



ARTÍCULO ORIGINAL

Peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio para control de gomosis en el cultivo de naranja Valencia

Luis Felipe Juárez-Santillán^{1*}, Yazmín Tejada-Tapia¹, Juan Pablo Reyes-Gómez¹, José de Jesús López-Ceballos¹, Keren Martínez-Aguilar¹ y Julio Alfonso Armenta-Barrios¹

¹Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Área académica de Agrobiotecnología, Campus Gutiérrez Zamora, Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima Km 2.5 Gutiérrez Zamora, Veracruz, México, Tel.: 7668451952

Fecha de recepción: 24 de junio de 2022; fecha de aceptación del artículo: 08 de julio de 2022.

PALABRAS CLAVE

Enfermedades en cítricos, *Phytophthora* spp, pudrición del tallo, naranja

Resumen

La enfermedad denominada gomosis causada por *Phytophthora* spp, provoca la pérdida de plantas adultas de naranjo en el estado de Veracruz, en algunas partes del país el número de árboles muertos asciende del 3 al 5%. El peróxido de hidrógeno (H₂O₂) es una especie reactiva de oxígeno (ERO) que está asociado a las respuestas de defensas de la planta ante factores bióticos y abióticos. Mientras que el carbonato de sodio está asociado a elevar el pH que inside en la reducción del crecimiento micelial y producción de esporas.

El objetivo de este trabajo fue determinar si el peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio reducen los daños causados por *Phytophthora* spp en naranja Valencia. Para lograr el objetivo se planteó aplicar dosis de H₂O₂ a nivel radicular y foliar; así como bicarbonato solo a nivel foliar, durante un periodo de tres meses. Los principales resultados indican que, los daños causados por el oomiceto desaparecen en tallo en un periodo de 30 a 40 días, además se observó desarrollo de brotes.

Después de 60 días la enfermedad de gomosis en plantas de naranja desaparece sin mostrar indicios de una nueva reinfección. Estos resultados son factibles de ser utilizados por productores debido a que el costo de los insumos es menor que con el uso de productos convencionales, además se tiene la ventaja de no dañar al ambiente por lo que también es factible el uso en la agricultura orgánica.

<https://doi.org/10.56382/tdis.remcid.2022.1.1.15.22>

Correspondencia: Luis Felipe Juárez-Santillán. Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Área académica de Agrobiotecnología, Campus Gutiérrez Zamora, Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima Km 2.5 Gutiérrez Zamora, Veracruz, México, Tel.: 7668451952, correo electrónico: luis.santillan@utgz.edu.mx

ISSN: 2954-498X · e-ISSN: 2954-4998. - Revista Multidisciplinaria de Ciencia Innovación y Desarrollo © 2022. Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora. Todos los derechos reservados

KEYWORDS

Citrus diseases, gummosis, *Phytophthora* spp, stem rot, orange

Abstract

The disease called gummosis caused by *Phytophthora* spp. has caused the loss of orange crops in the state of Veracruz. Therefore, the main objective of this work was to propose a treatment with hydrogen peroxide and sodium bicarbonate for the elimination of this disease. To achieve this objective, H₂O₂ doses were applied at the root and foliar levels, and bicarbonate only at the foliar level for a period of three months. The main results indicate that, in a period of one to one and a half months, the disease (gummosis) in orange plants disappears without showing signs of new appearance. These results are promising so that the treatment used here can be used by producers in the region of Gutiérrez Zamora, Veracruz, which represents a great advantage due to the lower cost and high efficiency of the work carried out.

Introducción

Los cítricos son cultivados en los cinco continentes; en algunos países productores se les considera como la fruta de mayor importancia, tanto por la superficie cultivada, como por la producción y el consumo. Datos del 2019 indican que en México la superficie cultivada de cítricos fue de 590 000 ha y un volumen de producción de ocho millones de toneladas (SIAP, 2019); de las cuales 558 mil corresponden a naranja.

La producción de cítricos se ve afectada por el daño de plagas y enfermedades (Zhang *et al.*, 2012), que se traduce en pérdidas económicas.

Las enfermedades en cítricos son causadas por hongos, oomicetos, virus y bacterias. Los hongos junto con oomicetos, son grupos de microorganismos que conforman la mayoría de los agentes fitopatógenos en el género *Citrus* (Baraona y Sancho, 2000) y su daño puede manifestarse en raíces, troncos, ramas, hojas y frutos (Zhao *et al.*, 2015; Showler, 2017).

Dentro de las enfermedades fúngicas destacan: *Mycosphaerella citri* y *Lasioidiploida theobromae* y *Phytophthora* spp., un oomiceto (Zhao *et al.*, 2015; García-Martín *et al.*, 2018). Estos patógenos provocan lesiones y pudrición del tallo (Yan *et al.*, 2017), manchas necróticas en hojas (Silva *et al.*, 2015), defoliación del árbol (Picos-Muñoz *et al.*, 2015), pudrición de frutos y raíces, disminuyen el vigor y la producción del árbol (Showler, 2017) y por último la muerte

(Graham *et al.*, 2013). La enfermedad denominada gomosis, causada por *Phytophthora* spp., causa entre el 3 al 5 % de la muerte anual de cítricos. Para mitigar los daños causados por esta problemática se debe hacer la supervisión del cultivo y la detección de los patógenos en la primera fase de infección para disminuir su incidencia (Martinelli *et al.*, 2015).

En este trabajo se evaluó el uso de productos alternos a fungicidas convencionales para reducir la incidencia de la gomosis y sin efectos negativos en el ambiente. El objetivo fue determinar si la aplicación de peróxido de hidrógeno y bicarbonato tienen un efecto en la disminución del desarrollo del agente causal de la gomosis tanto a nivel foliar como radicular en plantas adultas establecidas en campo.

En el cultivo de cítricos la infección por *Phytophthora* provoca podredumbre del cuello y raíces, gomosis y aguado. La gomosis de los cítricos puede ser causada por más de 12 especies de *Phytophthora*, entre ellos *P. parasitica*, *P. citrophthora*, *P. citricola*, *P. palmivora* y *P. criptogea* entre las más importantes (Acosta-Pérez *et al.*, 2012).

La morfología del micelio de *Phytophthora* spp., es cenocítica con colonias algodonosas de color blanco (imagen 1a) (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2016). La ontogenia del esporangióforo es simple y los esporangios son papilados, caducos, de forma fusiforme con inserción de pedicelo largo y descentrado (imagen 1b) (Hanumanthappa *et al.*, 2018).

Los principales factores que influyen en la proliferación y dispersión de *Phytophthora* spp son: lluvia, escorrentía, sistemas de riego por aspersión, estancamiento de agua, variedades susceptibles e injertos cercanos al suelo (Baraona y Sancho, 2000), humedad relativa mayor a 80% y temperaturas de 28 °C a 32 °C (Vicent, 2011). La infección inicia al nivel del suelo por las zoosporas que se transportan por medio del agua, llegando al tronco y bajan a las raíces (Srinivasulu *et al.*, 2018).

La gomosis del tallo se manifiesta cerca del suelo, en la unión del portainjerto y la variedad (imagen 1c), el patógeno anilla el tallo, afecta la corteza de la raíz hasta descomponer las raíces fibrosas (Yan *et al.*, 2017). Esto provoca que disminuya la absorción de agua y nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro y magnesio. En consecuencia, el árbol presenta clorosis, defoliación, menor crecimiento vegetativo y producción de fruto (Imagen) (Tanoi y Kobayashi, 2015; Srivastava y Shirgure, 2018).

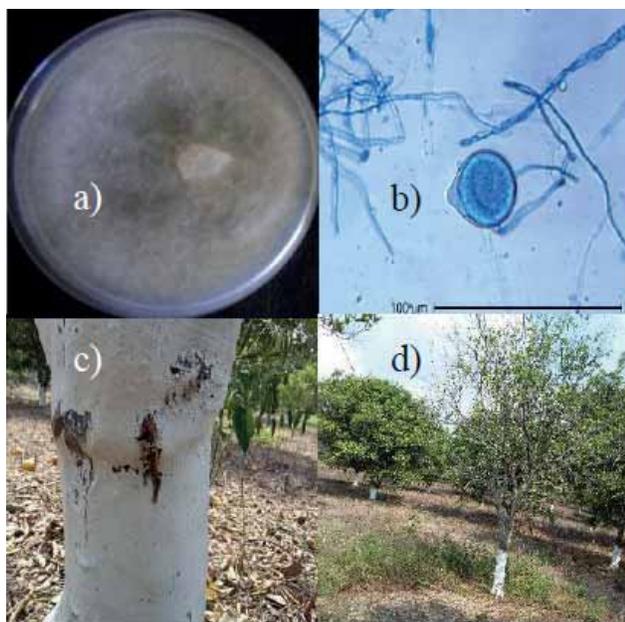


Imagen 1. a) crecimiento *in vitro* de *Phytophthora* spp.; b) micelio y esporangio de *Phytophthora*; c) goma en el tronco; y d) árbol con síntomas de gomosis. Tomada de: Sáenz-Pérez *et al.*, 2019

Un estudio realizado de junio del 2016 a mayo de 2017 encontró que hubo un aumento de *Phytophthora* spp de un 38.53 % a 87.58 %, lo cual se atribuye al aumento de humedad del suelo, la humedad relativa y la disminución de la temperatura del aire; también hubo correlación positiva entre precipitación, humedad del suelo, humedad relativa, conductividad eléctrica del suelo con la progresión de la enfermedad y correlación inversa con la temperatura del aire (Choudhari *et al.*, 2018).

En tratamientos para el control de *Phytophthora* spp se usan químicos persistentes, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente. Los tratamientos emplean fosfitos, sulfato de cobre (Graham y Feichtenberger, 2015) y fosetil aluminio en conjunto con propamobarb (Pabón-Villalobos y Cataño-Zapata, 2015).

En otro estudio se emplearon Tiofanato y metil (Topsin-M®), clorotalonil y metalaxil (Success®) y Azufre elemental (Kumulus®) como agentes fúngicos contra *Phytophthora* spp., a tres diferentes concentraciones (100, 200 y 300 ppm); los resultados mostraron que todos los fungicidas inhibieron significativamente el crecimiento micelial de *P. nicotianae* al tercer, quinto y séptimo día a diferentes concentraciones. Topsin-M proporcionó un mayor porcentaje de inhibición, 58.3 %, 56.4 % y 51.3 %, al tercer, quinto y séptimo día, respectivamente, a concentraciones de 100 a 300 ppm. El porcentaje de inhibición mínimo fue proporcionado por Success 15.1 %, 10.3 % y 16.6 %. El crecimiento micelial de *P. citrophthora* también fue inhibido significativamente por todos los fungicidas al tercer, quinto y séptimo día a diferentes concentraciones. Topsin-M mostró mejores resultados contra *P. citrophthora* e inhibió el crecimiento micelial al 71.7 %, 66.6 % y 60.4 %, respectivamente, al tercer, quinto y séptimo día. El porcentaje mínimo de inhibición fue proporcionado por oxicloruro de cobre al 22 %, 15.6 % y 9.3 %, y Kumulus al 16.9 %, 8.3 % y 7.3 % a concentraciones de 100-300 ppm en intervalos de días de 3, 5 y 7 (Iqbal *et al.*, 2020).

También, se han empleado tratamientos biológicos haciendo uso del hongo antagonista *Trichoderma*, y patrones resistentes al patógeno como *Citrango Troyer*, *Citrango Carrizo*, Swingle Citrumelo CPB 4475, *Poncirus trifoliata* y *Citrus aurantium* los cuales han representado una buena opción para el combate del patógeno (Lucas y Beltrán, 2004 y Adedeji *et al.*, 2010).

Este estudio se realizó en una plantación que se ubica en la comunidad del Chote perteneciente al municipio de Papantla. El objetivo de este trabajo fue determinar si el peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio reducen los daños causados por *Phytophthora* spp en naranja Valencia. Los resultados de este trabajo se pretende que sean replicados en más cultivos, debido a la alta insidencia de la enfermedad que ha ido debastando cultivos de cítricos.

Material y métodos

a. Material vegetal

Las plantas que se usaron para el ensayo fueron de naranja variedad Valencia de una edad de 8 años aproximadamente las cuales estaban en plena producción. La plantación se ubica en la comunidad del

Chote perteneciente al municipio de Papantla, Veracruz. La temperatura media fue de 28 °C y una humedad relativa del 60 %.

b. Diseño experimental

Para el ensayo se usaron 10 plantas como repeticiones entre tratamientos. Se consideraron plantas con la aplicación de peróxido de hidrógeno más bicarbonato de sodio y plantas control las cuales no se les realizó ningún tratamiento. Las plantas fueron elegidas por una alta incidencia de la enfermedad. En las plantas se realizaron un total de 6 aplicaciones de la siguiente forma: 4 durante un mes en un intervalo de una por semana y dos aplicaciones posteriores, una cada 15 días.

Se tomaron fotografías antes de cada aplicación durante 3 meses.

La evaluación del efecto del tratamiento fue cualitativa.

c. Aplicación del tratamiento

Antes de iniciar con el tratamiento se retiró el exceso de goma producida por la planta, tejido dañado y ramas secas con una navaja previamente desinfectada con etanol al 70 %. La desinfección se realizó antes de usarse en un árbol nuevo y en al menos tres ocasiones durante la eliminación de signos de la enfermedad en un mismo árbol. Como se observa en la imagen 2, el peróxido de hidrógeno se aplicó vía drench dirigido a la zona radical en donde previamente se realizaron 5 huecos con una barrena equidistantes alrededor del árbol, en cada hueco se aplicaron 50 ml de peróxido de hidrógeno, en la parte foliar se empleó peróxido de hidrógeno al 0.03 % v/v, al día siguiente se aplicó bicarbonato de forma foliar al 0.8 % p/v a pH 8.0. Las aplicaciones foliares se realizaron con ayuda de una aspersora manual.

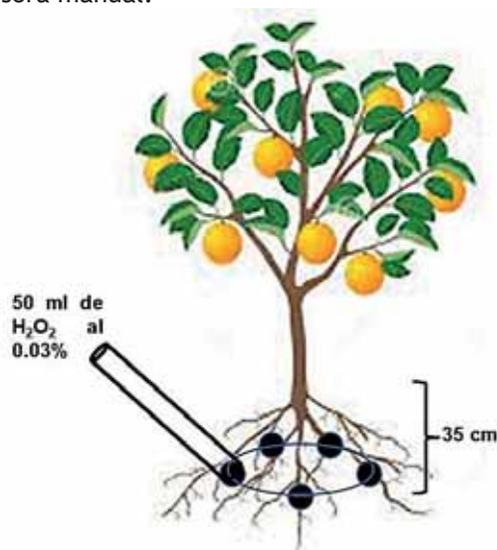


Imagen 2. Esquema general de tratamiento

La aplicación de estas soluciones debe hacerse en toda la planta y principalmente en donde fueron saneadas las lesiones para conocer de manera cualitativa la disminución del daño.

Resultados

Los resultados se analizaron de forma cualitativa. Como se observa en la imagen 3, todos los tallos de los árboles de naranja que se les realizó el tratamiento mostraban un daño avanzado por *Phytophthora* spp (gomosis). La presencia de infección disminuyó en los dos meses después de que se inició el tratamiento, el tallo de los árboles mostraron una cicatriz seca, sin gomosis ni indicios de la presencia del patógeno, lo que se traduce en la conducción adecuada de agua y nutrientes a la parte foliar.

Es importante mencionar que originalmente se plantaron más aplicaciones, sin embargo estas se redujeron a seis como se menciona en la metodología debido a la presencia de lluvias al inicio del tratamiento. A pesar de lo anterior, el tratamiento mostró eficacia para poder controlar gomosis, algunas ramas se secó la gomosis y no se observó un progreso de la enfermedad.

Algo característico del tratamiento aplicado, es que la corteza que estaba afectada por la goma, se empezó a desprender del tallo, y a la par iba desarrollando tejido joven, sin aparición de goma como se observa en la imagen 4. El tratamiento se aplicó dos veces por mes para poder eliminar de fondo la goma causada por *Phytophthora* spp. Es muy probable que el peróxido aplicado en raíz, esté propiciando una regeneración, al estar eliminando a *Phytophthora* spp, recordar que el H_2O_2 es un oxidante el cual puede propiciar la eliminación de hongos y oomicetos patógenos.



Imagen 3. Evolución de la enfermedad causada por *Phytophthora* spp. durante tres meses

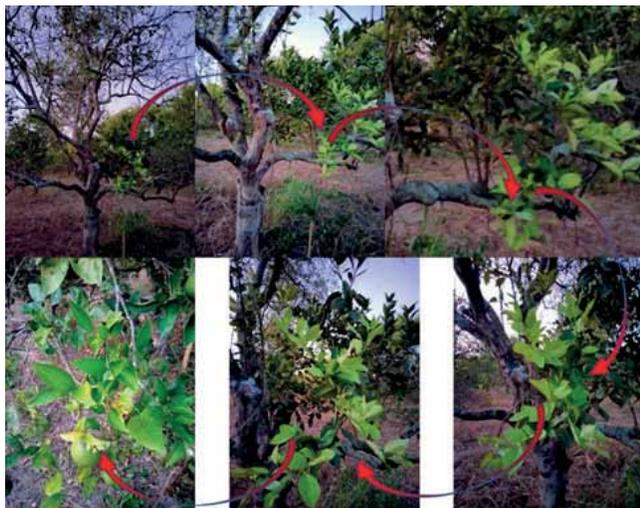


Imagen 4. Evaluación de la aparición de nuevo follaje en las plantas

Discusión

Estudios han demostrado que las especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), regulan el desarrollo de raíz a través de adenosin difosfato ácido (NADPH) oxidasa (Foreman *et al.*, 2003; Carol *et al.*, 2005; Takeda *et al.*, 2008), esto sugiere que la mejoría de las plantas se debe al fortalecimiento de las raíces, por lo que esto propicia una buena asimilación de nutrientes y por lo tanto la aparición de brotes. La fitohormona clave para el desarrollo de raíz es la auxina, la cual puede mediar niveles de H_2O_2 , y por lo tanto promueven el crecimiento celular y la formación de raíces laterales (Qu *et al.*, 2016; Su *et al.*, 2016; Takáč *et al.*, 2016). El H_2O_2 es mediador de la inducción de raíces laterales, actúa corriente debajo de melatonina, un compuesto indolamina similar a la auxina (Chen *et al.*, 2018), también induce gravitropismo radicular, el cual es regulado por el transporte de auxinas polares (Li *et al.*, 2018). Hay estudios que indican que el crecimiento de raíces mediado por H_2O_2 en respuesta al estrés, se encontró en pepino, algodón y arroz (Li *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2016; Yamauchi *et al.*, 2017). El H_2O_2 , también media la dominancia apical, la fotosíntesis y la epinastia foliar (Chen *et al.*, 2016, Guo *et al.*, 2016 y Sandalio *et al.*, 2016). Con base en lo anterior se puede justificar la mejoría que presentaron las plantas con el tratamiento planteado, ya que como se comentó, las plantas empezaron a generar brotes y la goma desapareció, debido al poder oxidante que presenta el H_2O_2 , así como a las funciones activadas en la planta, es importante mencionar que a este agente químico se

le conoce como fitohormona putativa (tener características de una fitohormona sin serlo), por tal motivo esto pudo generar diferentes mejorías en la planta, por lo que en estudios posteriores se sugiere hacer experimentos enfocados en observaciones radiculares, así como estudios a nivel de xilema y floema.

Varios carbonatos y bicarbonatos han demostrado ser eficientes contra el moho gris, enfermedad número uno de la uva postcosecha. Investigaciones han determinado que los carbonatos son más eficaces que los bicarbonatos para reducir la germinación de esporas de *Botrytis cinérea* y que los bicarbonatos de sodio eran mejores que los de potasio (Anon, 1999). La actividad enzimática de los hongos se ve favorecida bajo pH ácido, los carbonatos al presentar un pH alcalino, provocan que los hongos inhiban dicha actividad y por lo tanto son eliminados. Esto justifica el uso de bicarbonato en este estudio para combatir gomosis causada por *Phytophthora* spp. Por un lado el H_2O_2 , ejerce un efecto oxidativo en el hongo causante de la enfermedad y por otro, el cambio brusco de pH a la alcalinidad, propicia que la actividad enzimática se vea inhibida y por lo tanto su desarrollo.

Conclusiones

La aplicación de peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio propiciaron la eliminación de la enfermedad a nivel de tallo y foliar en donde se observó después de la caída de la corteza dañada una regeneración de la planta y eliminación de signos de la enfermedad. El nuevo follaje apareció en todas las plantas tratadas lo que nos indica la disminución de la enfermedad y reactivación del sistema vascular.

El tratamiento con H_2O_2 y bicarbonato para el control de gomosis, es factible en cuanto a control de la enfermedad y costos para el cultivo de cítricos, estos dos agentes químicos manejados de una forma adecuada, no presentan ningún riesgo para algún compartimento ambiental, el peróxido incluso, puede servir como medio oxigenador en suelos compactos.

Contribución de los autores

LFJS, diseño del trabajo y redacción.

YTT, diseño y recolección de datos.

JPRG, diseño y recolección de datos.

JJLC, Análisis y redacción.

KMA, análisis y redacción.

JAAB, Análisis y redacción.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Presentaciones previas

Foro agroindustrial 2021.

Referencias

- Adedeji, A. R., Odebode, A. C., Sanusi, R. A. y Olaiya, A. O., (2010). Comparative efficacy and economic viability of Trichoderma strains as bio-control agents for the control of Phytophthora pod rot of cocoa in Nigeria. *African Research Review*. 4(3), 349-366.
- Álvarez-Rodríguez, B., Carillo-Fasio, J. A., García-Estrada, R. S. y Allende-Moral, R., (2016). Caracterización de Phytophthora nicotianae causante de tizón de vinca en áreas urbanas y viveros de ornamentales en Culiacán, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 34(3), 35-50.
- Anon., (1999). Baking soda and gray mold. Conference notes: ESA and APS joint meeting. *IPM Practitioner*. April. p. 10-11.
- Baraona, M. y Sancho, E., (2000). Cítricos fruticultura. Especial 1 2a ed. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia. 96 p.
- Carol, R.J., Takeda, S., Linstead, P., Durrant, M.C., Kakesova, H., Derbyshire, P., Drea, S., Zarsky, V. y Dolan, L., (2005). A RhoGDP dissociation inhibitor spatially regulates growth in root hair cells. *Nature*, 438, 1013-1016.
- Chen, X.J., Xia, X.J., Guo, X., Zhou, Y.H., Shi, K., Zhou, J. y Yu, J.Q., (2016) Apoplastic H₂O₂ plays a critical role in axillary bud outgrowth by altering auxin and cytokinin homeostasis in tomato plants. *New Phytol.*, 211, 1266-1278.
- Chen, Z., Gu, Q., Yu, X., Huang, L., Xu, S., Wang, R., Shen, W. y Shen, W., (2018). Hydrogen peroxide acts downstream of melatonin to induce lateral root formation. *Ann. Bot.*, 121, 1127-1136.
- Choudhari, R. J., Gade, R. M., Lad, R. S., Adinarayana J. y K. B. V. N. Phanindra, (2018). Epidemiological Relations to Phytophthora Spp. Causing Citrus Root Rot in Nagpur Mandarin. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 6, 406-417.
- Foreman, J., Demidchik, V., Bothwell, J.H.F., Mylona, P., Miedema, H., Torres, M.A., Linstead, P., Costa, S., Brownlee, C. y Jones, J.D.G., (2003). Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*, 422, 442-446.
- García-Martin, J. F.; Olmo, M. y García, J. M., (2018). Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of different citrus varieties at laboratory and at industrial facility. *Postharvest Biol. Technol.* 137(3), 77-85.
- Graham, J. H., Johnson, E. G., Gottwald, T. R. & Irey, M. S., (2013). Presymptomatic fibrous root decline in citrus trees caused by huanglongbing and potential interaction with Phytophthora spp. *Plant Dis.* 97(9), 1195-1199.
- Guo, Z., Wang, F., Xiang, X., Ahammed, G.J., Wang, M., Onac, E., Zhou, J., Xia, X., Shi, K. y Yin, X., (2016). Systemic Induction of Photosynthesis via Illumination of the Shoot Apex Is Mediated Sequentially by Phytochrome, B., Auxin and Hydrogen Peroxide in 13. Tomato. *Plant Physiol.*, 172, 1259-1272.
- Hanumanthappa, P. V., Hegde, V., Mahalingeshwara, S. K., Krishna, R. M., Edathil, R. K. y Pallem, C. H., (2018). Differentiation of Phytophthora species associated with plantation crops using PCR and high-resolution melting curve analysis. *J. Plant Pathol.* 100(2), 233 240.
- Iqbal, Z., Ahmad, S., Asim, M., Rehman, A. M., Rehman, A., Raza, W., Raza, M., Bilal, S. M. y Abid, H. U., (2020). Management of Phytophthora species associated with citrus decline in Pakistan. *International Journal of Botany Studies*, 5 (1), 98-103.
- Kong, X., Luo, Z., Dong, H., Eneji, A.E. y Li, W., (2016). H₂O₂ and ABA signaling are responsible for the increased Na⁺ efflux and water uptake in Gossypium hirsutum L. roots in the non-saline side under non-uniform root zone salinity. *J. Exp. Bot.*, 67, 2247-2261.
- Li, B., Cai, Q., Ma, S., Li, S., Zhang, X. y Yu, Y., (2018). Regulation of NPA and ACC on H₂O₂-Induced Pea Primary Horizontal Bending Root. *J. Plant Growth Regul.*, 37, 246-254.
- Li, H., He, J., Yang, X., Li, X., Luo, D., Wei, C., Ma, J., Zhang, Y., Yang, J. y Zhang, X., (2016). Glutathione-dependent induction of local and systemic defense against oxidative stress by

- exogenous melatonin in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *J. Pineal Res.*, 60, 206-216.
18. Lucas, E. A. y Beltrán, P. C., (2004). Phytophthora en cítricos, un problema de difícil solución. *Vida Rural*. 56-62 pp.
 19. Pabón-Villalobos, J. y Castaño-Zapata, J., (2015). Evaluación de productos químicos y uno biológico para el manejo de *Phytophthora* spp. en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*. 18(2), 339-349
 20. Picos-Muñoz, P. A., García-Estrada, R. S., León-Félix, J., Sañudo-Barajas, A. y Allende-Molar, R., (2015). *Lasiodiplodia theobromae* en cultivos agrícolas de México: Taxonomía, hospedantes, diversidad y control. *Rev. Mex. Fitopatol.* 33(1), 54-74.
 21. Qu, Y., Wang, Q., Guo, J., Wang, P., Song, P., Jia, Q., Zhang, X., Kudla, J., Zhang, W. y Zhang, Q., (2017). Peroxisomal CuAO and its product H₂O₂ regulate the distribution of auxin and IBA-dependent lateral root development in *Arabidopsis*. *J. Exp. Bot.*, 68, 4851-4867.
 22. Sandalio, L.M., Rodríguez-Serrano, M. y Romero-Puertas, M.C., (2016). Leaf epinasty and auxin: A biochemical and molecular overview. *Plant Sci.*, 253, 187-193.
 23. Showler, A. T., (2017). Suppression of greasy spot disease caused by *Mycosphaerella citri* Whiteside on grapefruit trees in an organic orchard using an aqueous organic mixture of composted cornmeal, humic acid, molasses, and fish oil versus vegetable oil. *Crop Protection*. 99(9), 137-143.
 24. SIAP., (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
 25. Silva, S. X. B., Soares, A. C. F., Almeida, D. O., Santos, H. P. y Laranjeira, F. F., (2015). Temporal patterns of citrus greasy spot-induced defoliation of sweet orange cultivars in Brazil. *Annals Appl. Biol.* 167(1), 55-62.
 26. Srinivasulu, A., Pavan K. S., Raja B. K. y Kumar K. A., (2018). Integrated nutrient & disease management in citrus. *International Journal of Chemical Studies*. 6(6), 2315-2321.
 27. Srivastava, A. K. y Shirgure, P. S., (2018). Nutrient diagnostics and fertilizer prescription in *Citrus*: a perspective analysis. *J. Eco-friendly Agric.* 13(2), 1-17.
 28. Su, C., Liu, L., Liu, H., Ferguson, B.J., Zou, Y., Zhao, Y., Wang, T., Wang, Y. y Li, X., (2016). H₂O₂ regulates root system architecture by modulating the polar transport and redistribution of auxin. *J. Plant Biol.*, 59, 260-270.
 29. Takáč, T., Obert, B., Rolčik, J. y Šamaj, J., (2016). Improvement of adventitious root formation in flax using hydrogen peroxide. *New Biotechnol.*, 33, 728-734.
 30. Takeda, S., Gapper, C., Kaya, H., Bell, E., Kuchitsu, K. y Dolan, L., (2008). Local positive feedback regulation determines cell shape in root hair cells. *Science*, 319, 1241-1244.
 31. Tanoi, K y Kobayashi, N. I., (2015). Leaf senescence by magnesium deficiency. *Plants*. 4(4), 756-772.
 32. Vicent, A., Bassimba, D. D. M. y Intrigliolo, D. S., (2011). Effects of temperature, water regime and irrigation system on the release of ascospores of *Mycosphaerella nawae*, causal agent of circular leaf spot of persimmon. *Plant Pathol.* 60(5), 890-898.
 33. Yamauchi, T., Yoshioka, M., Fukazawa, A., Mori, H., Nishizawa, N.K., Tsutsumi, N., Yoshioka, H. y Nakazono, M., (2017). An NADPH Oxidase RBOH Functions in Rice Roots during Lysigenous Aerenchyma Formation under Oxygen-Deficient Conditions. *Plant Cell*, 29, 775-790.
 34. Yan, H. X., Zhong, Y., Jiang, B., Zhou, B. R., Wu, B. y Zhong, G. G., (2017). Guanggan (*Citrus reticulata*) shows strong resistance to *Phytophthora nicotianae*. *Scientia Horticulturae*. 225(12), 141-149.
 35. Zhang, M. Q., Powell, C. A., Guo, Y., Doud, M. S. y Duan, Y. P., (2012). A Graft-based chemotherapy method for screening effective molecules and rescuing huanglongbing-affected citrus plants. *Phytopathology*. 102(6), 567-574.
 36. Zhao, W.; Bai, J.; McCollum, G. y Baldwin, E., (2015). High incidence of preharvest colonization of huanglongbing-symptomatic citrus sinensis fruit by *Lasiodiplodia theobromae* (*Diplodia natalensis*) and exacerbation of postharvest fruit decay by that fungus. *Appl. Environ. Microbiol.* 81(1), 364-372