



FICHA TÉCNICA **CB-42**

MICOVIRUS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE FITOPATÓGENOS

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA FITOSANITARIA
DEPARTAMENTO DE CONTROL BIOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

Los virus que infectan y prevalecen en hongos fitopatógenos y hongos comestibles se denominan micovirus (Lui *et al.*, 2009; Ghabrial *et al.*, 2015). Están asociados con la mayoría de los grupos taxonómicos de hongos, incluyendo a los Ascomycota, Basidiomycota, Chytridiomycota, Zygomycota y Neocallimastigomycota (Myers *et al.*, 2020). Actualmente, se han descrito un gran número de micovirus, ya que directa o indirectamente son antagonistas de hongos fitopatógenos que causan enfermedades en cultivos de importancia económica (Marzano y Domier, 2016; Ghabrial *et al.*, 2015). Algunos ejemplos de micovirus que infectan y debilitan a hongos fitopatógenos son: 1) *Cryphonectria parasitica*, agente causal del cancro del castaño (Anagnostakis, 1982); 2) *Ophiostoma novo-ulmi*, causante de la enfermedad del olmo holandés (Brasier, 1983; Hong *et al.*, 1999); 3) *Sclerotinia sclerotiorum*, causal de la podredumbre del tallo (Marzano *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2013); 4) *Erysiphe pisi* que provoca el oídio en leguminosas (Kondo *et al.*, 2013); y 5) y el tizón de Victoria de la avena provocada por el hongo *Helminthosporium victoriae* (Ghabrial *et al.*, 2002).

Las investigaciones sobre el uso de micovirus son prometedoras, pues algunos inducen hipovirulencia en sus hospederos. Esto los convierte en agentes potenciales de control biológico de hongos fitopatógenos. Dentro de los efectos principales asociados a virus hipovirulentos, están la reducción del crecimiento y de la virulencia (Hough *et al.*, 2023).

CONCEPTOS

Micovirus. Son virus que infectan a los hongos, y que se replican dentro de las células fúngicas (Kumar & Chandel, 2016).

Hipovirulencia. Es la reducción de la virulencia de los hongos fitopatógenos infectados por micovirus. Este síntoma puede ser el resultado del debilitamiento del hongo a causa de la infección viral, o menos común, el resultado de una perturbación de los procesos del desarrollo del hongo (Van Alfen & Kazmierczak, 2008).

Infecciones crípticas. Infección latente por micovirus que no provocan cambios fenotípicos visibles en la morfología del hongo, ni alteran su fisiología (Khan *et al.*, 2023).

Hipervirulencia. Es el aumento de la virulencia de los hongos y mayor capacidad para adaptarse a entornos diferentes. Este tipo de infección puede aumentar la gravedad de la enfermedad causada por hongos fitopatógenos, provocando pérdidas económicas. Sin embargo, este fenómeno también puede favorecer a la agricultura, infectando hongos que se hospedan en malezas, cultivos no deseados y artrópodos o plagas de insectos (Khan *et al.*, 2023).

Transmisión horizontal. Capacidad de los micovirus de transmitirse a hongos no infectados a través de anastomosis (fusión celular) de hifas (Hough *et al.*, 2023).

Transmisión vertical. Propagación a través de la esporulación, por división de células en la producción de gametos sexuales o asexuales, infectando a la progenie del hospedero (Hough *et al.*, 2023).

ORIGEN DE LOS MICOVIRUS

En 1948 se descubre una enfermedad denominada “*La France*” que causaba la muerte de champiñones cultivados, *Agaricus bisporus*. Los champiñones infectados desarrollaban cuerpos fructíferos malformados, crecimiento lento y maduración antes de tiempo, lo que provocó graves pérdidas en el rendimiento de este hongo comestible (Son *et al.*, 2015). Una década después se identificó a los micovirus como el agente causal de esta enfermedad.

Sin embargo, no fue hasta los años 70s cuando se produjo un avance significativo en el campo de la Micovirología, cuando se descubrió la hipovirulencia del hongo *C. parasitica*. Esto condujo muchas investigaciones para el descubrimiento de nuevas infecciones causadas por micovirus en hongos filamentosos (Xie *et al.*, 2014; Hough *et al.*, 2023).

Para explicar el origen de los micovirus se han propuesto dos hipótesis. La “teoría de la coevolución antigua” que postula que la relación entre los micovirus y los hongos es muy antigua y refleja una coevolución a largo plazo entre ellos. Mientras que, la “teoría de los virus vegetales” sugiere que los micovirus se originaron a partir de virus de plantas y que pasaron de una célula vegetal a un hospedero fúngico (Hough *et al.*, 2023; Villan-Larios *et al.*, 2023).

CLASIFICACIÓN DE LOS MICOVIRUS

Actualmente, los micovirus son clasificados en función del tipo, y organización de su genoma en 23 familias (447 especies reconocidas hospedados por hongos) y un género sin clasificación (Fig. 1) de acuerdo con el ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses).

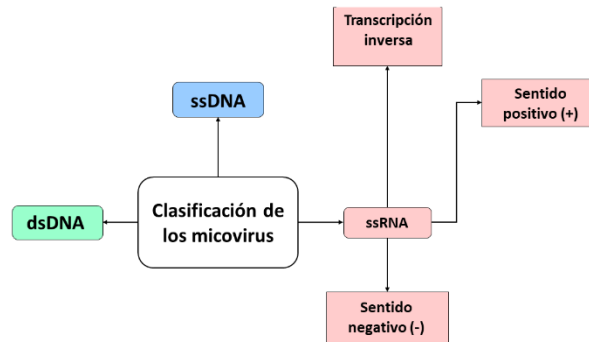


Figura 1. Taxones actualmente reconocidos de los micovirus por el ICTV (Modificado y traducido de Hough *et al.*, 2023).

Además de estos grupos taxonómicos existen una infinidad de micovirus aún sin clasificar, los cuales presentan características genómicas y atributos biológicos que pueden representar una fuente no descubierta de biodiversidad genética. Por otro lado, los genomas de los micovirus más abundantes en la naturaleza son de RNA bicatenario (dsARN) y RNA monocatenario de sentido positivo (+) ssRNA (Khan *et al.*, 2022). Hasta ahora solo unos pocos genomas ssDNA y ningún micovirus con genoma dsDNA ha sido reportado (Mata *et al.*, 2020).

SÍNTOMAS ASOCIADOS A LOS MICOVIRUS

En general, los micovirus inducen tres tipos de efectos sobre sus hospedadores: síntomas crípticos, hipovirulencia e hipervirulencia (Ghabrial *et al.*, 2015).

Aunque antes se creía que todos los micovirus producían infecciones latentes, que no conducían a cambios fenotípicos o alteraciones en la fisiología del hospedero, hoy se sabe que sí pueden tener diferentes efectos en sus hospederos y se les denomina **crípticos** (Fig. 2).

La naturaleza críptica de los virus parece estar asociada a un largo periodo evolutivo con su hospedero, coevolucionando juntos (Son *et al.*, 2015; Sato *et al.*, 2022).

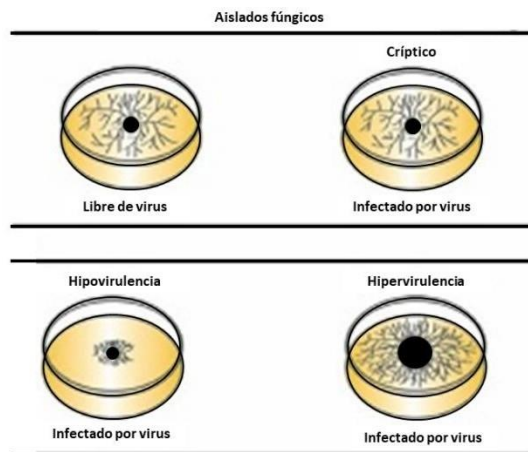


Figura 2. Tres tipos de efecto de los micovirus sobre la aptitud del hongo hospedero (Modificado y traducido de Khan *et al.*, 2023).

Los micovirus que inducen **hipovirulencia**, afectan negativamente a la virulencia, la morfología, esporulación, tasa de crecimiento y pigmentación de sus hospederos fúngicos (Hough *et al.*, 2023; Kotta-Loizou, 2021) (Fig. 2). Los efectos sobre los hongos varían, pero los virus pueden alterar drásticamente el fenotipo y la aptitud biológica del hongo fitopatógeno, tornándolo un aislado hipovirulento.

Por otro lado, los micovirus que inducen **hipervirulencia** aumentan la virulencia del hongo hospedero (Kotta-Loizou, 2021) (Fig. 2).

Algunos de los beneficios conferidos por micovirus hipervirulentos, incluyen el crecimiento fúngico, la asociación de la hipervirulencia a fenotipos extremos, aumento de la capacidad competitiva, producción de toxinas letales o toxinas específicas codificadas en los genomas fúngicos (Myers & James, 2022). A pesar de los efectos negativos aparentes, la hipervirulencia puede tener efectos deseables en los hongos entomopatógenos como *Metarhizium* y *Beauveria* que se utilizan habitualmente como agentes de control biológico contra plagas de artrópodos (Kotta-Loizou *et al.*, 2015).

MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE LOS MICOVIRUS

Los micovirus carecen de una vía de transmisión extracelular. En consecuencia, sólo pueden propagarse por vía intracelular, a través de anastomosis de hifas (transmisión horizontal) o por esporulación (transmisión vertical) (Son *et al.*, 2015; Ghabrial *et al.*, 2015) (Fig. 3).

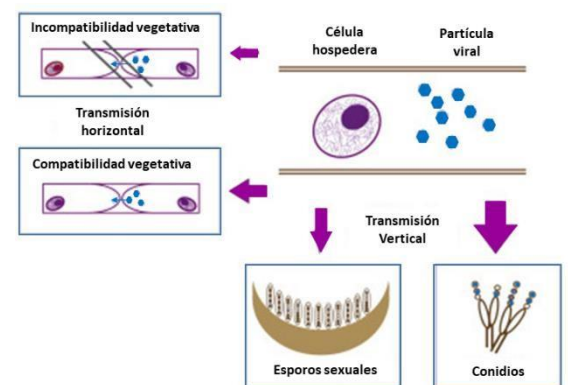


Figura 3. Modos de transmisión micoviral (Modificado y traducido de Myers & James, 2022).

Uno de los mayores obstáculos para la propagación de los micovirus es la anastomosis de hifas, la cual ocurre cuando hifas especializadas del mismo hongo o de hongos diferentes se fusionan e intercambian contenido citoplasmático, incluyendo a cualquier micovirus. Sin embargo, para que esto ocurra, deben ser vegetativamente compatibles. La compatibilidad está determinada por los genes *vic* (Choi *et al.*, 2012). Por tanto, los micovirus no pueden transmitirse de una cepa fúngica hipovirulenta a una cepa potencialmente hospedera, si son vegetativamente incompatibles (Fig. 3).

Por otro lado, la transmisión de algunos micovirus a la progenie de un hongo se produce a través de la esporulación sexual o asexual. En algunos casos, los micovirus son heredados a progenie de ascosporas de *C. parasitica* infectado por un reovirus (*Mycoreovirus* 1 y 2) o por mitovirus (*Cryphonectria mitovirus*-1). Pero, en general, se cree que la transmisión de micovirus a esporas sexuales (ascosporas, basidiosporas, etc.), es menos frecuente que la transmisión de micovirus a esporas asexuales (conidios) (Hough *et al.*, 2023).

PAPEL DE LOS MICOVIRUS EN EL CONTROL BIOLÓGICO

Un caso de éxito en control biológico utilizando micovirus con el atributo de hipovirulencia, fue en Europa contra el “cancro del castaño”. Este evento, ha inspirado la mayor parte de las investigaciones en la búsqueda de micovirus que induzcan hipovirulencia en otros hospederos fúngicos (Ghabrial *et al.*, 2015).

Otros micovirus asociados con hipovirulencia, son *Sclerotinia sclerotiorum* hypovirulence-associated DNA virus 1 (SsHADV1), que es infeccioso en forma de partículas purificadas e infecta directamente hifas de *S. sclerotiorum* (Yu *et al.*, 2013). Por otro lado, el virus *Rosellinia necatrix partitivirus* 2, ha demostrado causar hipovirulencia en *Rhizoctonia solani*, un hongo del suelo que infecta una amplia gama de cultivos, como hortalizas, plantas ornamentales y especies arbóreas (Zheng *et al.*, 2014). En el caso del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum*, causante de la marchitez vascular en claveles (*Dianthus caryophyllus*), el micovirus *Fusarium oxysporum crisovirus* 1 ha demostrado una reducción de la tasa de su crecimiento y reducción de la distribución espacial en los tejidos vegetales (Villán-Larios *et al.*, 2023). Otras especies virales como *Botryosphaeria dothidea chrysovirus* 1, *Magnaporthe oryzae chrysovirus* 1-A, *Colletotrichum fructicola chrysovirus* 1 y *Agaricus bisporus virus* 1, también pueden reducir la virulencia y generar cambios fenotípicos en sus respectivos hongos hospederos (Villán-Larios *et al.*, 2023).

Con base a estos antecedentes, los micovirus pueden utilizarse como agentes de control biológico cuando están asociados a hipovirulencia. Sin embargo, para la aplicación de un programa de control biológico es necesario establecer un sistema de exploración de micovirus, identificación con *Next Generation Sequencing* (NGS) y su caracterización funcional. Así como, el desarrollo de una estrategia de inoculación, la introducción con éxito en la población hospedera y consideraciones de vigilancia y bioseguridad en campo.

LITERATURA CITADA

- Anagnostakis, S.L. 1982.** Biological control of chestnut blight. *Science* 215: 466–471.
- Brasier, C.M. 1983.** A cytoplasmically transmitted disease of *Ceratocystis ulmi*. *Nature* 305: 220-223.
- Choi, G.H., Dawe, A.L., Churbanov, A., Smith, M.L., Milgroom, M.G., Nuss, D.L. 2012.** Molecular Characterization of Vegetative Incompatibility Genes That Restrict Hypovirus Transmission in the Chestnut Blight Fungus *Cryphonectria parasitica*. *Genetics* 190: 113-127.
- Ghabrial, S.A., Castón, J.R., Jiang, D., Nibert, M.L., & Suzuki, N. 2015.** 50-plus years of fungal viruses. *Virology* 479: 356-368.
- Ghabrial, S.A., Soldevila, A.I., Havens, W.M. 2002.** Molecular genetics of the viruses infecting the plant pathogenic fungus *Helminthosporium victoriae*. pp. 213–36. In: Tavantzis, S. (Ed.) *Molecular Biology of Double-Stranded RNA: Concepts and Applications in Agriculture, Forestry and Medicine*. CRC Press: Boca Raton, FL.
- Hong, Y., Dover, S.L., Cole, T.E., Brasier, C.M., Buck, K.W. 1999.** Multiple Mitochondrial Viruses in an Isolate of the Dutch Elm Disease Fungus *Ophiostoma novo-ulmi*. *Virology* 258: 118–127.
- Hough, B., Steenkamp, E., Wingfield, B., Read, D. 2023.** Fungal Viruses Unveiled: A Comprehensive Review of Mycoviruses. *Viruses* 15: 1202. <https://doi.org/10.3390/v15051202>
- Khan, H.A., Nerva, L., & Bhatti, M.F. 2023.** The good, the bad and the cryptic: The multifaceted roles of mycoviruses and their potential applications for a sustainable agriculture. *Virology*.
- Khan, H.A., Sato, Y., Kondo, H., Jamal, A., Bhatti, M.F., Suzuki, N., 2022.** A novel victorivirus from the phytopathogenic fungus *Neofusicoccum parvum*. *Arch. Virol.* 167 (3): 923–929.
- Kondo, H., Chiba, S., Toyoda, K., & Suzuki, N. 2013.** Evidence for negative-strand RNA virus infection in fungi. *Virology*, 435(2): 201-209.
- Kotta-Loizou, I. 2021.** Mycoviruses and their role in fungal pathogenesis. *Curr. Opin. Microbiol.* 63: 10–18.
- Kotta-Loizou, I., Sipkova, J., Coutts, R.H. 2015.** Identification and sequence determination of a novel double-stranded RNA micovirus from the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Arch. Virol.* 160: 873-875.
- Kumar, V., & Chandel, S. 2016.** Mycoviruses and their role in biological control of plant diseases. *International Journal of Plant Sciences*, 11(2): 375-382. [10.15740/HAS/IJPS/11.2/375-382](https://doi.org/10.15740/HAS/IJPS/11.2/375-382)
- Liu, H., Fu, Y., Jiang, D., Li, G., Xie, J., Peng, Y., Yi, X., Ghabrial, S.A. 2009.** A novel mycovirus that is related to the human pathogen hepatitis E virus and rubi-like viruses. *J. Virol.* 83: 1981–1991.
- Marzano, S.Y.L., Domier, L.L. 2016.** Novel mycoviruses discovered from metatranscriptomics survey of soybean phyllosphere phytobiomes. *Virus Res.* 213: 332–342.
- Marzano, S-YL, Hobbs, H.A., Nelson, B.D., Hartman, G.L., Eastburn, D.M., McCoppin, N. K., & Domier, L. L. 2015.** Transfection of *Sclerotinia sclerotiorum* with in vitro transcripts of a naturally occurring interspecific recombinant of *Sclerotinia sclerotiorum* hypovirus 2 significantly reduces virulence of the fungus. *J. Virol.* 89: 5060–5071. doi: [10.1128/JVI.03199-14](https://doi.org/10.1128/JVI.03199-14)
- Mata, C.P., Rodríguez, J.M., Suzuki, N., Castón, J.R. 2020.** Structure and assembly of double-stranded RNA mycoviruses. *Advances in Virus Research* 108: 213-247. [10.1016/bs.aivir.2020.08.001](https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2020.08.001)
- Myers, J., Bonds, A., Clemons, R., Thapa, N., Simmons, D., Carter-House, D., Ortanez, J., Liu, P., Miralles-Durán, A., Desirò, A. 2020.** Survey of early-diverging lineages of fungi reveals abundant and diverse mycoviruses. *Mbio.* 11: e02027-20
- Myers, J.M. & James, T.Y. 2022.** Mycoviruses. *Current Biology* 32: R141–R157

- Sato, Y., Shahi, S., Telengech, P., Hisano, S., Cornejo, C., Rigling, D., Kondo, H., Suzuki, N. 2022.** A new tetra-segmented splipalmivirus with divided RdRP domains from *Cryphonectria naterciae*, a fungus found on chestnut and cork oak trees in Europe. *Virus Res.* 307: 198606.
- Son, M., Yu, J., Kim, K.-H. 2015.** Five Questions about Mycoviruses. *PLoS Pathog* 11(11): e1005172. doi:10.1371/journal.ppat.1005172
- Van Alfen N.K., & Kazmierczak, P. 2008.** Hypovirulence. Pp. 574-580. In: Mahy, B.W.J., & Van Regenmortel, M.H (Eds.). *Encyclopedia of Virology.* Academic Press: Elsevier Ltd.
- Villan-Larios, D.C., Diaz-Reyes, B.M., Pirovani, C.P., Loguercio, L.L., Santos, V.C., Góes-Neto, A., Fonseca, P.L.C., Aguiar, E.R.G.R. 2023.** Exploring the Mycovirus Universe: Identification, Diversity, and Biotechnological Applications. *J. Fungi* 9: 361. <https://doi.org/10.3390/jof9030361>
- Xie, J., Jiang, D. 2014.** New insights into mycoviruses and exploration for the biological control of crop fungal diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 52: 45–68.
- Yu, X., Li, B., Fu, Y., Xie, J., Cheng, J., Ghabrial, S.A., Li, G., Yi, X., Jiang, D. 2013.** Extracellular transmission of a DNA mycovirus and its use as a natural fungicide. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110: 1452–1457.
- Zheng, L., Zhang, M., Chen, Q., Zhu, M., Zhou, E. 2014.** A Novel Mycovirus closely related to Viruses in the Genus Alphapartivirus Confers Hypovirulence in the Phytopathogenic Fungus *Rhizoctonia Solani*. *Virology* 456: 220–226.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Regla-Márquez y al Dra. Beatriz Rodríguez-Velez por la revisión previa a esta publicación.

Dr. Víctor M. Villalobos Arámbula
SECRETARIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL
 Ing. Francisco Javier Calderón Elizalde
DIRECTOR EN JEFE DEL SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD, INOCUIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA
 M. en B. Francisco Ramírez y Ramírez
DIRECTOR GENERAL DE SANIDAD VEGETAL
 M. en C. Guillermo Santiago Martínez
DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA FITOSANITARIA
 M. en C. Jorge Antonio Sánchez González
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL BIOLÓGICO

Elaboraron:
 Dra. Alba P. Suaste Dzul
 Ing. Yulissa Guadalupe Paredes Jurado

DEPARTAMENTO DE CONTROL BIOLÓGICO
 KM 1.5 CARRETERA TECOMÁN-ESTACIÓN FFCC. C.P.
 28110 TECOMÁN, COLIMA.
 TEL. (313) 32 4 07 41 y 45
<https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/centro-nacional-de-referencia-de-control-biologico-103097>

Sugerencia de como citar esta ficha:

Suaste-Dzul A. P. y Paredes-Jurado Y. G. 2023. Micovirus para el control biológico de fitopatógenos del suelo. Departamento de Control Biológico, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal, SENASICA. Ficha Técnica CB-42, 6p.