



*Banana bunchy top virus: amenaza para las musáceas en América Latina y el Caribe*¹

Banana bunchy top virus: Threat to musaceae in Latin America and the Caribbean

Gustavo E. Martínez-Solórzano², Juan Carlos Rey², Carlos Urias³, Thierry Lescot⁴, Nicolás Roux⁵, Jesús Salazar⁶, Yamila Rodríguez⁷

- ¹ Recepción: 4 de enero, 2022. Aceptación: 9 de mayo, 2022. Este trabajo formó parte de actividades de investigación del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Venezuela), Facultad de Agronomía - Universidad Central de Venezuela, Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (Venezuela), en conjunto con el Organismo Internacional Regional Sanidad Agrícola (OIRSA), (CIRAD), y Bioversity-CIAT.
- ² Instituto Nacional Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Maracay, Venezuela. martinezgve18@gmail.com (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-2599-1712>), jcrey67@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7271-3606>).
- ³ Organismo Internacional Regional Sanidad Agrícola (OIRSA). San Salvador, El Salvador. curias@oirsa.org (<https://orcid.org/0000-0002-6645-9223>).
- ⁴ Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD). Montpellier. Francia. thierry.lescot@cirad.fr (<https://orcid.org/0000-0002-9868-4759>).
- ⁵ Alliance Bioversity - Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT. Montpellier), Francia. n.roux@cgiar.org (<https://orcid.org/0000-0002-8309-3120>).
- ⁶ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Cátedra Economía Agrícola. Maracay, Venezuela. jsalazar440@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9498-9651>).
- ⁷ Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI) - Maracay, Venezuela. yamilarodriguez2512@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9799-9858>).

Resumen

Introducción. Las musáceas comestibles son consideradas cultivos estratégicos en la seguridad alimentaria de muchos países e importantes en su economía y dieta. No obstante, se encuentran amenazadas por diversos organismos fitopatógenos. **Objetivo.** Reseñar los rasgos significativos de la enfermedad del racimo cogolloso o *Banana bunchy top virus* (BBTV) causada por un virus de la familia Nanoviridae, género *Babuvirus*, que representa una amenaza potencial para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe (ALC). **Desarrollo.** Las musáceas se ubican entre los principales alimentos y frutas producidas en el mundo (entre los seis más importantes), su comercialización las define como las frutas más exportadas. Se estima que 47 % de los patógenos que originan enfermedades emergentes y re-emergentes de importancia mundial, son virus. Entre ellos, el BBTV constituye la enfermedad viral más dañina para las musáceas, con potencial impacto económico; además, limita el intercambio internacional del germoplasma. Es poco probable que este patógeno se transmita por implementos agrícolas, debido que no está presente en el suelo. Su diseminación solo ocurre a través de: a) insecto vector *Pentalonia nigronervosa*, que lo propaga a corta distancia, y b) por material de propagación infectado que puede distribuirlo entre continentes, con efecto devastador en todos los países donde ha sido reportada. **Conclusiones.** La introducción de nuevos materiales (clones) resistentes a Foc R4T (enfermedad presente en América) sin la debida supervisión y medidas cuarentenarias, pueden propiciar la manipulación de plantas *in vitro* portadoras del virus, que al quedar expuestas a la acción del insecto vector presente en ALC, condicionan la entrada y propagación del BBTV en esta región (principal de países exportadores), cuya



presencia podría ser catastrófica y ocasionar pérdidas económicas, similares a las ocurridas en países productores que han sido afectados.

Palabras claves: banano, plátano, enfermedad, organismos virales.

Abstract

Introduction. Edible musaceae are considered strategic crops in the food security of many countries, and important in their economy and diet. However, they are threatened by various phytopathogenic organisms. **Objective.** To outline the significant features of Banana bunchy top virus (BBTV) caused by a virus of the family Nanoviridae, genus *Babuvirus*, which represents a potential threat to the musaceae production in Latin America and the Caribbean (LAC). **Development.** Musaceae are among the main foods and fruits produced in the world (among the six most important), and their commercialization defines them as the most exported fruits. It is estimated that 47 % of the pathogens that originate emerging and re-emerging diseases of global importance are viruses. Among them, BBTV is the most damaging viral disease for musaceae, with potential economic impact, in addition, it limits the international exchange of germplasm. This systemic pathogen is unlikely to be transmitted by agricultural implements, since it is not present in the soil. Its dissemination only occurs through: a) Insect vector *Pentalonia nigronervosa*, which spreads it over short distance, and b) by infected propagation material that can distribute it between continents, with devastating effects in all the countries where it has been reported. **Conclusions.** The introduction of new materials (clones) resistant to Foc TR4 (disease present in America) without proper supervision and quarantine measures, can promote the manipulation of *in vitro* plants carrying the virus, which, when exposed to the action of the insect vector present in LAC, condition the entry and spread of the BBTV in this region (main of exporting countries), whose presence could be catastrophic and cause economic losses, similar to those that have occurred in producing countries that have been affected.

Keywords: banana, plantain, disease, viral organisms.

Introducción

La globalización, el comercio y el cambio climático, en los últimos años han contribuido a un aumento drástico de la propagación de plagas y enfermedades entre países. Cada año un 40 % de los cultivos se ven afectados por ellas y causan cuantiosas pérdidas que afectan a millones de personas a nivel mundial (Marini et al., 2020).

Dentro de este contexto, la globalización de los mercados ha conllevado a la caída de las barreras arancelarias, que a su vez realza la importancia de las barreras sanitarias y de inocuidad como mecanismos de protección ante la posible entrada de plagas a un país. Por cuanto, la sanidad e inocuidad se convierten en bienes públicos internacionales y requieren de la estrecha colaboración entre los países a fin de prevenir el ingreso, controlar y eliminar plagas que representan un riesgo a sus sistemas productivos (Marini et al., 2020).

Se estima que 47 % de los patógenos que originan enfermedades emergentes y re-emergentes, que conllevan a epidemias de importancia en el mundo son virus, y cuando los cultivos son infectados de manera sistemática por estos, la magnitud de las pérdidas en sus rendimientos y/o la calidad de sus productos, pueden afectar la producción de alimentos básicos esenciales para la seguridad alimentaria (Jones, 2009; 2021).

Algunos trabajos coinciden en señalar varios factores que podrían contribuir a ello, tales como: 1) la rápida expansión del comercio internacional (productos vegetales), que conlleva a la introducción de nuevas enfermedades

en regiones donde estas estaban ausentes, 2) movimiento de plantas o partes de ellas usadas como material de siembra (semillas) para el desarrollo de sistemas de producción basados en monocultivos, desde los centros de origen de las enfermedades a países distantes, 3) la inestabilidad del clima derivada del calentamiento global, origina que el manejo de nuevas pandemias y epidemias generadas por virus vegetales sean cada vez más difíciles de afrontar (Jones, 2009; 2014; 2021).

Las musáceas (plátano y/o banano), por sus valores nutritivos, se ubican entre los principales alimentos, frutas producidas y exportadas en el mundo (158 millones de t producidas en 11 millones de hectáreas, en el año 2019); se encuentran entre los seis cultivos más importantes a nivel global (después del maíz, el trigo, el arroz, la papa y la yuca) y representan un alimento básico para más de cuatrocientos millones de personas (Dita et al., 2018; Martínez-Solórzano et al., 2020; Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], s.f.). Su difusión a gran escala ha estado relacionada con acciones inherentes al movimiento migratorio (Jones, 2021), lo que ha favorecido el movimiento de plagas y enfermedades desde sus centros de orígenes.

Varios virus pueden afectar las musáceas, tales como: el virus del racimo cogolloso del banano (*Banana bunchy top virus*, BBTV), virus del mosaico del pepino (*Cucumber mosaic virus*, CMV), virus del estriado del banano (*Banana streak virus*, BSV), virus del mosaico de la bráctea del banano (*Banana bract mosaic virus*, BBrMV), virus del mosaico leve del banano (*Banana mild mosaic virus*, BanMMV), virus del mosaico del abacá (*Abaca mosaic virus*, AbaMV) y el virus de la muerte descendente del banano (*Banana die-back virus*, BDBV) (Jones, 2021; Pérez-Vicente, 2015; Qazi, 2016; Tchatchambe et al., 2020).

Los cuatro primeros son los causantes de las principales enfermedades virales de banano y plátano en el mundo (Rivera Herrero, 2000), entre ellos el virus del racimo cogolloso o *Banana bunchy top virus* (BBTV), constituye la enfermedad viral más dañina que afecta las musáceas a escala global, representa una seria amenaza para la seguridad alimentaria, con potencial impacto económico devastador, además de originar restricciones en el intercambio internacional de su germoplasma. El BBTV destaca entre los diez virus más importantes en el mundo en términos de impacto económico (Jones, 2021; Kumar et al., 2011; Kumar et al., 2015; Qazi, 2016; Stainton et al., 2015; Tchatchambe et al., 2020).

Este trabajo tuvo como objetivo reseñar los rasgos significativos de la enfermedad del racimo cogolloso o *Banana bunchy top virus* (BBTV) causada por un virus de la familia Nanoviridae, género *Babuvirus*, que representa una amenaza potencial para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe.

Agente causal y síntomas

El agente causal de la enfermedad racimo cogolloso es un virus que pertenece a la familia Nanoviridae, género *Babuvirus*, que posee viriones isométricos, con 18-20 nm de diámetro, encapsulados por separado (DNA-R, DNA-U3, DNA-S, DNA-M, DNA-C y DNA-N). Todos los componentes son monocistrónicos, excepto para DNA-R, que codifica la proteína de iniciación de replicación maestra y un cuadro de lectura interna más pequeña de función desconocida. La replicación se realiza a través de un mecanismo de círculo rotatorio, donde intervienen los componentes del genoma y está restringida al tejido del floema al igual que los efectos histológicos (Centre for Agricultural Bioscience International [CABI], 2021; Manzo-Sánchez et al., 2014; Qazi, 2016; Stainton et al., 2015).

Los síntomas del *Banana bunchy top virus* (BBTV) son característicos y fáciles de distinguir de otros virus que afectan a las musáceas. En la Figura 1, se puede observar detalles de los síntomas típicos iniciales, y en la Figura 2, síntomas más avanzados.

Las plantas pueden ser infectadas en cualquier etapa de desarrollo y los síntomas no aparecen hasta que se producen al menos dos hojas nuevas, con diferencias iniciales entre los síntomas inducidos por áfidos y aquellos provenientes de material vegetal propagativo infectado.



Figura 1. Síntomas iniciales de *Banana bunchy top virus* (BBTV en la lámina foliar en plantas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish). Detalles del síntoma conocido como “gancho en J”. Consiste en rayas de color verde oscuro que van paralelas a las venas, y terminan en la nervadura central con un patrón distintivo en forma de “J”. Fotografía captada en Hawái (USA), año 2004, por el Dr. Nelson Scot, Universidad de Hawái, tomada de www.musarama.org B. Detalles del síntoma “código Morse” que consiste en puntos y rayas de color verde oscuro a lo largo de las nervaduras y el pecíolo, que puede ser observado mejor al ver la hoja al trasluz. Ambos síntomas son considerados como indicadores confiables de la presencia de BBTV. Fotografía captada en Hawái (USA), año 2009, por el Dr. Nelson Scot, Universidad de Hawái, tomada de www.musarama.org

Figure 1. Initial leaf-blade symptoms of Banana bunchy top virus (BBTV in foliar leaf in banana (*Musa* AAA Cavendish subgroup) plants). A. Details of the symptom known as “J-hook”. It consists of dark green stripes that run parallel to the veins, ending at the midrib with a distinctive “J”-shaped pattern. Photograph taken in Hawaii (USA), 2004, by Dr. Nelson Scot, University of Hawaii, taken from www.musarama.org. B. Details of “Morse code” symptom consisting of dark green dots and dashes along the ribs and the petiole, which can be best observed by holding the leaf up to the light. Both symptoms are considered reliable indicators of the presence of BBTV. Photograph taken in Hawaii (USA), year 2009, by Dr. Nelson Scot, University of Hawaii, taken from www.musarama.org



Figura 2. Plantas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) afectadas por *Banana bunchy top virus* (BBTV). A.- Detalle de planta adulta afectada, con síntomas típicos en hojas tipo rosetas. Fotografía captada en Hawái (USA), año 2007, por el Dr. Nelson Scot, Universidad de Hawái, tomada de www.musarama.org B.- lámina foliar con bordes cloróticos típicos de la enfermedad, y reducción del tamaño. Fotografía tomada en Camerun, Africa, año 2007, por el Dr. Thierry Lescot, Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD).

Figure 2. Banana plants (*Musa* AAA, Cavendish subgroup) affected by Banana bunchy top virus (BBTV). A.- Detail of affected adult plant, with typical symptoms in rosette-like leaves. Photograph taken in Hawaii (USA), year 2007, by Dr. Nelson Scot, University of Hawaii, taken from www.musarama.org B.- leaf with chlorotic borders typical of the disease, and reduction in size. Photograph taken in Cameroon, Africa, year 2007, by Dr. Thierry Lescot, Center de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD).

Síntomas externos

En plantas infectadas por áfidos, los síntomas aparecen en la segunda hoja que emerge después de la infección, expresados en la parte basal de la lámina foliar o en el pecíolo (CABI, 2021; College of Tropical Agriculture and Human Resources [CTAHR], 2021; Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2019; Thomas, 2015).

Las hojas nuevas cuando está presente la enfermedad del racimo cogolloso, se presentan más pequeñas (en longitud y ancho), con bordes cloróticos y enrollados hacia arriba. Las mismas pueden presentar una apariencia quebradiza y son más erguidas de lo normal, dan a la planta un aspecto de amacollamiento o roseta, los hijos o retoños pueden mostrar síntomas severos en la primera hoja a emerger (Alpízar & Morera, 2020; CABI, 2021; CTAHR, 2021; SENASICA, 2019; Thomas et al., 1994; Vezina et al., 2021).

Otros síntomas típicos de la enfermedad *Banana bunchy top*, consisten en rayas verdes oscuras en la parte inferior de la lámina foliar o puntos en las venas secundarias que al unirse forman figuras en forma de ganchos a medida que llegan al borde de la nervadura central, más evidentes al trasluz en el envés de la hoja y al remover la cera de la superficie de la lámina foliar. Las plantas infectadas en etapas iniciales del desarrollo no producen racimo, aunque en infecciones tardías podrían formar un racimo deformado o distorsionado (Alpízar & Morera, 2020; CABI, 2021; CTAHR, 2021; SENASICA, 2019; Thomas et al., 1994; Vezina et al., 2021).

En infecciones muy tardías, el único síntoma que se presenta son rayas de color verde oscuro en las puntas de las brácteas florales de la bellota o rayas verdes longitudinales (Alpízar & Morera, 2020), con aspecto decolorado de la misma (Figura 3).

En campo, los síntomas del virus *Banana bunchy top* (BBTV) en las plantas se expresan entre 25 y 85 días después de la infección inicial, pero la mayoría de las plantas muestran síntomas 50 días después de la infección (CTAHR, 2021; Watanabe et al., 2013).



Figura 3. Plantas de banano (*Musa* sp.) afectadas por *Banana bunchy top virus* (BBTV). A.- Bellota del racimo con decoloraciones discontinuas a lo largo de la bráctea floral. B.- Detalle de racimo de planta afectada por BBTV. Observe reducción del tamaño y dedos. Fotografías captadas en Hawái (USA), año 2011, por el Dr. Nelson Scot, Universidad de Hawái, tomada de la base www.musarama.org

Figure 3. Banana plants (*Musa* sp.) affected by *Banana bunchy top virus* (BBTV). A.- Acorn of the bunch with discontinuous discolorations along the flower bract. B.- Bunch detail of a plant affected by BBTV. Note reduction in size and fingers. Photographs captured in Hawaii (USA), year 2011, by Dr. Nelson Scot, University of Hawaii, taken from the base www.musarama.org

Síntomas internos

Los síntomas internos se expresan con la presencia de hipertrofia e hiperplasia del tejido del floema y una reducción en el desarrollo de las vainas fibrosas del esclerénquima que rodean los haces vasculares. Las células que rodean el floema presentan un alto número de cloroplastos, responsables del síntoma de rayas oscuras macroscópicas evidentes en la superficie foliar. El BBTV replica en corto período, en el sitio de la inoculación de los áfidos, luego se mueve del pseudotallo hasta el meristema basal y avanza al cormo, las raíces y las hojas recién formadas (CABI, 2021).

Diseminación y rango de hospederos

El BBTV a pesar de ser un patógeno sistémico no está presente en el suelo y es poco probable que se transmita por implementos de agrícolas o labranza (Alpízar & Morera, 2020; Niyongere et al., 2012). Existen solo dos vías para su diseminación: 1) por insectos, y 2) a través de material de propagación infectado (Alpízar & Morera, 2020).

El insecto vector del BBTV tiene alta eficiencia para la diseminación en forma persistente, circulatoria y local del virus. Fue identificado en 1930 como el áfido *Pentalonia nigronervosa* (Hemiptera: Aphididae) en la isla Reunión, frente a Madagascar (Lokossou et al., 2012; Robson et al., 2007; Stainton et al., 2015), el cual se puede apreciar en la Figura 4.



Figura 4. Detalles del áfido del banano *Pentalonia nigronervosa*, en estado adulto, considerado como el insecto vector más eficiente para propagar el *Banana bunchy top virus* (BBTV) de plantas enfermas a plantas sanas, a través de la succión para alimentarse. Fotografía captada en Hawái (USA), año 2004, por el Dr. Nelson Scot, Universidad de Hawái, tomada de www.musarama.org

Figure 4. Details of the adult banana aphid *Pentalonia nigronervosa*, considered to be the most efficient insect vector for spreading the *Banana bunchy top virus* (BBTV) from diseased to healthy plants through suction feeding. Photograph taken in Hawaii (USA), year 2004, by Dr. Nelson Scot, University of Hawaii, taken from www.musarama.org

Estudios sobre la biología y ecología de *Pentalonia nigronervosa*, han generado resultados muy variables, que dependerán de diversos factores. El comportamiento de las poblaciones del áfido en Hawái, puede diferir de las

poblaciones de la India, debido a las diferencias en el genotipo, el clima o los cultivares de plantas huésped, entre otros factores (Robson et al., 2007).

En pruebas de laboratorio con tejido vegetal de plantas de banano, se determinó que la etapa de ninfa de estos áfidos puede durar entre 8 y 11 días, con una longevidad adulta entre 11 a 12 días y un promedio de 22 crías por hembra. Con una reproducción vivípara y partenogenética. Se observó, además, que la temperatura regula su tasa de desarrollo y es un componente esencial de la tasa intrínseca de aumento de su tamaño. El crecimiento de su población tiende a ser más alto a temperaturas de 25 °C y el valor de la tasa intrínseca de aumento de su tamaño es afectado de forma negativa por temperaturas superiores o inferiores a los 25 °C (Robson et al., 2007). Otros resultados señalan que la reproducción de *Pentalonia nigronervosa* ocurrió en un período de cuatro semanas a temperatura de 25 °C y en siete semanas a temperaturas de 20 °C. Mientras que la población de estos áfidos sobrevivió períodos más cortos y tuvieron menos descendencia a 30 °C. La mayor cantidad de insectos vivos fue reportada a temperaturas cercanas a 25 °C.

Por lo general, estos insectos pueden aparecer durante todo el año, pero en mayor cantidad en época lluviosa agrupados alrededor de la hoja bandera y en la base de los pecíolos de hojas jóvenes y en menor proporción en la base del pseudotallo (Alpizar & Morera, 2020). Sin embargo, la alta temperatura puede influir en su comportamiento y se encuentran, además, por debajo del nivel del suelo en el pseudotallo y en los alrededores de las plantas (Robson et al., 2007).

Investigaciones en Hawái revelaron que evaluar solo la hoja bandera para detectar la presencia de áfidos puede conducir a falsos negativos, tal como se observó en más del 50 % de las plantas inspeccionadas en varias localidades de ese Estado (CTAHR, 2021).

Los virus en las plantas poseen diversas formas de adaptaciones para facilitar su adquisición, retención e inoculación por insectos vectores. La evidencia creciente sugiere que estos virus pueden manipular los fenotipos de las plantas hospederas y los comportamientos de los vectores, de manera que mejoren su transmisión. Partes de estas adaptaciones están relacionadas con las proteínas del virus que permiten unirse a las piezas bucales del vector o invadir sus tejidos internos (Mauck et al., 2018).

En la relación vector-huésped se involucran diversos tipos de estímulos, como los visuales y olfativos, y se pueden producir a través de los efectos del virus sobre las señales del huésped que determinan la orientación del vector, los comportamientos de alimentación, la dispersión y la probabilidad de transmisión del virus (Mauck et al., 2018; Döring, 2014).

Los efectos sobre los fenotipos del huésped pueden variar según el patosistema y llega a mostrar un grado notable de convergencia entre virus no relacionados, cuya transmisión se ve favorecida por los mismos comportamientos del vector. Esta convergencia basada en el mecanismo de transmisión, más que en la filogenia, apoya la hipótesis que los efectos del virus son adaptativos y no solo subproductos de la infección. Sobre esta base, se ha propuesto que los virus manipulan a los huéspedes a través de proteínas multifuncionales que facilitan la explotación de los recursos del huésped y la provocación de cambios específicos en los fenotipos del huésped (Mauck et al., 2018).

El efecto del virus sobre los mecanismos de atracción del vector aún no está claro; sin embargo, una fuerte atracción de los áfidos a plantas infectadas, independiente de la variedad y del estado de desarrollo de la enfermedad, ha sido señalada (Safari et al., 2021). Se ha determinado que componentes orgánicos volátiles son emitidos por plantas infectadas en mayor cantidad que las plantas sanas, lo cual puede servir de atrayente. De igual modo, la cantidad de estos componentes orgánicos volátiles varía con relación al genoma, observándose que algunas plantas de plátano producen mayor cantidad en comparación con plantas de banana de postre. Este aporte brinda la posibilidad de desarrollar investigaciones sobre el control biológico del vector, a través de la introducción de variantes en las señales olfativas para disminuir su poder atrayente (Safari et al., 2021).

El BBTV puede sobrevivir en el áfido entre 15 a 20 días, pero no lo transmite a su progenie. La eficiencia durante la transmisión es afectada por la temperatura, etapa de la vida del vector y período de alimentación en las

plantas enfermas (se estima un lapso máximo de 17 h después de haber succionado las plantas infectadas) (Anhalt & Almeida, 2008; CABI, 2021; Niyongere et al., 2012; Qazi, 2016; Tchatchambe et al., 2020).

Basados en técnicas de inmunofluorescencia, inmunocaptura y PCR, se ha demostrado que antígenos de BBTv pueden ser localizados y retenidos dentro del insecto vector, en mayor concentración en el intestino medio anterior, en comparación con la cantidad acumulada y presente en la hemolinfa o en células específicas de las glándulas salivales principales (Bressan & Watanabe, 2011; Watanabe et al., 2013).

Estas partículas se translocan en el interior del áfido, por cuanto, dos posibles vías de translocación se han sugerido: 1) movimiento de partículas virales desde el intestino medio anterior a las glándulas salivales principales, a través de la hemolinfa; y 2) movimiento directo desde el intestino medio anterior a las glándulas salivales principales, con base en que los tejidos que forman estos órganos pueden entrar en contacto directo dentro del hemocele (Watanabe et al., 2013).

La diseminación del BBTv a través del áfido está confinada a cortas distancias (Qazi, 2016; SENASICA, 2019; Tchatchambe et al., 2020), lo cual puede explicar la presencia de nuevos brotes de BBTv en distancias entre 15,5 a 17,2 m, en plantaciones comerciales de banano en Australia, que fueron relacionadas con la presencia del áfido vector. De igual manera, en Filipinas se observó que la mayoría de nuevos focos de la enfermedad fueron encontrados en sitios muy cercanos a las fuentes primarias de la infección (CABI, 2021; SENASICA, 2019).

Se debe considerar la estrecha relación del virus con su vector, donde estos últimos pueden interactuar de forma directa o indirecta a través de huéspedes compartidos, con implicaciones para la persistencia y la propagación del patógeno (Rajabaskar et al., 2014).

El áfido *Pentalonia nigronervosa* coloniza plantas de las familias Araceae, Commelinaceae, Musaceae y Zingiberaceae, entre las que se encuentran *Elettaria*, *Alpinia*, *Zingiber*, *Colocasia*, *Caladium*, *Costus*, *Dieffenbachia*, *Hedychium* y *Heliconia* (SENASICA, 2019). No obstante, existen algunas evidencias sobre la presencia de huéspedes alternativos de BBTv que incluyen *Alpinia purpurata*, *Colocasia esculenta* (taro), *Canna indica* (Canna) y *Hedychium coronarium* (guirnalda), que requieren de mayor investigación para su confirmación (Thomas et al., 1994). De igual modo, se ha reportado a *Colocasia esculenta* infectada con BBTv pero asintomática, por cuanto, esta especie pudiera tener importancia significativa en la epidemiología de la enfermedad, además de estar distribuida en áreas donde ocurre el virus y ha sido reportada como huésped natural del vector *Pentalonia nigronervosa* (SENASICA, 2019).

Resultados de investigaciones en Hawái, mostraron por primera vez al áfido *Pentalonia caladii* como otro vector con baja eficiencia para la diseminación de este virus, que se puede alimentar de flores tropicales del género *Heliconia*, ornamentales como jengibre (*Zingiber officinale*) y taro (*Colocasia esculenta*), y poco frecuente, pero posible, de plantas de banano (Watanabe et al., 2013), por cuanto debe ser considerado al analizar la dispersión del BBTv.

La transmisión de BBTv entre plantas de banano por *Pentalonia caladii*, puede no ser muy común; sin embargo, se necesitan observaciones de campo y estudios de preferencia de huésped más extensos para probar esta hipótesis. Lo que indica que *Pentalonia nigronervosa* tiene mayor importancia epidemiológica en la propagación de BBTv (Watanabe et al., 2013).

Con respecto a la diseminación del virus a través de restos vegetales o material de propagación infectado (incluye plántulas *in vitro*), puede abarcar largas distancias (regionales, nacionales e incluso intercontinental) al realizarse la movilización de estos materiales para la siembra de nuevas áreas. Por cuanto, el riesgo de transmisión de esta forma es alto (CABI, 2021; Niyongere et al., 2012; Qazi, 2016; SENASICA, 2019; Tchatchambe et al., 2020).

Distribución y estado actual

Mucho antes que las plantas fueran domesticadas y cultivadas como monocultivos, los fitopatógenos evolucionaban junto con las plantas silvestres que crecían en comunidades de especies mixtas. Este proceso coevolutivo ocurrió durante los últimos 15 000 años (hacia finales de la era del Pleistoceno) y dio forma a una población de plantas silvestres, que son huéspedes de varios patógenos, donde se incluyen los virus (Jones, 2009).

De acuerdo con los registros, el BBTV se originó y evolucionó en el área de origen del banano, que se corresponde con el sur y sureste de la región de Asia-Australasia, en Fiyi, en 1889 (Jones, 2021; SENASICA, 2019; Qazi, 2016); además, hay evidencia de que la enfermedad estaba presente antes de iniciar la industria de exportación de banano (Qazi, 2016).

En el Cuadro 1 se señala la cronología de los brotes de *Banana bunchy top virus* a nivel mundial. Se observa, además, que el tiempo requerido para un nuevo evento de brote, no presenta un patrón uniforme en la diseminación de la enfermedad. Este comportamiento guarda estrecha relación y se vincula con el movimiento de material

Cuadro 1. Cronología sobre los brotes mundiales de *Banana bunchy top virus*.

Table 1. Timeline of global Banana bunchy top virus outbreaks.

Orden	País / Año del reporte	Avance (años)	Referencia
1	Fiyi	1889	Origen Jones (2021), Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2019), Qazi (2016)
2	Taiwán	1900	11 CABI (2021), SENASICA (2019), Vezina et al. (2021)
3	Egipto, Sri Lanka	1901	1
4	Australia	1913	11
5	Filipinas	1925	12
6	India	1940	15
7	República Democrática de Congo	1958	18 Mukwa et al. (2014); Vezina et al. (2021)
8	Eritrea, Guinea Ecuatorial	1981	23 Vezina et al. (2021)
9	Gabón	1987	6 Vezina et al. (2021)
10	Congo, Burundi, Rwanda, República Centroafricana, Malawi	1994	7 Vezina et al. (2021)
11	Zambia y Mozambique	2007	13 Vezina et al. (2021)
12	Angola, Camerún	2008	1 Lokossou et al. (2012); Vezina et al. (2021)
13	Benín	2011	3 Lokossou et al. (2012); Vezina et al. (2021)
14	Nigeria	2012	1 Vezina et al. (2021)
15	Sudáfrica	2015	3 Vezina et al. (2021)
16	Togo, partes de China, Indonesia, Malasia, Vietnam, Taiwán, Japón, otros sectores de India y Filipinas, Irán, Nepal, Pakistán, Bangladesh, Myanmar, Tailandia, Guam, Samoa, Tonga, Tuvalu, Kiribati, Nueva Caledonia, Hawái.	2018	3 Vezina et al. (2021)

vegetal para siembra, el movimiento migratorio humano y el comercio al inicio del siglo XX, de acuerdo con los registros disponibles (SENASICA, 2019). En la Figura 5 se indica la distribución de los diferentes brotes en los distintos países.

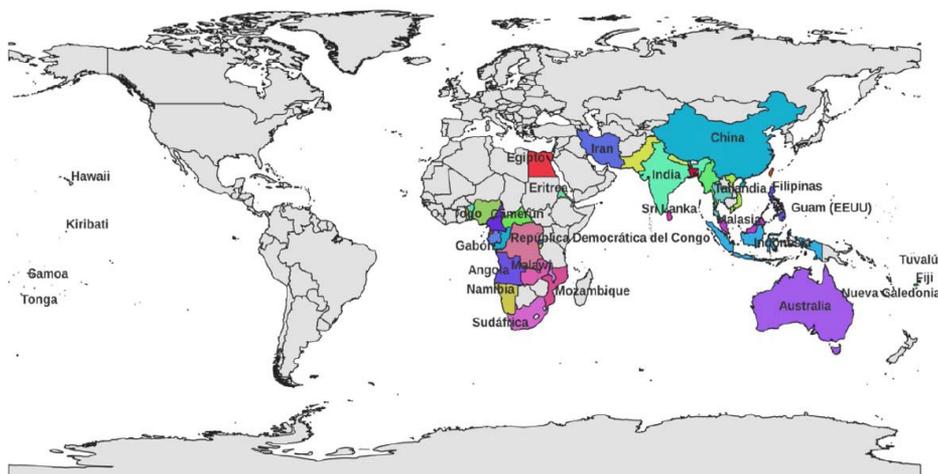


Figura 5. Distribución de la enfermedad *Banana bunchy top virus* a nivel mundial. Imagen diseño propio.

Figure 5. Distribution of Banana bunchy top virus worldwide. Own design image.

Diversos estudios indican que la diversidad del BBTV tiene sus orígenes en el subcontinente Indio (India, Myanmar, Pakistán y Sri Lanka), región del sur este asiático, este de Asia (China, Indonesia, Japón, Filipinas, Taiwán, Tailandia y Vietnam) e islas del Pacífico (Fiyi, Hawái, Tonga y Samoa) (Niyongere et al., 2012; SENASICA, 2019; Stainton et al., 2015; Vezina et al., 2021).

Las secuencias individuales utilizadas en el análisis filogenético, revelan la existencia de dos grupos geográficos de BBTV: el grupo del Pacífico sur (basados en aislamientos provenientes de Australia, África, Islas del Pacífico y Sub-Continente Indio) y el grupo asiático (basados en aislamientos provenientes de sureste de Asia y China) (Thomas, 2015). Esta agrupación se ha modificado, se designa el grupo PIO que comprende los aislamientos de Australia, Egipto, Hawái, India, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka y Tonga; y el grupo SEA que comprende los aislamientos de China, Indonesia, Japón, Filipinas, Taiwán y Vietnam (Qazi, 2016).

La distribución global de sus genotipos está muy estructurada en la escala continental, lo que indica que las transferencias intercontinentales por medios humanos de los genotipos de BBTV importantes a nivel epidemiológico, han ocurrido con relativa poca frecuencia, mientras que sus movimientos desde sus puntos de orígenes de diversidad en los últimos trescientos años, ha sido a través de la propagación del banano como cultivo que involucra material vegetal enfermo (Niyongere et al., 2012; Stainton et al., 2015).

Importancia económica e implicaciones para América Latina y el Caribe

Banana bunchy top virus (BBTV) es la enfermedad viral más importante de las musáceas y es considerada la plaga más devastadora en todo el mundo; cobra mayor relevancia e importancia al afectar los cultivos de plátanos y bananos, considerados alimentos importantes a nivel mundial (SENASICA, 2019).

Los cultivos de plátanos y bananos representan fuente de crecimiento económico e ingresos para muchas zonas rurales, al generar empleos y divisas; entre sus cualidades se puede indicar su aporte de vitaminas y minerales, así como otros elementos que contribuyen con el bienestar de los consumidores en muchos países (Martínez-Solórzano & Rey-Brina, 2021). Como alimento básico, contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas, por esta razón, el impacto que generan las plagas de importancia cuarentenaria como el caso de BBTV, ha ocasionado pérdidas en la producción, empleos, disminución en la comercialización del fruto, entre otros factores (Manzo-Sánchez et al., 2014).

El BBTV ha sido clasificado como plaga cuarentenaria de acuerdo con diversos entes internacionales como el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), debido al riesgo latente de establecimiento en áreas donde la plaga no se encuentra presente. Por lo anterior, las medidas de cuarentena son esenciales para prevenir su introducción (CABI, 2021; SENASICA, 2019).

El efecto devastador del BBTV se refleja a su paso por todos los países donde ha sido reportada. En Fiyi (primer reporte de la enfermedad), en los primeros años después de su reporte, la producción disminuyó de 778 000 racimos de plátano en el año 1892 a 114 000 en el año 1895 (Rao & Madem, 2020; SENASICA, 2019), equivalente a 85 % de pérdida. En Australia, la industria bananera fue devastada en 1920; su efecto fue severo en Nueva Gales del Sur, durante el periodo de 1922-1926, donde 90 % del área de cultivo fue afectada (Rao & Madem, 2020).

En el distrito Currumbin (Queensland), Australia, el número de unidades de producción se redujo de cien a cuatro, entre los años 1922 a 1925, y disminuyó la producción en 95 % (Rao & Madem, 2020). Los efectos más devastadores del virus en los últimos años han sido reportados en Paquistán, Hawaii y en África subsahariana (Thomas, 2015). Por lo que puede ocasionar pérdidas de hasta 100 % de la producción, al no aplicar medidas de control correspondientes (Rao & Madem, 2020).

Entre los años 2007 y 2010, se detectaron nuevos brotes en diferentes áreas de India, con pérdidas cercanas a cincuenta millones de dólares, es considerada una de las epidemias más significativas que ha incidido (Qazi, 2016).

Todos los países productores de musáceas comestibles y de exportación de América Latina y el Caribe que se encuentran libres de la enfermedad, presentan condiciones favorables para que se presente una epidemia de BBTV. El insecto vector (*Pentalonia nigronervosa*) del BBTV se encuentra presente en muchas áreas de las zonas productoras de musáceas de ALC, por cuanto su introducción a esta región podría ocasionar grandes pérdidas económicas, debido a que estos cultivos tienen amplia distribución en esta área, donde se concentran los principales países exportadores, además de ser uno de los sistemas de producciones más rentables (SENASICA, 2019).

En la región de ALC, se pueden encontrar variados sistemas de producción, tales como: a) producción convencional intensiva, caracterizados por monocultivos; b) agroforestales y sistemas de producción de bajos insumos (cultivados para consumo local y vendidos en mercados); c) sistemas de producción orgánicos; y d) sistemas tradicionales con reducida aplicación de insumos, por lo general, siempre asociados a otros cultivos, destinados para el sustento familiar (Martínez et al., 2009; Pérez-Vicente, 2015).

Se estima que en ALC, para el año 2019, se sembraron 2 391 428 ha para una producción de 43 569 793 t (FAO, s.f.), que generó 7 200 000 empleos, estimados con base en la relación indicada por el sector bananero de Ecuador y Colombia (EKOS, 2021; González, 2019), los cuales se encontrarían afectados con reducción significativa del número de empresas exportadoras, por escasez del fruto (SENASICA, 2019).

El mayor peligro para la introducción del BBTV podría estar representado por las importaciones ilegales e indebidas de plántulas de cultivo *in vitro*, debido a que la micropropagación basada en plantas madre infectadas conlleva a la transmisión de BBTV (CABI, 2021). Estas plántulas *in vitro* infectadas pueden ser indistinguibles de plántulas sanas y llegar a exteriorizar los síntomas después de doce meses (CABI, 2021).

Es posible que la presencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, raza 4 tropical, causante de la Fusariosis o marchitez por Fusarium en ALC (detectada en Colombia en el año 2019 y luego en Perú en el año 2021), estimule la importación de materiales genéticos a la región, en busca de clones resistentes a *Foc* RT4, pero que podría

representar la puerta de entrada del BBTV (Betancourt, 2020). A través de estos materiales de siembra se pueden transmitir de manera eficiente otras enfermedades como las causadas por el complejo *Ralstonia solanacearum* (Moko, Bugtok, Blood disease por *Ralstonia syzygii*), *Xanthomonas campestris* pv. *musacearum* (Yirgou y Bradbury), *Dickeya paradisiaca*, marchitez por fitoplasmas, el complejo de especies de *Banana streak badnavirus* (BSV) y el *Banana bract mosaic potyvirus* (BBrMV); muchos de ellos ausentes en ALC. Algunos de los virus señalados, son clasificados como plagas no reglamentadas en muchos países de África y Asia, por estar bien establecidos en esas regiones (Betancourt, 2020; Pérez-Vicente, 2015).

La potencial entrada del patógeno BBTV a la región de ALC sería de gran impacto, en términos generales, estaría dirigida en mayor parte al cultivo de bananos con genoma AAA, dada su sensibilidad al virus. Se estima, que una vez introducido a ALC, su diseminación inicial podría suceder de manera paulatina, debido al reducido radio de acción del vector (definido por su rango de vuelo).

Se debe considerar la existencia de elementos condicionantes en esta región, para la diseminación de la enfermedad (material vegetal para siembra introducido por importaciones no controladas y presencia del insecto vector), que pueden acelerar su entrada, y basados en el porcentaje de daño reportado en los países productores afectados por este virus (equivalente a 55 %, 85 % y 90 %, según la efectividad de las medidas de control aplicadas) (Rao & Madem, 2020; SENASICA, 2019), se podría esperar tres escenarios en ALC, con base en la producción actual de 43 569 793 t, generándose una producción de: a) 19 606 407 t, b) 6 535 469 t, y c) 4 356 979 t, respectivamente.

La mitad de las enfermedades emergentes de las plantas se propagan a través de los viajes y el comercio mundial, mientras que su propagación por medios naturales, favorecida por los fenómenos meteorológicos, es el segundo factor más importante (Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF], 2021).

El incremento actual en el movimiento de artículos y personas pone en peligro y dificulta la vigilancia cuarentenaria en las fronteras de los países e incrementa el riesgo de introducción de patógenos peligrosos. La mejor estrategia es adoptar prácticas (exclusión, erradicación/confinamiento y el control) de manera preventiva en la bioseguridad, encaminadas a reducir la entrada de plagas exóticas (Colmenarez, 2020; Pérez-Vicente, 2015; Secretaría de la CIPF, 2021), donde se incluye el BBTV.

Es necesario hacer énfasis en campañas de divulgación sobre el reconocimiento de los síntomas del BBTV en campo por parte de los productores, control de poblaciones de insecto vector, regulaciones oficiales para el ingreso de germoplasma de musáceas con sus permisos sanitarios respectivos y cuarentena, todo ello dentro del marco de un plan de contingencia para cada país productor de la región de ALC.

Es evidente la brecha tecnológica para la identificación, detección y prevención de enfermedades cuarentenarias en los países del ALC, por lo que es necesaria la cooperación multilateral entre países que permitan generar conocimiento básico sobre patógenos locales, tecnologías rápidas y sensibles; además, en vigilancia y monitoreo, cuyo objetivo básico debe estar orientado a proteger los cultivos e incrementar la rentabilidad de los sectores rurales (Marini et al., 2020).

Alternativas de manejo

El éxito de los virus como patógenos y la severidad de la enfermedad que producen, están determinados por la interacción de las propiedades de la partícula viral, las propiedades de sus vectores, su ámbito de huéspedes y la influencia del ambiente sobre ellas. Por lo que su correcta caracterización e identificación son indispensables para establecer medidas adecuadas para su control (Rivera Herrero, 2000).

No existen productos químicos efectivos para el control del BBTV, ni clones comerciales resistentes y puede ser transmitido a través de plántulas de cultivo *in vitro*, provenientes de plantas madre infectadas (CABI, 2021). Su control efectivo una vez establecido en un área, solo es posible a través de la identificación temprana y eliminación

in situ de plantas infectadas con BBTV, con glifosato en dosis altas (20 mL/planta) inyectado a las plantas afectadas o sospechosas, seguido con el uso de plántulas provenientes de cultivo *in vitro* sanas (Mukwa et al., 2014; Zhang et al., 2018). Sumado a ello, el control de población del insecto vector es de vital importancia para evitar la dispersión hacia plantas vecinas sanas. No se recomienda por ningún motivo cortar las plantas, debido que dicha actividad propiciará el vuelo o escape de los áfidos infectados hacia otros sitios, lo que favorece la dispersión de la plaga (Alpízar & Morera, 2020).

Conocer de la relación vector-virus-huésped y el mecanismo de transmisión es esencial para desarrollar estrategias de control eficaz. Se ha demostrado que un solo áfido puede adquirir 861,04 copias del virus después de 24 h de acceso a la adquisición de la planta infectada y transmitir a plantas de cultivo de tejidos con un rendimiento de 16 %; mientras que cincuenta áfidos pueden adquirir 15 066,94 de copias virales y lograr la transmisión de este al 100 % en un tiempo mínimo de 21,6 días (Jebakumar et al., 2018).

El número de copias virales adquiridas por los áfidos se incrementa de forma gradual con el aumento del período de acceso a la adquisición en plantas infectadas. Se ha observado que cuanto mayor sea el número de copias virales en el vector, mayor será el porcentaje de transmisión y la expresión de los síntomas será más rápida, lo cual sucede de manera más violenta en plantas de cultivo de tejidos, por ser más vulnerables a la infección por BBTV en comparación con las plantas convencionales (Jebakumar et al., 2018).

Se han creado modelos para evaluar el comportamiento y las respuestas de estos patosistemas, los resultados en su aplicación sugieren estacionalidad en todos los parámetros evaluados, que están influenciados por cambios correlacionados en la precisión de la inspección, las temperaturas y la actividad de los áfidos. Estos hallazgos, demuestran cómo se pueden utilizar estos modelos para monitorear y pronosticar estrategias de manejo de enfermedades (Varghese et al., 2020).

Entre las alternativas de manejo a considerar, se indican las siguientes:

Genético: el grado de infección en las plantas, guarda relación con el desarrollo de los síntomas, que dependerá de algunos factores como las preferencias del insecto vector, rasgos morfológicos del huésped, las condiciones climáticas, entre otras; pueden existir materiales o plantas que pueden escapar de la infección, tales como *Musa coccínea* (especie silvestre) y el cultivar Kluai Teparot (ABBB / ABB), que presentan resistencia fisiológica (CABI, 2021; Ngatat et al., 2017; SENASICA, 2019; Tripathi et al., 2021; Vezina et al., 2021; Zhang et al., 2018).

Varios estudios señalan la existencia de genotipos con tolerancia al BBTV, cuyas plantas se presentan sin síntomas y con un rendimiento casi normal a las plantas libres del virus. Entre ellos, los genotipos *Musa balbisiana* tipo Tani (BB), ‘Kayinja’ (ABB), ‘FHIA-03’ (AABB), ‘Prata’ (AAB), ‘Gisandugu’ (ABB), ‘Pisang Awak’ (ABB), ‘Saba’ (ABB) y ‘Highgate’ (AAA, subgrupo ‘Gros Michel’), no manifestaron síntomas típicos de la enfermedad, después de veintiocho meses de observaciones una vez inoculados. Sin embargo, análisis moleculares en muestras tomadas de todas las plantas, revelaron la presencia del virus en ‘Pisang Awak’, ‘Saba’ y ‘Highgate’, los cuales podrían actuar como reservorios del virus (CABI, 2021; Ngatat et al., 2017; Niyongere et al., 2011).

Los genotipos con una o dos cargas de ‘balbisiana’ o genoma B (clones con genoma AAB, ABB), presentaron niveles bajos de infección o ausencia total de síntomas después de la inoculación, sin que eso significara que estaban libres del virus o en estado asintomático, por cuanto tendieron a ser más tolerantes al BBTV (Ngatat et al., 2017; Niyongere et al., 2011).

El uso de clones resistentes es la opción más viable, conveniente, eficaz y rentable, para minimizar el impacto de la enfermedad en la producción de musáceas comestibles. Herramientas como la edición del genoma basada en CRISPR/Cas, emergen para desarrollar materiales resistentes a virus en varios cultivos, incluido el banano (Tripathi et al., 2021). La disponibilidad de germoplasma para integrarlo a un sistema de regeneración, transformación genética y una secuencia del genoma completo del banano, la convierten en excelente a desarrollar a mediano plazo. Se ha establecido una sólida edición del genoma del banano basada en CRISPR / Cas9, que se puede aplicar en el desarrollo de variedades resistentes a enfermedades (Tripathi et al., 2021).

Control cultural: las cuarentenas es el principal medio para evitar la introducción del BBTV en áreas libres de la enfermedad (SENASICA, 2019). No obstante, una vez detectada se puede controlar mediante la erradicación *in situ* de las plantas enfermas con la aplicación de herbicidas sistémicos, previo acondicionamiento de estas con la aplicación alrededor de ellas de insecticidas para reducir el movimiento de insectos hacia plantas sanas.

Todos los restos vegetales, que incluyan además, cormo y retoños, deberán ser eliminados de raíz y ser tratados con herbicidas en el sitio para acelerar y garantizar su destrucción, para evitar la propagación del virus en posibles brotes vegetales. Esta actividad debe practicarse en todo el área de producción para evitar la reinfección rápida del material de siembra libre de virus (CABI, 2021).

El control del BBTV depende de la detección temprana realizada por personal técnico capacitado, además del uso de material vegetativo sano y esquemas de erradicación intensiva. En Hawái y Australia, se realiza la destrucción de plantas infectadas de manera mecánica (se excava y cortan los cormos) y se aplican sustancias químicas aprobadas para evitar la propagación (CTAHR, 2021; SENASICA, 2019).

Para la reposición de las áreas afectadas por el BBTV, se recomienda el uso de material de siembra sometido a certificación y libre de virus (CABI, 2021; Jekayinoluwa et al., 2020).

Con base en la hipótesis que las partículas del virus pueden invadir toda la planta, pero que al menos parte del meristemo puede estar libre de virus, se ha logrado obtener a través de técnicas de cultivo *in vitro*, 70 % de plantas sanas libres de BBTV, por lo que queda un 30 % de la población que representa peligro en potencia, que deberá ser evaluado (Tchatchambe et al., 2020).

Pruebas con meristemos (menores de 1 a 2 de mm), a las cuales se les aplicó terapia de calor, han tenido éxito en lograr una proporción de plántulas libres del BBTV. En este proceso lo ideal es la observación por un periodo de 8-12 meses en el invernadero, en caso de que el virus se reduzca a niveles indetectables, pero no eliminado (Thomas, 2015). Por cuanto, la fase de observación y cuarentena tienen prioridad.

Control químico: esta alternativa va dirigida al control de la población del insecto vector *Pentalonia nigronervosa*, lo cual conlleva a la disminución de la incidencia de la enfermedad (CABI, 2021; SENASICA, 2019). Las plantas infectadas y sus hijos deben ser asperjados, en la parte apical del pseudotallo donde emergen las hojas nuevas, con emulsiones de keroseno, diesel y aceite mineral y algunos insecticidas como dimetoato, diazinon y acefato (SENASICA, 2019).

En Australia, se realiza manejo integrado, al combinar control cultural y químico. Se inyecta la planta con sustancias químicas aprobadas (incluyen imidacloprid como ingrediente activo), además de rociar las plantas con spray que contenga aceite parafínico. El tratamiento se realiza en una periferia de 10 m radiales a partir de la planta enferma (SENASICA, 2019). Algunos resultados indican que al disminuir la población de insecto vector, se genera un efecto positivo sobre la incidencia de la enfermedad (CABI, 2021).

Control biológico: existen evidencias que señalan que algunas rizobacterias promueven el crecimiento vegetal y algunos endófitos son herramientas usadas para el control de enfermedades fúngicas y bacterianas en las plantas, pero también son capaces de controlar algunos de sus virus (Cotes et al., 2018).

Bajo condiciones controladas de invernadero, con el objetivo de conocer la eficacia en el biocontrol y reducción de BBTV, se analizó el impacto de la inducción de enzimas de defensa (*Pseudomonas fluorescens* CHA0 y Pf1 combinadas con quitina), las cuales se aplicaron en plantas infectadas de banano. Posterior a los siete meses del experimento, a través del método de diagnóstico ELISA, se determinó la eficacia de *P. fluorescens* con quitina, debido a que redujo la incidencia de BBTV y aumentó el rendimiento de los racimos de banano (Kavino et al., 2008).

Pruebas con bioformulaciones en mezcla de la rizobacteria *Pseudomonas fluorescens* (Pf1) y la cepa endofita *Bacillus* sp. (EPB22), fueron eficaces en la reducción de la incidencia de *Banana bunchy top virus*, bajo condiciones de invernadero (80 %) y en campo (52 %) (Harish et al., 2009).

Bacterias como *Pseudomonas* (PF1) y cepas de *Bacillus* (EPB22), han sido inoculadas en plantas de banano para reducir la incidencia de la BBTV, cuyos resultados han mostrado éxito, al disminuir entre 52-80 % la incidencia del patógeno (SENASICA, 2019).

Microorganismos como rizobacterias que promueven el crecimiento vegetal y los endófitos aún no han sido registrados para el control de virus, porque no se han evaluado en campo para el control de estos patógenos. Sin embargo, parecen tener un amplio espectro de control de enfermedades virales. En un futuro se esperarían más estudios al respecto. Una estrategia interesante en esta área es el uso de un endófito para el control del vector de la enfermedad viral (Cotes et al., 2018).

Varios enemigos naturales de los áfidos del banano, han sido introducidos en Hawái por el Departamento de Agricultura, se incluyen las avispas braconidas (*Lysiphlebius testaceipes*), mariquitas de manchas (*Coccinella punctata* var brucki), mariquitas variables (*Coelophora inaequalis*), mariquitas de diez puntos (*Coelophora pupillata*), mariquitas convergens (*Hippodamia convergens*), mariquitas de hombros amarillos (*Apolinus lividigaster*) y mariquitas diminutas de dos puntos (*Diomus notescens*), otros como crisopa parda (Neuroptera: Hemerobiidae) (CTAHR, 2021). No obstante, en Tonga, se ha liberado *Aphidius colemani*, una avispa parásita, en un intento de control biológico del áfido vector, pero sus efectos sobre la incidencia de la enfermedad han sido decepcionantes (CABI, 2021).

La liberación de enemigos naturales para bajar la población del áfido, no ha tenido mucho éxito en muchos países, debido a que las hormigas protegen las colonias (Arauz et al., 2017).

Medidas regulatorias

Los programas de erradicación de plagas deben estar dentro de los marcos legales fitosanitarios de cada país, para que de esa forma las medidas y regulaciones a aplicar sean efectivas y de obligatorio acatamiento (Dita et al., 2013). Bajo esta consideración, se podría utilizar como referencia el documento Plan de Contingencia para *Foc* RT4 (Dita et al., 2013), que recoge aspectos de los principales métodos de exclusión (con énfasis en la importancia de la producción y empleo de semilla sanas libres de patógenos) y medidas de control (químico, biológico, y culturales) encaminadas a prevenir y contener la dispersión de *Foc* R4T, así como la capacitación de técnicos y productores.

En términos generales, el hallazgo de cualquier planta con síntomas típicos de la enfermedad debe ser considerado como un evento sospechoso de BBTV, para lo cual se recomienda elaborar un informe (en menor tiempo posible), a fin de que pueda someterse de inmediato a la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria, para que contacte los laboratorios de diagnóstico o los expertos de ser necesario, para certificar la veracidad objetiva del caso.

El informe sobre presencia de BBTV debería contemplar: a) nombre común y científico de la plaga, b) nombre e información de contacto (identificador del evento), c) nombre común y científico del huésped de la plaga, d) localización de la detección que incluya su georeferenciación, e) fecha de detección, f) probable origen de la incursión de la plaga y su vía de introducción, g) síntomas en el huésped, h) método de detección (observación de plantas con síntomas típicos de la enfermedad en hojas, pseudotallo y rizoma, diagnóstico presuntivo en laboratorio, muestreo aleatorio, etc.), i) estimación de la extensión, incidencia y severidad del brote observado, j) probabilidades de establecimiento y dispersión de la plaga en el lugar del brote (Dita et al., 2013). De igual manera, se requiere estimar el área potencial de riesgo de dispersión de la plaga en el lugar del brote; además, detalles de cualquier medida que se haya tomado en el lugar de la incursión de la plaga a la fecha del informe (tratamiento o destrucción del material huésped, establecimiento de áreas bajo cuarentena y/o restricciones, rastreo de circunstancias anteriores y posteriores a la detección del brote) (Dita et al., 2013).

Ante la existencia de un caso sospechoso de BBTV, se debe iniciar una fase de alerta de protección fitosanitaria contra un probable brote de una plaga cuarentenaria, y la falta de confirmación del diagnóstico no será obstáculo para que se implementen acciones de emergencia contempladas, orientadas a su contención y erradicación (eliminación de huéspedes con síntomas y/o potencialmente infectados y establecimiento de áreas bajo cuarentena con restricción de movilización de vías de dispersión desde el área infestada) (CABI, 2021; Dita et al., 2013; SENASICA, 2019).

Al aplicar las medidas de erradicación deberán tomarse muestras de las plantas que se eliminen para la confirmación posterior de la plaga. Es de suma importancia tener en cuenta que para la toma, manipulación y transporte de las muestras, deben acatarse las medidas de bioseguridad necesarias para evitar la dispersión de la plaga (CABI, 2021; Dita et al., 2013).

La enfermedad BBTV no ha sido erradicada de ningún país donde ocurre, pero ha sido posible eliminarla de ciertos distritos bananeros en Australia, donde se mantiene bajo control mediante una estricta legislación del gobierno estatal que controla la fuente y el movimiento del material de siembra, controla la emisión de permisos de siembra y la destrucción de toda planta con síntomas que incluya las silvestres. De igual manera, se realiza un ambicioso programa de erradicación que se basa en el reemplazo de las plantaciones donde la enfermedad ocurre, con base en material de siembra sano proveniente de cultivo de tejidos (CABI, 2021; SENASICA, 2019).

Otra iniciativa para el control de propagación del BBTV se ha generado en África, denominada ALIANZA, la cual tiene como objetivo contener la propagación de BBTV de áreas afectadas por enfermedades a nuevas regiones, a través de regulaciones de cuarentena y la recuperación de la producción de banano mediante la erradicación de focos infectados y la replantación con material de siembra sano (CABI, 2021).

Se ha planteado que las rutas de vigilancia se establecerán en zonas de riesgo, como traspatios, zonas turísticas, centros de acopio, viveros y almacenamiento, entre otros (SENASICA, 2019). Por cuanto, se considera que las plantas de banano infectadas en campos abandonados o patios traseros residenciales, sirven como reservorio de infección, lo que complica el control de la enfermedad (CTAHR, 2021; Jekayinoluwa et al., 2020). La detección temprana seguida de la rápida destrucción de las plantas enfermas es la clave para la mitigación exitosa de BBTV.

Durante el desarrollo de las actividades de vigilancia de plagas cuarentenarias de musáceas, se deben de revisar los brotes tiernos de la planta para identificar la presencia de áfidos, que pueden ser transmisores de *Banana bunchy top virus*; si se llegara a detectar, se debe de realizar la colecta y enviar para diagnóstico (SENASICA, 2019). La mayoría de los países que integran la región de ALC, disponen de un marco legal entorno a disposiciones o reglamentos con relación a *Banana bunchy top virus*.

América Latina y el Caribe se caracterizan por presentar intenso intercambio comercial y movimiento de personas y productos, por lo que existe alto riesgo de introducción de nuevas plagas y especies invasoras. Entre la priorización de fitopatógenos a nivel regional, se observa en primer lugar a *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (raza 4 tropical) en banano, y el BBTV en tercer lugar, seguido por *Xanthomonas campestris pv. musacearum* (Colmenarez, 2020). Por cuanto se hace necesario la creación de una plataforma de colaboración, que implica trabajo coordinado con los Ministerios de Agricultura, Organizaciones Regionales de Protección Fitosanitaria, Comité Técnico Regional para la prevención y control de plagas emergentes (Colmenarez, 2020). A partir de allí, se observa la necesidad de resaltar: a) la importancia del desarrollo de la priorización de plagas y enfermedades y evaluación de los posibles puntos de entrada de plagas al país/región, b) la inteligencia fitosanitaria- enfoque regional- reforzado con los sistemas de alerta temprana, importancia de los datos, sistemas de diagnóstico y transferencia de información y tecnologías, c) el plano de acción y contingencia- cuarentena de prevención, establecimiento de cooperación entre países de América Latina y del Caribe, y d) crear plataformas de intercambio de información (Colmenarez, 2020).

En Venezuela, el BBTV es catalogada como plaga ausente y se encuentra reglamentada bajo la Gaceta Oficial desde el año 1990, resolución 157, donde menciona “la prohibición de importación de semillas (hijos), plantas y partes de musáceas, al considerar que existe el peligro que las importaciones indiscriminadas de plantas o partes de plantas de estas especies sirvan de vehículo para que se introduzcan al territorio nacional plagas o enfermedades a dichas musáceas, como “Sigatoka negra” (*Pseudocercospora fijiensis* sin. *Mycosphaerella Fijiensis*), “Bunchy top virus (BBTV)” y la nueva raza 4 de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, 2017).

Esta normativa aún está vigente y forma parte de los reglamentos utilizados para el Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI), en la actualidad reglamentada bajo la Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.302 del 1 junio de 2017 (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, 2017).

Conclusiones

La diseminación de enfermedades se origina a través de procesos naturales y/o antropogénicos. Los viajes y el comercio intercontinental son considerados como los factores más importantes y determinantes en la propagación de enfermedades emergentes.

Banana Bunchy Top (BBTV), es señalada como la enfermedad viral más peligrosa que ataca a las musáceas y su distribución intercontinental obedece al movimiento de material vegetal enfermo. Por la magnitud de los daños causados en todos los países donde ha sido reportada, su entrada a la región de América Latina y El Caribe (ALC) pudiera ser catastrófica e impactar la seguridad alimentaria de muchos países, además de generar grandes pérdidas económicas.

La existencia del insecto vector en ALC y las constantes importaciones de material de siembra para renovar áreas afectadas por la enfermedad vascular marchitez por *Fusarium* raza 4 tropical (*Foc* R4T), de reciente reporte en el continente americano (año 2019), incrementan el nivel de riesgo en esta región ante BBTV. Por cuanto, se hace necesario desarrollar programas de detección temprana y erradicación, con énfasis en su identificación y reconocimiento en campo, por parte de técnicos y productores. Los entes regionales (OIRSA, Alliance Bioversity-CIAT, CIRAD, entre otros), que han demostrado rápida capacidad de respuesta ante casos como *Foc* RT4 en ALC, tendrán el mayor desafío.

Referencias

- Alpízar, G., & Morera, H. (2020). *Aprendamos sobre el Banana BunchyTop Virus BBTV*. Servicio Fitosanitario del Estado. <https://bit.ly/3m3XwSd>
- Anhalt, M. D., & Almeida, R. P. P. (2008). Effect of temperature, vector life stage, and plant access period on transmission of Banana bunchy top virus to banana. *Phytopathology*, 98(6), 743–748. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-6-0743>
- Arauz, N., Cortez, H., & Moreno, L. (2017). *Guía de manejo de plagas (lista verde): Afido negro del banano*. Plantwise. <https://bit.ly/3pU6MJH>
- Betancourt, M. (2020). *Modelo para la introducción de materiales promisorios de musáceas por su resistencia a Foc R4T en Colombia* [ponencia]. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. <https://bit.ly/33keYeu>
- Bressan, A. & Watanabe, S. (2011). Immunofluorescence localisation of *Banana bunchy top virus* (family Nanoviridae) within the aphid vector, *Pentalonia nigronervosa*, suggests a virus tropism distinct from aphid-transmitted luteoviruses. *Virus Research*, 155, 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.12.005>
- Centre for Agricultural Bioscience International. (2021). *Invasive Species Compendium. Banana bunchy top virus (bunchy top of banana)*. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8161>
- College of Tropical Agriculture and Human Resources. (2021). Chapter II: Key pests and pathogens of banana in the pacific. In K. -H. Wang, J. Uyeda, & J. Sugano (Eds.), *Banana pest and disease management in the Tropical Pacific: A guidebook for banana growers*. University of Hawaii at Manoa. <https://bit.ly/3eQpwbj>

- Colmenarez, Y. (2020). *Importancia de establecimiento de sistemas de información y alertas tempranas para plagas presentes y potenciales de la papa en América Latina*. CABI- América Latina. <https://bit.ly/3FOviCV>
- Cotes, A. M., Mosher, S., Barrera, G. P., Kobayashi, S., & Elad, Y. (2018). *Nuevas estrategias para el control biológico de fitopatógenos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34158>
- Dita, M., Barquero M., Heck D., Mizubuti E., & Staver C. (2018). Fusarium wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 1468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
- Dita, M., Echegoyén, P., & Pérez-Vicente, L. (2013). *Plan de Contingencia Ante un Brote de la Raza 4 Tropical de Fusarium oxysporum f.sp. cubense en un país de la región del OIRSA*. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. <https://bit.ly/3dSDDsQ>
- Döring, T. (2014). How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*, 165(1), 3–26. <https://doi.org/10.1111/aab.12142>
- EKOS. (2021, enero 5). *2020 fue un año histórico del sector bananero de Ecuador*. <https://bit.ly/3FBaZIG>
- González, X. (2019). *Sector Bananero genera 50 000 empleos según ASBAMA*. AGRONEGOCIOS. <https://bit.ly/32nxnY0>
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Balasubramanian, P., & Samiyappan, R. (2009). Induction of defense-related proteins by mixtures of plant growth promoting endophytic bacteria against *Banana bunchy top virus*. *Biological Control*, 51(1), 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.06.002>
- Jebakumar, R., Balasubramanian, V., & Selvarajan, R. (2018). Virus titre determines the efficiency of *Pentalonia nigronervosa* (Aphididae: Hemiptera) to transmit banana bunchy top virus. *Virus Disease*, 29(4), 499–505. <https://doi.org/10.1007/s13337-018-0493-x>
- Jekayinoluwa, T., Tripathi, L., Tripathi, J., Ntui, V., Obiero, G., Muge, E., & Dale, J. (2020). RNAi technology for management of banana bunchy top disease. *Food and Energy Security*, 9(4), Article e247. <https://doi.org/10.1002/fes3.247>
- Jones, R. (2009). Plant virus emergence and evolution: origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. *Virus Research*, 141(2), 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.07.028>
- Jones, R. (2014). Plant virus ecology and epidemiology: historical perspectives, recent progress and future prospects. *Annals of Applied Biology*, 164(3), 320–347. <https://doi.org/10.1111/aab.12123>
- Jones, R. (2021). Global plant virus disease pandemics and epidemics. *Plants*, 10(2), Article 233. <https://doi.org/10.3390/plants10020233>
- Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., & Samiyappan, R. (2008). Induction of systemic resistance in banana (*Musa spp.*) against Banana bunchy top virus (BBTV) by combining chitin with root-colonizing *Pseudomonas fluorescens* strain CHA0. *European Journal of Plant Pathology*, 120(4), 353–362. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9223-8>
- Kumar, P., Hanna, R., Alabi, O., Soko, M., Oben, T., Vangu, G., & Naidu, R. (2011). Banana bunchy top virus in sub-Saharan Africa: investigations on virus distribution and diversity. *Virus Research*, 159(2), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2011.04.021>

- Kumar, P. L., Selvarajan, R., Iskra-Caruana, M. L., Chabannes, M., & Hanna, R. (2015). Biology, etiology, and control of virus diseases of banana and plantain. *Advances in Virus Research*, *91*, 229–269. <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2014.10.006>
- Lokossou, B., Gnanvossou, D., Ayodeji, O., Akplogan, F., Safiore, A., Migan, D., Pefoura, A., Hanna, R., & Kumar, P. (2012). Occurrence of Banana Bunchy top virus in banana and plantain (*Musa* sp.) in Benin. *New Disease Reports*, *25*(1), Article 13. <http://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.013>
- Manzo-Sánchez, G., Orozco-Santos, M., Martínez-Bolaños, L., Garrido-Ramírez, E., & Canto-Canche, B. (2014). Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *32*(2), 89–107. <https://bit.ly/30pIMp0>
- Marini, D., Maeso, D., Bustamante, A., & Prieto, H. (2020). *Estado del arte de la plataforma regional para la prevención y detección precoz de enfermedades cuarentenarias en frutales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericana de Desarrollo. <https://bit.ly/3s2oMnS>
- Martínez, G., Delgado, E., Rey, J. C., Jiménez, C., Pargas, R., & Manzanilla, E. (2009). Producción del plátano en Venezuela y el mercado mundial. *INIA HOY*, *5*, 125–138. <https://bit.ly/3s780nK>
- Martínez-Solorzano, G. E., & Rey-Brina, J. C. (2021). Bananos (*Musa* AAA): Importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, *32*(3), 1034–1046. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43610>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. (2020). Marchitez por Fusarium raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*, *31*(1), 259–276. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37925>
- Mauck, K. R., Chesnais, S., & Shapiro, L. R. (2018). Chapter Seven - Evolutionary determinants of host and vector manipulation by plant viruses. *Advances in Virus Research*, *101*, 189–250. <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2018.02.007>
- Ministerio del Poder Popular para la agricultura y Tierras. (2017, junio 1). *Resolución DM/N°022/2017. Mediante la cual se corrige por error material la Resolución DM/N 017/2017, de fecha 20 de marzo de 2017, donde se actualiza la lista de plagas reglamentadas para la República Bolivariana de Venezuela* (Extraordinaria N° 6.302). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. <https://bit.ly/3IPndQ7>
- Mukwa, L. F. T., Muengula, M., Zinga, I., Kalonji, A., Iskra Caruana, M. L., & Bragard, C. (2014). Occurrence and distribution of Banana bunchy top virus related agro-ecosystem in South Western, Democratic Republic of Congo. *American Journal of Plant Sciences*, *5*(5), 647–658. <http://doi.org/10.4236/ajps.2014.55079>
- Ngatat, S., Hanna, R., Kumar, P. L., Gray, S. M., Cilia, M., Ghogomu, R. T., & Fontem, D. A. (2017). Relative susceptibility of *Musa* genotypes to banana bunchy top disease in Cameroon and implication for disease management. *Crop Protection*, *101*, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.018>
- Niyongere, C., Ateka, E., Losenge, T., Blomme, G., & Lepoint, P. (2011). Screening *Musa* genotypes for banana bunchy top disease resistance in Burundi. *ISHS Acta Horticultura*, *897*, 439–447. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.897.60>
- Niyongere, C., Losenge, T., Ateka, E. M., Nkezahizi, D., Blomme, G., & Lepoint, P. (2012). Occurrence and distribution of banana bunchy top disease in the Great Lakes region of Africa. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, *6*(1), 102–107. <https://bit.ly/3EQy4qB>
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (s.f.). *Base datos: Superficie, producción y exportación de banano y plátano*. FAOSTAT. Recuperado el 5 de agosto, 2021 de <https://www.fao.org/faostat/es/#home>

- Pérez-Vicente, L. (2015). Las mejores prácticas para la prevención de la raza 4 tropical de la marchitez por *Fusarium* y otras enfermedades exóticas en fincas bananeras. *Fitosanidad*, 19(3), 243–250. <https://bit.ly/3GH6o86>
- Qazi, J. (2016). Banana bunchy top virus and the bunchy top disease. *Journal of General Plant Pathology*, 82(1), 2–11. <https://doi.org/10.1007/s10327-015-0642-7>
- Rajabaskar, D., Bosque-Pérez, N. A., & Eigenbrode, S. D. (2014). Preference by a virus vector for infected plants is reversed after virus acquisition. *Virus Research*, 186, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2013.11.005>
- Rao, G., & Madem, R. (2020). Chapter 38 - Overview of yield losses due to plant viruses. In L. Awasthi (Ed.), *Applied plant virology: Advances, detection and antiviral strategies* (pp. 531–562). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818654-1.00038-4>
- Rivera Herrero, C. (2000, julio 31 - agosto 4). *Situación actual de los virus de Musa*. [Presentación en Conferencia]. Memorias XIV Reunión. Acorbat. <https://bit.ly/3m6NNKJ>
- Robson J., D. Wright M. G., & Almeida, R. P. P. (2007). Biology of *Pentalonia nigronervosa* (Hemiptera, Aphididae) on banana using different rearing methods. *Environmental Entomology*, 36(1), 46–52. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2007\)36\[46:BOPNHA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2007)36[46:BOPNHA]2.0.CO;2)
- Safari, M. I., Tougeron, K., Bragard, C., Fauconnier, M. L., Bisimwa Basengere, E., Walangululu Masamba, J., & Hance, T. (2021). Banana tree infected with Banana Bunchy Top Virus attracts *Pentalonia nigronervosa* aphids through increased volatile organic compounds emission. *Journal of Chemical Ecology*, 47(8), 755–767. <https://doi.org/10.1007/s10886-021-01298-3>
- Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. (2021). *Revisión científica del impacto del cambio climático en las plagas de las plantas. Un desafío mundial en la prevención y la mitigación de los riesgos de plagas en la agricultura, la silvicultura y los ecosistemas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://doi.org/10.4060/cb4769es>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). *Cogollo racimoso del banano (Banana bunchy top virus)* (Ficha Técnica No. 31). <https://bit.ly/31Z0XCn>
- Stainton, D., Martin, D. P., Muhire, B. M., Lolohea, S., Halafih, M., Lepoint, P., Blomme, G., Crew, K. S., Sharman, M., Kraberger, S., Dayaram, A., Walters, M., Collings, D. A., Mabvakure, B., Lemey, P., Harkins, G. W., Thomas, J. E., & Varsani A. (2015). The global distribution of Banana bunchy top virus reveals little evidence for frequent recent, human-mediated long distance dispersal events. *Virus Evolution*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.1093/ve/vev009>
- Tchatchambe, N. B. J., Ibanda, N., Adheka, G., Onautshu, O., Swennen, R., & Dhed'a, D. (2020). Production of banana bunchy top virus (BBTV)-free plantain plants by *in vitro* culture. *African Journal of Agricultural Research*, 15(3), 361–366. www.doi.org/10.5897/AJAR2019.14522
- Thomas, J. E. (Ed.) (2015). *Technical guidelines for the safe movement of Musa germplasm* (3rd ed.). Bioversity International. <https://bit.ly/3Fqr6cZ>
- Thomas, J. E., Iskra-Caruana, M. L., & Jones, D. R. (1994). *Enfermedad del cogollo racimoso del banano o "banana bunchy top disease"*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain. <https://www.musalit.org/seeMore.php?id=13837>
- Tripathi, L., Ntui, V. O., Tripathi, J. N., & Kumar, P. L. (2021). Application of CRISPR/Cas for diagnosis and management of viral diseases of banana. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 609784. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.609784>

- Varghese, A., Drovandi, C., Mira, A., & Mengersen, K. (2020). Estimating a novel stochastic model for within-field disease dynamics of banana bunchy top virus via approximate Bayesian computation. *PLoS Computational Biology*, *16*(5), Article e1007878. www.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007878
- Vezina A., Lepoint P., & Van den Bergh, I. (2021). *Bunchy top virus*. ProMusa. <https://www.promusa.org/Bunchy+top>
- Watanabe, S., Greenwell, A. M., & Bressan, A. (2013). Localization, concentration, and transmission efficiency of Banana bunchy top virus in four asexual lineages of *Pentalonia* aphids. *Viruses*, *5*(2), 758–776. www.doi.org/10.3390/v5020758
- Zhang, J., Borth, W., Lin, B., Melzer, M., Shen, H., Pu, X., Sun, D., Nelson, S., & Hu, J. (2018). Multiplex detection of three banana viruses by reverse transcription loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP). *Tropical Plant Pathology*, *43*(6), 543–551. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0257-6>