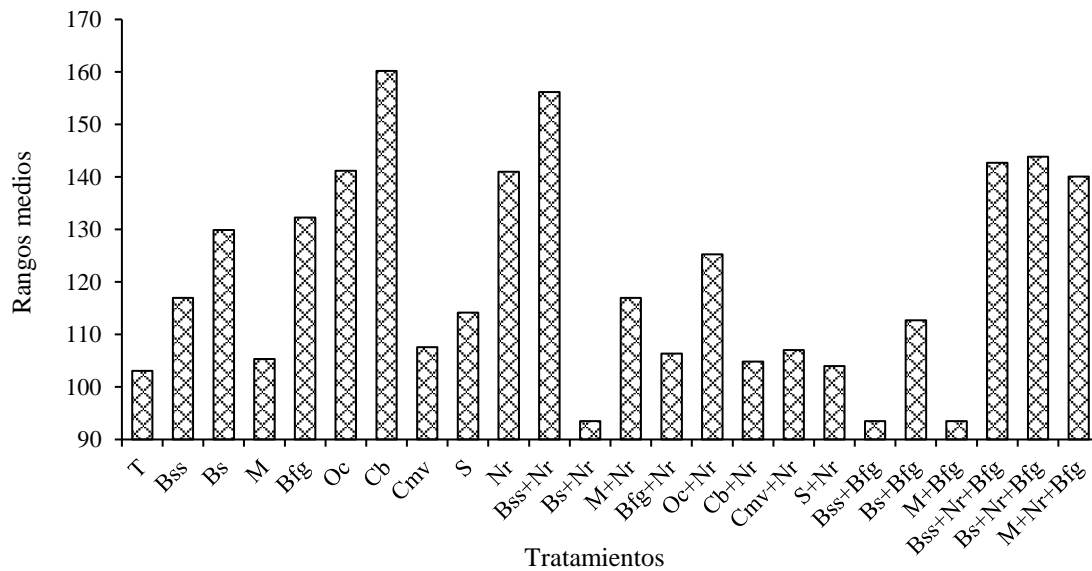
**Figura 1.** Escala logarítmica-diagramática para evaluar la severidad de roya en hoja.

Al mismo tiempo se tomaron fotografías a las HDR para determinar la severidad digitalizada (SDR), considerando el área foliar total (AFT), área dañada por roya (ADR) y el área sana (AS), analizando las fotografías con el software Adobe Photoshop® CC 2017. Para ello se midió 1 cm de la imagen estandarizando la escala de medición (370 píxeles= 1 cm), para todas las imágenes. Se utilizó un diseño completamente al azar. A los datos se les aplicaron los supuestos de normalidad y homogeneidad, al no cumplir la prueba aún transformados los datos, se analizaron mediante estadística no paramétrica por la prueba de Kruskal-Wallis mediante el software estadístico SAS/STAT 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

## Resultados y discusión

Los resultados del análisis indican que la textura del sustrato es areno francosa (Ac), pH de 6.9, conductividad eléctrica de 0.23 dS m<sup>-1</sup> (efectos despreciables de salinidad) materia orgánica de 5.82% (niveles altos), fósforo de 20.86 mg kg<sup>-1</sup> (niveles medios), calcio de 0.0011 cmol kg suelo (bajo), magnesio de 0.0016 cmol kg suelo y nitrógeno de 0.38%.

El porcentaje de hojas con roya (PHR) mostró diferencias significativas (0.041) entre biofungicidas hasta los 150 dda, con un valor de  $p \leq 0.05$ . Sin embargo, de 30 a 120 dda no hubo respuesta de los biofungicidas sobre la incidencia de *H. vastatrix* Berk. & Br. En la INR los biofungicidas a base de microorganismos fueron más efectivos. Sobresalen las combinaciones Bacit-Sur + Nat-Rx; Baci-Sur *subtilis* + Blite Free F-07/Guanobras y Michoderma + Blite Free F-07/Guanobras, los cuales generaron mayor control sobre la INR de *H. vastatrix* con rangos medios de 93.5 (Figura 2).

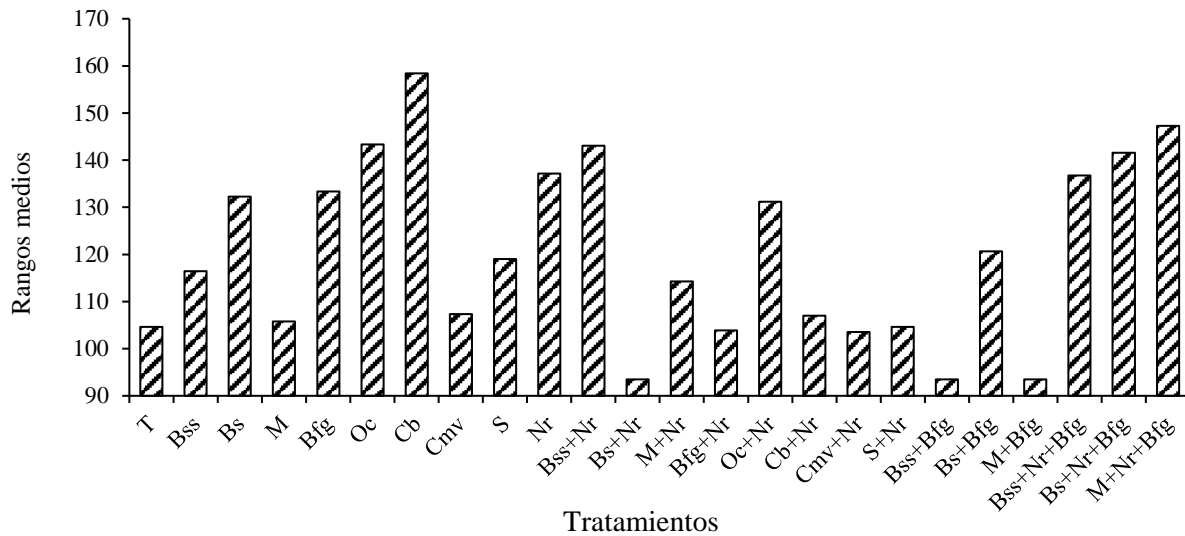


**Figura 2. Respuesta de los biofungicidas a la incidencia de *H. vastatrix* Berk. & Br. en plántulas de *C. arabica* L. var. Geisha a los 150 dda.** Valores bajos de rangos medios equiva a menor incidencia.

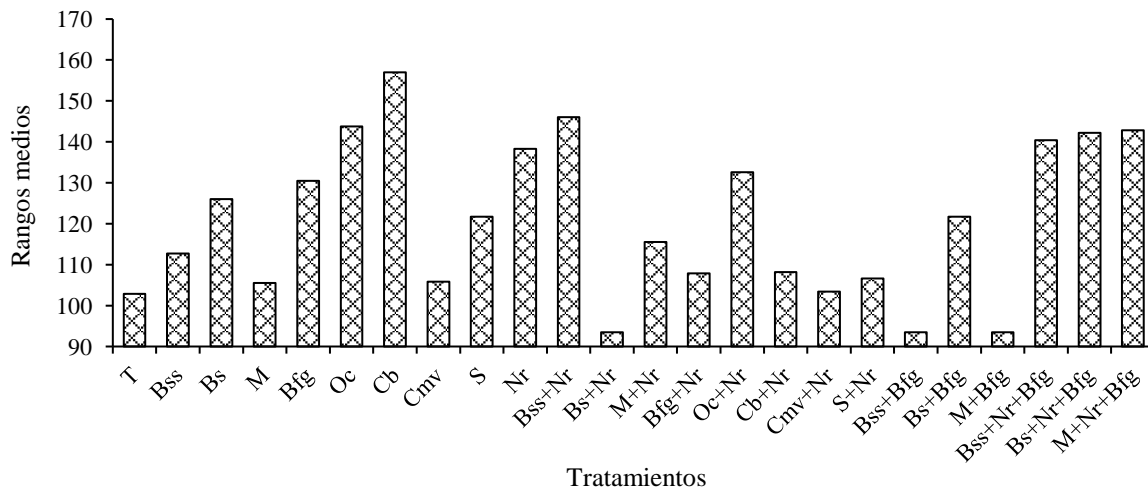
De acuerdo con Cacefo *et al.* (2016) al aplicar *B. subtilis* en las var. Icatú y Mundo Novo obtuvieron un control de 24 y 17%, respectivamente. Así mismo Dorighello (2013) al usar aislados de *B. subtilis* QST 713 y AP-3 en el control de la roya de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*), observó una reducción en la germinación de las uredosporas. Li *et al.* (2013) obtuvieron una reducción significativa de la incidencia de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (Pst) (roya de la soya) con la aplicación de *B. subtilis* E1R-j bajo condiciones de invernadero con dos formulaciones diferentes a las 24 y 0 h antes de la inoculación de Pst.

Leonel y Barros (2013) obtuvieron menor incidencia de *H. vastatrix* usando complejo homeopático, observando mayor vigor vegetativo. Asimismo, Rissato *et al.* (2016) obtuvieron la menor incidencia del moho blanco del frijol (*Sclerotinia sclerotiorum*) con aplicaciones de medicamentos homeopáticos. Por su parte, El-Sharkawy *et al.* (2015) utilizaron *Streptomyces viridosporus* en combinación con *Trichoderma harzianum* para el control de la roya del trigo en invernadero (*Puccinia triticina*), con la que obtuvieron una disminución en el número de pústulas por unidad de superficie (cm<sup>2</sup>).

Para la SVR y SDR no se presentaron diferencias significativas; sin embargo, numéricamente se observó que las combinaciones de Bs + Nr; Bss + Bfg y M + Bfg generaron mayor control sobre la severidad en ambas variables (Figuras 3a y 3b). Cisneros-Rojas *et al.* (2017) reportaron mayor crecimiento y desarrollo de plántulas de café aplicando *B. subtilis* con efecto individual y en combinación con la bacteria *Kocuria* sp. Cacefo *et al.* (2016) señalan que *B. subtilis* estimula a la planta para activar sus mecanismos de defensa para mayor resistencia, mitigando los efectos dañinos de patógenos. De acuerdo con Pérez *et al.* (2015) el efecto biocontrolador de *Trichoderma* spp. tiene un modo de acción que regula el desarrollo de los hongos fitopatógenos.



**Figura 3a. Respuesta de los biofungicidas sobre la severidad visual de *H. vastatrix* en plántulas de *C. arabica* L. var. Geisha, a los 150 dda.** Valores bajos de rangos medios equivale a menor severidad.



**Figura 3b. Respuesta de los biofungicidas sobre la severidad digitalizada de *H. vastatrix* en plántulas de *C. arabica* L. var. Geisha, a los 150 dda.** Valores bajos de rangos medios equivale a menor severidad.

Infante *et al.* (2009) indican que, durante el proceso de infección, *Trichoderma* spp., desactiva las enzimas de los hongos fitopatógenos. El-Sharkawy *et al.* (2015) obtuvieron que *Trichoderma harzianum* y *Streptomyces viridosporus* tuvieron los mejores efectos para el control de la severidad de la roya de la hoja del trigo, en comparación con fungicidas químicos. Evangelista-Martínez *et al.* (2015) mencionan que las bacterias del género *Streptomyces* son productores de metabolitos secundarios y enzimas que actúan en el control de enfermedades provocadas por hongos en las plantas.

## Conclusiones

La escala logarítmica-diagramática facilitó en campo la medición de la severidad en hojas; sin embargo, aunque esta actividad requiera tiempo para evaluar cada una de las hojas con roya, ya que se requiere de una revisión minuciosa de las hojas cuando se presentan lesiones muy pequeñas y asemejar a las imágenes propuestas en la escala. La bacteria *B. subtilis* es utilizada para el control biológico de la roya el café, pero sus efectos también influyen en el crecimiento y desarrollo de las plántulas. *B. subtilis* en combinación con *Streptomyces* sp. y guano de murciélago, este último rico en nutrientes que ayudan a fortalecer las plántulas.

Lo cual, también se ve reflejado al aplicar el hongo *Trichoderma harzianum* que ayuda a la plántula a inhibir la roya y a capturar nutrientes que se encuentran en el suelo. *B. subtilis* ha demostrado ser una importante opción en el control biológico, especialmente de enfermedades foliares. Las bacterias que pertenecen al género *Bacillus* se han usado en el control biológico de hongos fitopatógenos. El uso de la bacteria *B. subtilis* es una alternativa para el control biológico de la roya del café, además se ha utilizado para el desarrollo de plántulas de café con éxito.

## Literatura citada

- Avelino, J.; Willocquet, L. and Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathol.* 53(5):541–547. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2004.01067.x>.
- Barka, G. D.; Caixeta, E. T.; de Almeida, R. F.; Alvarenga, S. M. and Zambolim, L. 2017. Differential expression of molecular rust resistance components have distinctive profiles in *Coffea arabica* - *Hemileia vastatrix* interactions. *Eur. J. Plant Pathol.* 149(3):543-561. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1202-0>.
- Barros, S. T.; Oliveira, T. N.; Bastos, T. G. and Maia, C. L. 1999. Hyperparasitism of *Cladosporium uredinicola* over *Puccinia puta* on the host *Ipomoea fistulosa*. *Mycologist.* 13(1):23-24. [https://doi.org/10.1016/S0269-915X\(99\)80071-8](https://doi.org/10.1016/S0269-915X(99)80071-8).
- Bonilla, A. 2018. Desarrollan sistema de vigilancia epidemiológica para cultivo de café. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, CDMX. <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/19135-sistema-vigilancia-epidemiologica-cafe>.
- Boosalis, M. G. 1964. Hyperparasitism. *Annual Rev. Phytopathol.* 2(1):363-376. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.02.090164.002051>.
- Brown, J. K. M. and Hovmøller. M. S. 2002. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science.* 297(5581):537-541. <https://doi.org/10.1126/science.1072678>.
- Cacefo, V.; de Araújo, F. F. and Pacheco, A. C. 2016. Biological control of *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome with *Bacillus subtilis* Cohn and biochemical changes in the coffee. *Coffee Sci.* 11(4):567-574.
- Capucho, A. S.; Zambolim, L.; Lopes, U. N. and Milagres, N. S. 2013. Chemical control of coffee leaf rust in *Coffea canephora* cv. conilon. *Australasian Plant Pathol.* 42:667-673. <https://doi.org/10.1007/s13313-013-0242-y>.
- CEPAL. 2014. Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericano (CAC/SICA). Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica. México, DF. 131 p.

- Chavarria, G.; Pelisser, W.; Hoffmann, L. e Durigon. M. R. 2015. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetative, rendimento e qualidade de grãos. *Revista Ceres*. 62(6):583-588. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562060011>.
- Chemura, A.; Mutanga, O.; Sibanda, M. and Chidoko, P. 2017. Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data. *Trop. Plant Pathol.* 43(2):117-127. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0187-8>.
- Cisneros-Rojas, C. A.; Sánchez-de Prager, M. y Menjívar-Flores, J. C. 2017. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agron. Mesoam.* 28(1):149-158. doi:10.15517/am.v28i1.22021.
- Dorighello, D. V. 2013. Controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora packyrhizi*) com óleo de café e *Bacillus* spp. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 45 p.
- Duicela, G. L. A. y Ponce, V. L. A. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la Provincia de Manabí. *La Técnica*. 15:6-17.
- El-Sharkawy, H. H. A.; Tohamey, S. and Khalil. A. A. 2015. Combined effects of *Streptomyces viridosporus* and *Trichoderma harzianum* on controlling wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Plant Pathol. J.* 14(4):182-188. doi: 10.3923/ppj.2015.182.188.
- Evangelista-Martínez, Z.; Quiñones-Aguilar, E. y Rincón-Enríquez, G. 2015. Actividad inhibitoria de especies de *Streptomyces* del suelo contra *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani*. *Sup. Rev. Mex. Fitopatol.* 33(1):128-129.
- Flores, V. 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.
- Gómez-De La Cruz, I.; Pérez-Portilla, E.; Escamilla-Prado, E.; Martínez-Bolaños, M.; Carrión-Villarnovo, G. L. L. y Hernández-Leal, T. I. 2017. Selección *in vitro* de microparásitos con potencial de control biológico sobre roya del café (*Hemileia vastatrix*). *Rev. Mex. Fitopatol.* 36(1):172-183. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1708-1>.
- Gonza, C. K.; López, E.; Zavaleta, C.; De La Cruz, J. y Mendoza, W. 2013. Efecto biofungicida de *Trichoderma harzianum* y de extractos de *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis* y *Ricinus communis* sobre *Rhizoctonia solani*. *REBIOLEST. Rev. Científ. Estudiantes*. 1(1):43-48.
- Haddad, F.; Saraiva, R. M.; Mizubuti, E. S. G.; Romeiro, R. S. and Maffia. L. A. 2014. Isolation and selection of *Hemileia Vastatrix* antagonists. *Eur. J. Plant Pathol.* 139(4):763-772. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0430-9>.
- Hernández, L. y Sandoval, J. S. 2015. Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Rev. Mex. Fitopatol.* 33(1):95-103.
- Hernández-Martínez, G. y Velázquez-Premio, T. 2016. Análisis integral sobre la roya del café y su control. *Rev. Inter. Des. Reg. Sustent.* 1(1):92-96.
- INEGI. 2019. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (SIATL. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#).
- Infante, D.; Martínez, B.; González, N. y Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Rev. Protec. Veg.* 24(1):14-21.
- Leonel, A. H. and Barros, B. H. R. 2013. Utilização de preparados homeopáticos para controle da ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*) na região da Alta Mogiana. *Resumos do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia - Porto Alegre/RS. Cuadernos de Agroecología*. 8(2):1-5.



- Li, H.; Zhao, J.; Feng, H.; Huang, L. and Kang, Z. 2013. Biological control of wheat stripe rust by an endophytic *Bacillus subtilis* strain E1R-j in greenhouse and field trials. *Crop Protec.* 43:201-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.008>.
- McCook, S. 2009. La roya del café en Costa Rica: epidemias, innovación y medio ambiente, 1950-1995. *Rev. Historia.* 59-60:99-117.
- Melchor, R. L. A.; Rosales, V. G.; Pérez, M. C. G.; Fernández, S. P.; Álvarez, G. O. and Mastache, J. M. N. 2018. Effectiveness of carboxylic acids from *Pichia membranifaciens* against coffee rust. *Ciência e Agrotecnologia.* 42(1):42-50. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018421018817>.
- Nascimento, A. R. P.; Michereff, S. J.; Mariano, R. de L. R. and Gomes, A. M. A. 2005. Elaboração e validação de escala diagramática para cancro bacteriano da videira. *Summa Phytopathologica.* 31(1):59-64.
- Obando, N. V.; Mestanza, C. A. y Oliva, S. M. 2013. Efecto del manejo cultural y caldo bordelés sobre la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas. *Rev. Indes.* 1(2):51-58. doi:10.25127/indes.201302.006.
- Oliveira, C. M.; Ferreira, J. A. M.; Oliveira, R. M.; Santos, F. O. and Pallini, A. 2014. *Ricoseius loxocheles*, a phytoseiid mite that feeds on coffee leaf rust. *Exp. Appl. Acarol.* 64:223-233. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9814-y>.
- Pérez, L.; Belmonte, J. R.; Núñez, H. G.; Guzmán, R. y Mendoza, B. 2015. Sensibilidad *in vitro* de dos especies de *Sclerotinia* spp. y *Sclerotium cepivorum* a agentes de control biológico y fungicidas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 33(2):256-267.
- Rincón, N.; Olarte, M. A. y Pérez, J. C. 2012. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara Web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín.* 65(1):6399-6405.
- Rissato, B. B.; Stangarlin, J. R.; Coltro-Roncato, S.; Forlin, D. O. D.; Valentina, G. E. D.; Broetto, L.; Kuhn, O. J.; Lorenzetti, E.; Muriel, T.; Pereira, F. E. P.; Barrientos, W. T. F. and Urbanski L. J. C. 2016. Control of white mold in bean plants by homeopathic medicines. *Afr. J. Agric. Res.* 11(24):2174-2178. doi: 10.5897/AJAR2016.10988.
- Romero, G. A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei* (Ferrari) y los nemátodos *Meloidogyne* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago Costa Rica. Tesis de grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 85 p.
- Samayoa-Juárez, J. O. y Sánchez-Garita, V. 2000. Enfermedades foliares en café orgánico y convencional. *Manejo Integrado de Plagas.* 58:9-19.
- SARH. 1993. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Enfermedades del cafeto y su control en México. División Agrícola. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campo Experimental Xalapa. Veracruz, Ver., México. Folleto técnico núm. 4. 19 p.
- SAS. Institute Inc. 2011. SAS/QC 9.3 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/qcug/63964/PDF/default/qcug.pdf>.
- SEMARNAT. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>.

- SENASICA. 2016. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimnntaria. Roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F. Ficha técnica núm. 40. 23 p.
- Sussel, A. A. B.; Pozza, E. A. and Castro, H. A. 2009. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidade do mofo cinzento em mamoneira. *Tropical Plant Pathol.* 34(3):186-191.
- Waller, J. M. 1982. Coffee rust-epidemiology and control. *Crop Protec.* 1(4):385-404. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(82\)90022-9](https://doi.org/10.1016/0261-2194(82)90022-9).
- Zambolim, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathol.* 41:1-8. doi:10.1007/s40858-016-0065-9.