

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y UNO BIOLÓGICO PARA EL MANEJO DE *Phytophthora* spp. EN NARANJO 'SALUSTIANA' INJERTADO EN PORTAINJERTO SUNKI

EVALUATION OF CHEMICAL PRODUCTS AND A BIOLOGICAL ONE TO MANAGE *Phytophthora* spp. IN 'SALUSTIANA' ORANGE GRAFTED ON SUNKI ROOTSTOCK

Johana Pabón-Villalobos¹, Jairo Castaño-Zapata²

¹Ingeniera Agrónoma, cM.Sc. Fitopatología, Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, calle 65 No 26-10, Manizales, Colombia, e-mail: johanapv1125@hotmail.com; ²Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Profesor Titular, Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, calle 65 No 26-10, Manizales, Colombia, e-mail: jairo.castano_z@ucaldas.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 339-349, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Phytophthora spp., cuyo hábitat es el suelo, está presente en la mayoría de los huertos de cítricos del mundo, causando pérdidas que pueden oscilar entre 10 y 30%. Para reducir los daños ocasionados por esta enfermedad en plantaciones cítricas, se evaluaron productos químicos y uno biológico. El estudio, se llevó a cabo en la finca "El Cuervo", ubicada en la vereda Juntas, municipio de Neira, Caldas, en un cultivo de naranjo variedad Salustiana, injertado sobre un patrón Sunki de siete años de edad, afectado por *Phytophthora* spp. Las unidades experimentales, se seleccionaron teniendo en cuenta dos grados de ataque de la enfermedad: árboles ligera y severamente afectados. Se emplearon nueve tratamientos aplicados al suelo y uno inyectado al tallo; se utilizó una planta por cada grado de ataque y cinco repeticiones, en un diseño completamente al azar, en arreglo factorial, donde los factores fueron los tratamientos y los grados de ataque de la enfermedad. Se evaluó número de raíces, peso seco de raíces, número de frutos y peso de frutos. El mejor tratamiento fue fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con un número de raíces 7,20, peso seco de raíces de 28,54g, número de frutos de 1.467,20 unidades/ha y un peso de frutos de 421,40kg/ha, resultados que hacen de fosetil + propamocarb, inyectados al tallo, una alternativa viable, para lograr la recuperación progresiva del sistema radical de los naranjos, ligeramente afectados por *Phytophthora* spp.

Palabras clave: Cítricos, pudrición radical, Oomycetes, fungicidas, *Trichoderma*.

SUMMARY

Phytophthora spp., whose habitat is the soil, is present in most citrus orchards in the world, causing losses that can range from 10 to 30%. In order to reduce the damage caused by this disease in citrus plantations, it was evaluated several chemical products and a biological one. The study was conducted at the "El Cuervo" located at the Juntas village, municipality of Neira Caldas, in a plantation of orange of 7 years old, established with the variety Salustiana, grafted on Sunki, affected by *Phytophthora* spp. The experimental units were selected based on two disease stages: slightly and severely affected trees. Nine treatments applied to the soil were used and one injected the stem, a plant for each stage of attack and five replicates in a completely randomized design in factorial arrangement, where the factors were the treatments and disease stages. It was evaluated number of roots, root dry weight, number of fruits and fruit weight. The best treatment was fosetyl + propamocarb stem injected, with a number of roots 7.20, root dry weight of 28.54g, number of fruits of 1467.20 units/ha and fruits weighing 421.40kg/ha, results that make fosetyl + propamocarb injected the stem a viable alternative to achieve the gradual recovery of the root system of the orange trees slightly affected by *Phytophthora* spp.

Key words: Citrus, root rot, Oomycetes, fungicides, *Trichoderma*.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas fitosanitarios más limitantes del cultivo del naranjo, se encuentra *Phytophthora* spp., un patógeno que habita en el suelo donde se mantiene, mediante infección repetida de las raíces fibrosas, capaz de ocasionar la muerte de plántulas, pudrición de raíces absorbentes y secundarias, pudrición de la base del tallo y aún de los frutos (Erwin & Ribeiro, 1996), daños que reducen los rendimientos y la calidad de la fruta, causando pérdidas anuales, en el ámbito mundial, sobre patrones susceptibles, que oscilan entre 10 y 30%, tanto en árboles jóvenes como en adultos (Timmer *et al.* 2000; Gusmao *et al.* 2008; Mounde *et al.* 2009).

De acuerdo con Medina (2000), Mounde *et al.* (2009) e ICA (2012), el manejo de *Phytophthora* spp. en cítricos, se basa en prácticas que incluyen el uso de patrones resistentes, como mandarina cleopatra, citrange carrizo, citrumelo swingle, naranjo trifoliado y limón volkameriana, entre otros; así como medidas preventivas, tales como el establecimiento de drenajes, poda, desinfestación de herramientas, la preparación del suelo, el riego, la fertilización y el manejo de malezas. En plantaciones establecidas, la aplicación de fungicidas o mezclas de fungicidas con diferentes mecanismos de acción, resulta ser una de las mejores opciones, para controlar los daños originados por este patógeno (ICA, 2012).

García *et al.* (2008) indican que hasta 1970, los fungicidas más utilizados incluían al caldo bordelés y otros derivados del cobre, además de las phthalamidas y los ditiocarbamatos, productos de uso preventivo, que funcionan por contacto en la superficie de la planta; cuando el microorganismo penetra los tejidos, queda fuera del alcance de dichas moléculas, es decir, estos productos pueden prevenir una infección, pero no erradicar una existente (Tuttle, 2004; FRAC, 2007). Posteriormente, el manejo de *Phytophthora* spp., se basó en el uso de fungicidas sistémicos, característica que les permite tener acceso a las estructuras del patógeno e impedir su avance, existiendo moléculas de movimiento translinar, como cymoxanil, dimetomorf, propamocarb, de arriba hacia abajo (basipétalo) o de abajo hacia arriba (acropétalo), como metalaxil, benalaxil y oxadixil o en ambos sentidos, como los fosfitos (Azevedo, 2007; FRAC, 2007).

Respecto al manejo biológico, Smith *et al.* (1990) y Silva *et al.* (2008) reportaron que algunas especies de *Trichoderma*, como *T. harzianum* y *T. stromaticum*, producen gran cantidad de sustancias fungistáticas contra *Phytophthora* spp., capaces de afectar las paredes celulares y el interior de éstas, reduciendo su desarrollo y causando su destrucción; sin embargo, Cotes (2014), señala que, hasta la fecha, solo existen algunos productos biológicos en el mercado

con ingrediente activo a base de *Trichoderma* que, en su mayoría, no se encuentran registrados.

Los fenómenos climáticos por los que atraviesa Colombia han amenazado gravemente las plantaciones de cítricos, debido a un aumento en la frecuencia de las precipitaciones, lo que ha incrementado los contenidos de humedad en el aire y en el suelo, favoreciendo la incidencia de *Phytophthora* spp., que limita la capacidad productiva del cultivo, la calidad y el rendimiento de las cosechas; es por ello, que esta investigación tuvo como fin establecer un manejo adecuado y eficiente, que permita reducir las pérdidas ocasionadas por *Phytophthora* spp., en cultivos tan importantes, como el naranjo dulce.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se llevó a cabo en la finca “El Cuervo”, ubicada en la vereda Juntas, municipio de Neira - Caldas, con una altura de 955msnm, temperatura promedio de 23,4°C, precipitación anual de 2.340mm y humedad relativa de 79%. Se empleó un cultivo de cítricos de siete años de edad, correspondiente a la variedad Salustiana, injertada sobre el patrón Sunki, susceptible a *Phytophthora* spp., sembrado a una distancia de 6m, entre surcos y 7m, entre plantas; las unidades experimentales correspondieron a un árbol de naranjo, que fue previamente calificado, teniendo en cuenta dos grados de ataque de la enfermedad: árboles ligeramente afectados y árboles severamente afectados (Figura 1).

Tratamientos. Se emplearon diez tratamientos (Tabla 1), con una planta por cada grado de ataque de la enfermedad y cinco repeticiones, para un total de 100 unidades experimentales, en un diseño completamente al azar (DCA), en arreglo factorial, donde los factores fueron los tratamientos y los dos grados de ataque de la enfermedad. La mayoría de los tratamientos, se aplicaron al suelo, con regadera alrededor de la planta (10L de solución/planta), en las dosis recomendadas por el fabricante y siguiendo sus instrucciones. Fosetil + propamocarb, se inyectó al tallo, para lo cual, fue perforado con taladro manual en dos puntos de su perímetro, en forma de bisel, a una profundidad de 5cm y a una altura de 1m del suelo; luego, con una jeringa desechable, se inyectó el fungicida en los orificios. La frecuencia de los tratamientos, así como las dosis empleadas, se encuentran descritas en la tabla 1.

Variables de respuesta: Número de raíces. Se evaluó, a través de siete muestreos, en el transcurso de un año, en cada unidad experimental; el primero, antes de la aplicación de los productos; el segundo, 30 días después; el tercero, a los 60 días y los cuatro restantes, se efectuaron cada dos meses (Tabla 1), para lo cual, se hicieron huecos de 30cm de ancho x 50cm de largo x 20cm de profundidad, en

GRADO	1 Planta sana	2 Planta ligeramente afectada por <i>Phytophthora</i> spp.	3 Planta severamente afectada por <i>Phytophthora</i> spp.
DESCRIPCIÓN	Árbol vigoroso, gran número de brotes sanos y vigorosos; el follaje presenta una tonalidad verde y sus hojas alcanzan un buen tamaño; carga frutal adecuada y de buen calibre. El sistema radicular presenta un gran número de raicillas ausencia de raíces necrosadas.	Follaje escaso, clorosis leve y la mayoría de las veces las nervaduras se tornan amarillas, se producen pocos brotes, carga frutal baja, la planta presenta un aspecto decaído. Raíces poco abundantes, ausencia de raíces absorbentes.	Falta de vigor, gran número de ramas secas, defoliación progresiva, crecimiento reducido y clorosis generalizada hojas pequeñas, amarillentas, ausencia de carga frutal. Raíces necróticas y quebradizas, ausencia de raicilla absorbentes.
SÍNTOMAS			
			

Figura 1. Grados de ataque de *Phytophthora* spp., asociados con la pudrición de raíces sobre naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki.

Tabla 1. Tiempos, en los cuales, se realizó el muestreo de raíces, cosecha de frutos y aplicación de los tratamientos.

Actividades			Dosis/ha	Meses												
				0	1	2	3	4	5*	6*	7	8	9	10	11	12
Muestreo de raíces				X	X			X		X		X		X		X
Cosecha de frutos				X			X			X			X			X
Aplicación de tratamientos	T1	(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	11,2 L + 11,2 L	X	X				X	X			X	X		
	T2	Fosetil aluminio	14 Kg	X	X				X	X			X	X		
	T3	Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	2,8 L	X			X			X			X			
	T4	Fosetil + Propamocarb (al suelo)	4,9 L	X	X				X	X			X	X		
	T5	(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado	4,9 L+10 L+1 L	X	X				X	X			X	X		
	T6	Dimetomorf + Clorotalonil	12 Kg	X	X				X	X			X	X		
	T7	Oxadixil + Macozeb	8 Kg	X	X				X	X			X	X		
	T8	Benalaxil + Clorotalonil	40 Kg	X	X				X	X			X	X		
	T9	<i>Trichoderma harzianum</i>	56 L	X	X				X	X			X	X		
	T10	Testigo														

*Las aplicaciones de los productos durante estos meses fueron quincenales, a excepción de fosetil + propamocarb (inyección al tallo) en el que fueron trimestrales.

tres puntos de la zona de la gotera, en donde se contó el número de raíces. Peso seco (g) de raíces. Una vez contadas las raíces, se cortaron y se depositaron en bolsas plásticas; posteriormente, se lavaron y se dejaron secar al aire; luego, se llevaron a un horno graduado a una temperatura de 80°C, por un periodo de 48h; transcurrido este tiempo, se pesaron en una balanza analítica. Número y peso (kg) de frutos. Cada tres meses, se procedió a cosechar las unidades experimentales, contabilizando el número de naranjas, que se pesaron con ayuda de una báscula digital. Detección de *Phytophthora* spp. Con el fin de verificar la presencia de *Phytophthora* spp., se utilizaron inmunocintas de Agdia® (2010), específicas para la detección de especies de este patógeno. Del último muestreo, se extrajo con un bisturí, por cada unidad experimental, una muestra de raíces, que se depositó en la bolsa para extracción y con una varilla de cuarzo, se frotó suavemente; posteriormente, se introdujo la inmunocinta y transcurridos 5 min fue retirada; el resultado se interpretó como negativo, si solo la línea C apareció en la inmunocinta y positivo, si la línea T hizo presencia en color rosado o púrpura. Relación costo-beneficio. Durante este estudio, se registraron los costos de aplicación de los productos químicos y el biológico.

Análisis estadístico. A las variables evaluadas, se les realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan al 5 % de probabilidad, con ayuda del paquete estadístico R Project versión 2.15.0 (R Project, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de raíces. El análisis de varianza para número de raíces, indicó diferencias estadísticas entre tratamientos y grados de ataque de la enfermedad ($p < 0,01$); la prueba de Duncan al 5%, mostró que el mejor promedio fue para fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con 7,20 raíces (Tabla 2), resultados que coinciden con Mc Millan & Tepper (1985), quienes al intentar manejar a *P. cinnamomi* en aguacate, mediante inyecciones al tallo de fosetil aluminio, observaron una recuperación progresiva de los árboles tratados. El método de inyección permitió a estos fungicidas ser absorbidos por el sistema vascular y llegar, progresivamente, a todos los tejidos, a través del xilema y el floema, para inhibir el crecimiento y la esporulación de *Phytophthora* spp. (Cacciola & Di San Lio, 2008).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki, durante el muestreo y la cosecha final.

Tratamiento	VARIABLES DE RESPUESTA			
	Número de raíces	Peso seco de raíces	Número de frutos	Peso de frutos
(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	5,167 abc*	18,460 b	327,60 c	43,48 c
Fosetil aluminio	4,667 cd	20,553 b	330,40 c	43,17 c
Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	7,200 a	28,537 a	1.467,20 a	421,40 a
Fosetil + Propamocarb (al suelo)	3,967 cd	17,653 b	389,20 c	77,72 c
(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado	4,967 bc	17,930 b	266,00 c	50,40 c
Dimetomorf + Clorotalonil	6,933 ab	20,683 b	243,60 c	38,08 c
Oxadixil + Macozeb	5,967 abc	24,637 ab	839,44 b	182,00 ab
Benalaxil + Clorotalonil	6,067 abc	20,960 b	425,60 c	51,12 c
<i>Trichoderma harzianum</i>	4,867 bcd	17,846 b	372,40 c	72,80 c
Testigo	2,900 d	10,803 c	243,60 c	49,14 c

*Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

En cuanto a la aplicación de *Trichoderma harzianum*, el número de raíces fue de 4,86, un valor que al ser comparado con el obtenido por el testigo, indicó diferencias estadísticas mínimas (Tabla 2); esto, se atribuye a que los productos biológicos son de acción preventiva y para ejercer un buen manejo de *Phytophthora* spp., requieren la presencia de grandes cantidades de inóculo alrededor de la planta, además de su presencia previa a la del patógeno (Tuset *et al.* 1997; Pérez *et al.* 2004). Como se observa en la tabla 3, el número de raíces, por cada grado de ataque de la enfermedad, mostró diferencias estadísticas, siendo el promedio más alto para los árboles ligeramente afectados, lo que refleja la poca efectividad de las aplicaciones, cuando la enfermedad se encuentra en un estado avanzado.

Peso seco de raíces. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas entre tratamientos, grados de ataque ($p<0,01$) y la interacción tratamiento por grado de ataque de la enfermedad ($p<0,01$); el mejor tratamiento, según la prueba Duncan al 5% de probabilidad, fue fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con un peso seco de 28,54g (Tabla 2), demostrando que estas moléculas son capaces de inhibir el crecimiento y la esporulación de *Phytophthora* spp., actuando como una toxina, además de estimular los mecanismos de defensa en la planta, mediante la producción de fitoalexinas en los puntos potenciales de infección, evitando así la necrosis del tejido cortical de las raicillas absorbentes (Fenn & Coffey, 1985; Guest & Bompeix, 1990; Erwin & Ribeiro, 1996; Tuset *et al.* 2003).

Se resalta la efectividad de oxadixil + mancozeb, que no produjo incrementos significativos en el número de raíces, pero sí lo hizo en el peso seco, alcanzando un promedio de 24,63g, valor que al ser comparado con el de fosetil + propamocarb inyectados, mostró una diferencia de 3,90g (Tabla 2); esto permite inferir, que estos ingredientes son una alternativa viable en el manejo de la pudrición de raíces, resultados que coinciden con las observaciones de Gisi *et al.* (1985), quienes afirman que existe un efecto sinérgico de oxadixil, cuando se aplica en mezcla con mancozeb.

El tratamiento con *T. harzianum* no logró resultados positivos en cuanto a esta variable; obtuvo un promedio de 17,84g, valor que indicó mínimas diferencias respecto al testigo, el cual, presentó un promedio de 10,80g (Tabla 2); al respecto, Coffey (1991), Erwin & Ribeiro (1996) y Romero (2004) aseguran que el éxito de los biocontroladores está relacionado con los principios de exclusión, erradicación, protección e inmunización, que permiten reducir la tasa de incremento del patógeno, creando un ambiente desfavorable, dentro de un plan de manejo integrado.

En relación a los grados de ataque de la enfermedad, los naranjos ligeramente afectados mostraron un promedio de 22,83g (Tabla 3), un valor significativo basado en el hecho que, solo las aplicaciones de fosetil + propamocarb inyectados al tallo y oxadixil + mancozeb, fueron efectivas para detener el avance de *Phytophthora* spp. en las raíces; en los árboles severamente afectados, la media fue de 16,78 g, que indica la ineficacia de los tratamientos, a medida que avanza la enfermedad (Tabla 3).

Al analizar la interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad, se observó que fosetil + propamocarb inyectados al tallo, detuvieron la pudrición de raíces en naranjos ligeramente afectados por el patógeno, logrando el incremento más significativo en el peso seco (34,53g) (Figura 2A). Este resultado reafirma la efectividad de estos ingredientes activos y también la del método empleado; coincide con Darvas *et al.* (1984) y Mc Millan & Tepper (1985), quienes trabajando en el manejo de *P. cinnamomi*, en aguacate, aseguran que dicho producto controla eficazmente esta enfermedad; de otro lado, Piccone *et al.* (1988), Coffey (1991) y Latorre *et al.* (1998) concuerdan en que al tratar de recuperar árboles afectados por *Phytophthora* spp., los tratamientos con fosetil aluminio resultan ser más efectivos que aquellos que utilizan otros ingredientes, sobre todo, si se realizan en inyección al tallo, debido a que una cantidad reducida de raíces dificulta la absorción del producto, cuando se utilizan otros métodos. Referente a oxadixil + mancozeb, el promedio fue de 29,93g, evidenciando una recuperación

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas en naranjo ‘Salustiana’ injertado en portainjerto Sunki, en árboles ligera y severamente afectados por *Phytophthora* spp.

	Árboles ligeramente afectados	Árboles severamente afectados
Número de raíces	6,460 a*	4,080 b
Peso seco de raíces (g)	22,829 a	16,784 b
Número de frutos	157,47 a	50,62 b
Peso de frutos (kg)	26,60 a	10,75 b

*Letras diferentes denotan diferencias significativas, según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

parcial del sistema radical, no tan efectiva como la de fosetil + propamocarb inyectados al tallo (Figura 2A); para los demás tratamientos, las medias oscilaron entre 24,06 y 18,67g, sin diferencias estadísticas entre sí; los valores más bajos fueron para fosetil + propamocarb aplicados al suelo

y el testigo con 14,10g y 12,17g, respectivamente (Figura 2A). La interacción, además mostró que cuando los árboles han sido severamente afectados, no es efectivo ninguno de los productos; es de resaltar, que para este grado de ataque, el promedio más bajo fue para el testigo con 9,43 g (Figura 2A).

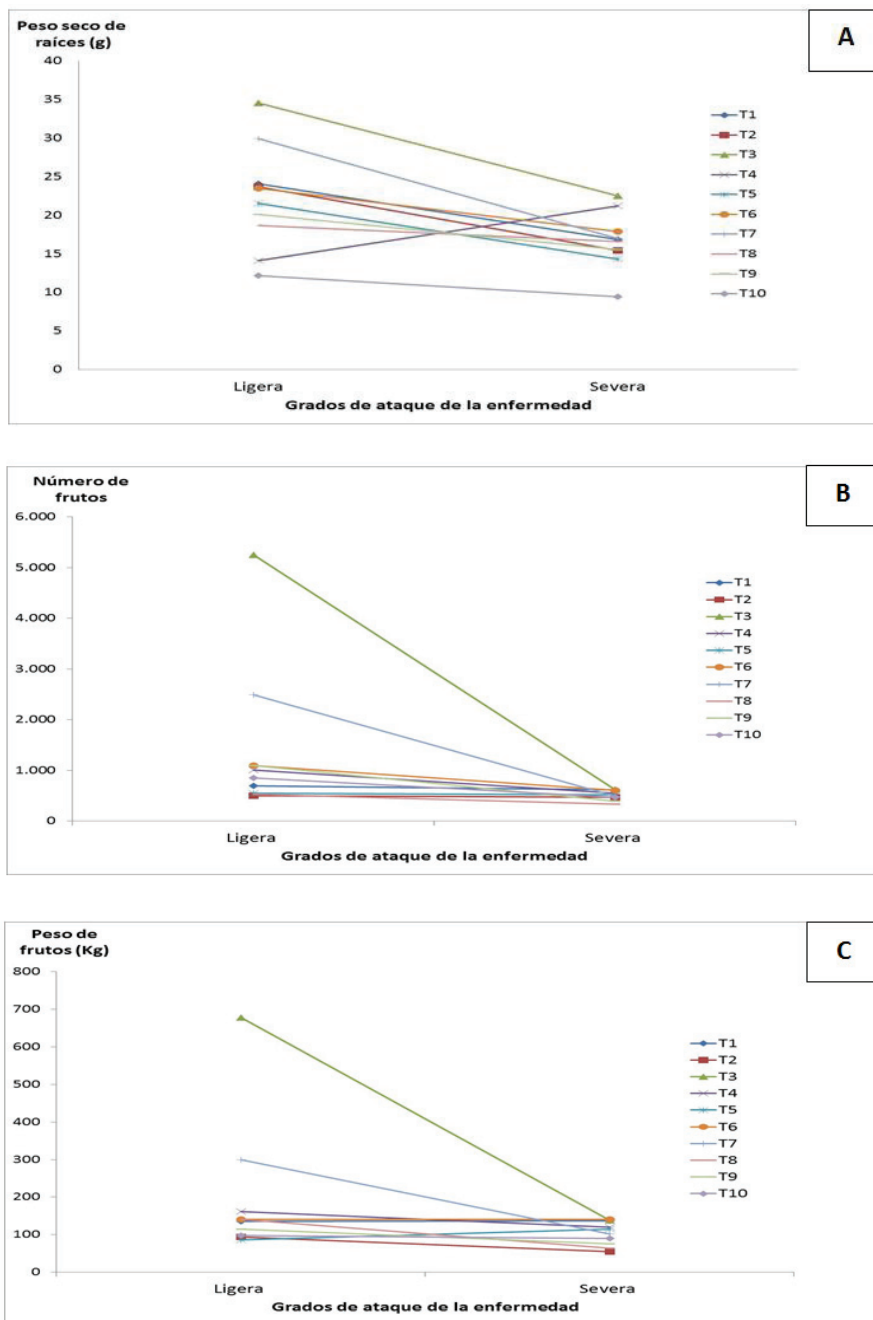


Figura 2. Interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad A. Variable dependiente peso seco de raíces. B. Variable dependiente número de frutos. C. Variable dependiente peso de frutos. T1. Fósforo + potasio + aminoácidos libres + iodocitrato de cobre; T2. Fosetil - aluminio; T3. Fosetil + propamocarb (inyectados al tallo); T4. Fosetil + propamocarb (aplicados al suelo); T5. Fosetil + propamocarb + CaO + carbono orgánico oxidable + ácidos carboxy + auxinas + citoquininas + ácidos carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado; T6. Dimetomorf + clorotalonil; T7. Oxadixil + mancozeb; T8. Benalaxil + clorotalonil; T9. *Trichoderma harzianum*; T10. Testigo.

En general, se puede inferir que si *Phytophthora* spp. es detectado oportunamente, la mejor opción para recuperar el vigor de los naranjos es el uso de fosetil + propamocarb en inyección al tallo; asimismo, que la respuesta a las aplicaciones de productos, tanto químicos como biológicos, varía dependiendo del grado de ataque de la enfermedad.

Número de frutos. El análisis de varianza reveló diferencias estadísticas entre tratamientos, grado de ataque de la enfermedad ($p < 0,01$) y la interacción tratamiento*grado de ataque ($p < 0,01$). La prueba de Duncan al 5% de probabilidad indicó que el tratamiento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, logró el mayor número de frutos (1.467 unidades/ha), promedio que difirió significativamente del testigo (243,60 unidades/ha) (Tabla 3) y que, si bien es cierto es un número bajo, se debe tener en cuenta que eran árboles en proceso de recuperación. Las medias obtenidas durante todo el experimento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo permiten deducir que los efectos de esta mezcla, en cuanto producción, solo se aprecian a través del tiempo, lo que coincide con Delgado *et al.* (1991), quienes al evaluar fosetil aluminio sobre el rendimiento de pomelos variedad Marsh reportaron incrementos de hasta 1.200 unidades/ha, luego de dos años consecutivos de dicha aplicación; igualmente, Coffey & Guillemet (1984), al trabajar con aguacate cultivar Fuerte afectado severamente por *P. cinnamomi*, consiguieron incrementar la producción, pasando de 34 a 132 unidades/planta, 36 meses después de tratar los árboles con fosetil aluminio.

En cuanto a oxadixil + mancozeb, el promedio fue de 839 unidades/ha, valor que difirió del obtenido con fosetil + propamocarb inyectados al tallo en casi un 50% (Tabla 2); si se tienen en cuenta las variables peso y número de raíces, se puede concluir que estos ingredientes, solo lograron una recuperación de los naranjos, a nivel radical.

Para *T. harzianum*, la media fue de 372 unidades/ha, con mínimas diferencias, respecto al testigo absoluto (Tabla 2).

En relación a los grados de ataque hubo diferencias estadísticas significativas; los árboles ligeramente afectados presentaron un promedio de 157,47 unidades/ha (Tabla 4), un valor bajo, dado que la mayoría de productos no detuvieron el avance de la enfermedad. En los árboles severamente afectados, la media fue de 50,62 unidades/ha, indicando una vez más lo inefectivas que resultan las aplicaciones cuando el patógeno ha avanzado en el interior de los tejidos.

Al analizar la interacción, se apreció que el número de frutos aumentó con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, pero solo en árboles ligeramente afectados, alcanzando un promedio de 5.252 unidades/ha (Figura 1B), resultados que concuerdan con Darvas *et al.* (1984), quienes reportaron

en aguacate variedad Fuerte ligeramente afectado por *P. cinnamomi* incrementos progresivos, de hasta el 50%, luego de la aplicación de fosetil aluminio en inyección al tallo. Una mejoría en el sistema radical de las plantas, como lo afirman Taiz & Zeiger (2006), permite una mayor absorción de nutrientes de la solución del suelo, los cuales, pueden ser utilizados para la emisión de hojas y la formación y desarrollo de flores y frutos. De otro lado, el tratamiento con oxadixil + mancozeb produjo 2.494 unidades/ha, un número relativamente bajo, que evidencia una recuperación parcial del sistema radical. En cuanto a *T. harzianum* y el testigo el promedio fue de 1.097 y 851 unidades/ha, respectivamente, valores similares entre sí; el resto de los tratamientos presentaron medias, que fluctuaron entre 504 y 1.500 unidades/ha (Figura 2B); de la interacción, además se pudo concluir, que cuando los naranjos han sido severamente afectados por *Phytophthora* spp., ningún producto es efectivo para incrementar el número de frutos.

Peso de frutos. Un año después de haberse iniciado las aplicaciones de los productos químicos y el biológico *T. harzianum* para el manejo de la *Phytophthora* spp., el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos, grados de ataque de la enfermedad ($p = 0,01$) y la interacción tratamiento*grado de ataque ($p = < 0,0021$); la prueba de Duncan al 5% de probabilidad indicó que la mejor media fue para el tratamiento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con una producción de 421,40 kg/ha (Tabla 2), mostrando un efecto positivo de estos ingredientes, aunque no deja de ser un peso bajo; sin embargo, cabe resaltar que las aplicaciones de fungicidas están dirigidas, inicialmente, a optimizar el sistema radical y, una vez éste ha sido restablecido, en casi su totalidad, mejorará notablemente la absorción de nutrientes y agua, lo que, al final, repercutirá en los rendimientos (Delgado *et al.* 1991; Gimenez, 1991). El segundo mejor peso fue para oxadixil + mancozeb, tratamiento con el cual se logró una producción de 182kg/ha, un valor bajo, teniendo en cuenta que es casi la mitad del alcanzado con fosetil + propamocarb inyectados al tallo (421,40kg/ha) (Tabla 2). Los resultados de esta aplicación, tanto en el peso como el número de frutos, no fueron satisfactorios y solo mostraron una recuperación parcial, a nivel radical, lo que permite concluir que oxadixil + mancozeb pueden ser efectivos, cuando la enfermedad se encuentra en sus etapas iniciales o cuando se emplean en el manejo preventivo.

Los rendimientos para los naranjos tratados con *T. harzianum* fueron de 72,80kg/ha sin diferencias estadísticas frente al testigo, con el que se obtuvo 49,14kg/ha (Tabla 2); es evidente que el producto biológico no pudo detener el avance del patógeno, a través del ápice de las raíces y como se había mencionado, para alcanzar buenas cosechas es necesario lograr, inicialmente, la recuperación del sistema radical, hecho que a largo plazo permitirá una mayor producción.

Los promedios por cada grado de ataque de la enfermedad evidenciaron diferencia estadísticas; la mayor media fue para los árboles ligeramente afectados, con 26,60kg/ha y los naranjos severamente afectados presentaron una producción baja, 10,75kg/ha (Tabla 3).

Si se analiza la interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad, se concluye que fosetil + propamocarb inyectados al tallo fue el único que mostró incrementos significativos en la producción (678kg/ha) (Figura 2C), pero solo en árboles ligeramente afectados. En relación a lo anterior, Pegg *et al.* (1987) reportaron que en aguacate, la efectividad de los fosfonatos solo se aprecia un año después de la primera aplicación y transcurridos dos años es cuando se elevan los rendimientos, hasta 5,5t/ha; de otro lado, Coffey & Guillerment (1984), al trabajar con el cultivar Fuerte en aguacate, lograron una transición de 6,3 a 29,2kg/árbol, luego de 36 meses del tratamiento con fosetil aluminio, lo que permite deducir, que si bien es cierto que fosetil + propamocarb inyectados al tallo logran recuperar el sistema radical de los naranjos, éste es un proceso lento. Para oxadixil + mancozeb, se observó una producción de 300kg/ha, es decir, 50% menos de la lograda con fosetil + propamocarb inyectados al tallo (678kg/ha) (Figura 2C) y que al compararse con el número y peso seco de raíces, demuestra que la mezcla de estos ingredientes activos pueden restituir el sistema radical de los naranjos, aunque los incrementos en los rendimientos lleguen a ser casi imperceptibles. Referente a los árboles severamente afectados por *Phytophthora* spp., ninguno de los tratamientos permitió obtener aumentos del peso de frutos, pues tal como lo afirman Piccone *et al.* (1988) y Coffey (1991), la efectividad de los fungicidas para el manejo de este patógeno, se encuentra condicionada al estado inicial de los árboles tratados.

Detección de *Phytophthora* spp. En cuanto a los árboles ligeramente afectados, las inmunocintas detectaron la presencia del patógeno en solo uno de los naranjos tratados con fosetil + propamocarb en inyección al tallo, seguido de oxadixil + mancozeb, con dos naranjos y, finalmente, fosetil + propamocarb, aplicados al suelo, fosetil + propamocarb + CaO + carbono orgánico oxidable + ácidos carboxy + auxinas + citoquininas + ácidos carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado y dimetomorf + clorotalonil, con cuatro árboles cada uno; para el testigo, la prueba fue positiva en los cinco naranjos empleados. Lo anterior valida los resultados del presente trabajo y ratifica a fosetil + propamocarb en inyección al tallo, como una de las mejores alternativas, para el manejo de la pudrición de raíces en cítricos.

En los árboles severamente, los tratamientos con fosetil + propamocarb en inyección al tallo, citoquininas + ácidos

carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado, dimetomorf + clorotalonil y oxadixil + mancozeb indicaron la presencia de *Phytophthora* spp., en cuatro de los cinco naranjos utilizados, a excepción de fosetil + propamocarb aplicados al suelo, en el que se detectó al patógeno en tres de los árboles y el testigo, en el que la prueba fue positiva, para los cinco árboles. La mezcla de fosetil + propamocarb en inyección al tallo es solo efectiva en naranjos ligeramente afectados.

Costos. La mezcla de fosetil + propamocarb inyectada al tallo fue el tratamiento más económico, con un costo total de \$1.338.400, debido a que el método inyección al tallo, permitió reducir el volumen de agua empleado, la frecuencia de aplicación, el costo total de los jornales y, por consiguiente, los costos variables (CV) (Tabla 4); el tratamiento más costoso fue *T. harzianum*, con \$8.307.200, valor que se debe, en parte, a que fueron necesarios alrededor de 56 L/ha de producto, para una sola aplicación (Tabla 4).

Teniendo en cuenta la producción promedio anual y el precio de comercialización de la naranja Salustiana, durante el 2013, que fue de \$730/ kg, se calculó el beneficio bruto (BB), la diferencia entre el BB y los CV, dando como resultado la relación costo-beneficio (CB) (Tabla 4) y observándose que ninguna de las aplicaciones fue capaz de brindar al agricultor un beneficio económico, un indicador de suma importancia al momento de seleccionar la estrategia a emplear, para el manejo de un patógeno; por lo cual, se procedió a realizar una proyección de los rendimientos, pero solo para fosetil + propamocarb inyectados al tallo, debido a que fue el único tratamiento con el que se obtuvo diferencias significativas, en las variables evaluadas.

La proyección, se realizó para cuatro años, así que, considerando la producción promedio anual del testigo y la de fosetil + propamocarb, se estimó un incremento del 161%, es decir, que para el 2014 - 2015 y 2016 sería de 1.986,23 – 3.197,99 y 5.148,76kg/ha, respectivamente; sin embargo, estos valores son bajos, si se comparan con los de un huerto sano a los diez años de edad, en el que los rendimientos son de aproximadamente 51.613kg/ha; de la proyección, además se infirió que durante el 2014 - 2015 y 2016 la relación costo-beneficio puede llegar a ser positiva, logrando valores de \$70.797 - \$1.077.771 y \$2.746.246, respectivamente, pero no se obtendría un retorno económico para el agricultor.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por Agronuevomundo y las empresas Ankor S.A.S., Bayer®, Cheminova®, FMC®, Innovak® y Proficol®.

Tabla 4. Costo-beneficio de la aplicación de los productos químicos y el biológico *Trichoderma harzianum*, para el manejo de *Phytophthora* spp. en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki.

Tratamiento	Producción promedio anual (kg/ha)	BB (\$)	CV (\$)	CB (\$)
(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	636,40	464.572	5.619.000	-5.154.428
Fosetil aluminio	666,05	486.217	3.603.200	-3.116.983
Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	1.233,68	900.586	1.338.400	-437.814
Fosetil + Propamocarb (al suelo)	739,05	539.507	3.964.400	-3.424.893
(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado)	585,92	427.723	5.753.200	-5325477
Dimetomorf + Clorotalonil	503,20	367.336	2.851.200	-2.483.864
Oxadixil + Macozeb	732,70	534.870	3.251.200	-2.716.330
Benalaxil + Clorotalonil	510,40	372.592	5.648.967	-5.276.375
<i>Trichoderma harzianum</i>	403,06	294.233	8.307.200	-8.012.967
Testigo	471,10	343.930	0	343.930

BIBLIOGRAFÍA

- AGDIA®. 2010. Agdia releases easy-to-use ImmunoS-trip® for detection of *Phytophthora* species. Disponible desde Internet en: www.agdia.com (con acceso 22/09/2013).
- AZEVEDO, L. 2007. Fungicidas sistêmicos: prática e teoria. 1ª ed. Ed. EMOPI. (Campinas). 283p.
- CACCIOLA, O.; DI SAN LIO, G. 2008. Management of citrus diseases caused by *Phytophthora* spp. In: Ciancio, K.; Mukerji, J. (eds). Integrated Management of Diseases Caused by Fungi, Phytoplasma and Bacteria. Springer (Italy). p.2-25.
- COFFEY, M. 1991. Cause and diagnosis of avocado root rot. California Grower. 15(3):17-23.
- COFFEY, M.; GUILLEMET, F. 1984. Chemical control of *Phytophthora cinnamomi* on avocado rootstocks. Am. Phytopath. Soc. 68(11):956-958.
- COTES, A. 2014. Control biológico de enfermedades de plantas en Colombia. En: Bettiol, W.; Rivera, M.; Mondino, P.; Montealegre, A.; Colmenárez, Y. (eds). Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Ed. Universidad de Uruguay. p.169-179.
- DARVAS, J.; TOERIN, C.; MILNE, D. 1984. Control of Avocado Root Rot by Trunk Injection with Phosethyl-Al. Plant Disease. 68:691-693.
- DELGADO, R.; SUÁREZ, M.; CASAMAYOR, R. 1991. Efectos del fosetil-Al en cítricos. Influencia sobre los rendimientos. Rev. Interam. Cienc. Agrícolas Turrialba. 41(4):488-492.
- ERWIN, D.; RIBEIRO, O. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. Am. Phytopath. Soc. (St. Paul. Minnesota). 562p.
- FENN, M.; COFFEY, M. 1985. Further evidence for the direct mode of action of phosetyl-Al and phosphorous acid. Phytopath. 75:1064-1068.
- FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – FRAC-. 2007. QoI working group. Disponible desde interne en: <http://www.frac.info> (con acceso 23/08/2007).
- GARCÍA, H.; MARÍN, M.; JARAMILLO, S.; COTES, M. 2008. Sensibilidad de aislamientos colombianos de *Phytophthora infestans* a cuatro fungicidas sistêmicos. Agr. Col. 26(1):47-57.
- GIMENEZ, I. 1991. Ensayos sobre la translocación en plantas de fungicidas sistêmicos. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas. (España). 17:497-518.

14. GISI, U.; BINDER, H.; RIMBACH, E. 1985. Synergistic interactions of fungicides with different modes of action. *Transact. Brit. Mycol. Soc.* 85:299-306.
15. GUEST, D.; BOMPEIX, G. 1990. The complex mode of action of phosphonates. *Austral. Plant Path.* 19(4):113-115.
16. GUSMAO, J.; BROETTO, F.; SALIBE, A.; FEICHTENBERG, E. 2008. Alteração na actividade de peroxidase e concentração de fenóis em microtangerinas (*Citrus spp.*) infecadas por *Phytophthora parasítica*. *Braz. J. Biosciences.* 6:1-5.
17. ICA. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo de los cítricos (*Citrus*). Ed. Produmedios (Colombia). 24p.
18. LATORRE, B.; ANDRACA, F.; BESOAIN, X. 1998. Tristeza del palto. *Aconex.* 59:18-23.
19. Mc MILLAN, R.; TEPPER, B. 1985. Avocado stem injection of fosetyl-Al for control of *Phytophthora* root rot. *Proc. Fl. State Hort. Soc.* 98:143-144.
20. MEDINA, Y. 2000. *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. Medidas de control. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1060/cuf0022s.pdf> (con acceso 23/08/2012).
21. MOUNDE, L.; ATEKA, E.; KIHURANI, A.; WASILWA, L.; THURANIRA, E. 2009. Occurrence and distribution of citrus gummosis (*Phytophthora spp.*) in Kenya, Africa. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 2:56-68.
22. PEGG, K.; WHILEY, A.; LANGDON, P.; SARANAH, J. 1987. Comparison of phosetyl-Al, phosphorus acid and metalaxyl for long-term control of *Phytophthora* rot of avocado. *Austral. J. Exp. Agr.* 27:471-474.
23. PÉREZ, A.; ARANGÜREN, M.; LUZBET, R.; RÍOS, M. 2004. Empleo de *Trichoderma sp.* para el control de lesiones causadas por *Phytophthora spp.* en troncos y ramas en árboles de pomelo Ruby Red. *Centro Agrícola. (Cuba).* 3 (4):102-103.
24. PICCONE, M.; WHILEY, A.; PEGG, K. 1988. Trunk injection. *Austral. Hort.* 1:5-7.
25. ROMERO, F. 2004. Manejo integrado de plagas: Las bases, los conceptos su mercantilización. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo (Mexico). 103p.
26. R PROJECT. 2014. Version 2.15.0. Development core team: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Berkeley, USA. ISBN 3-900051-07-0. Disponible desde Internet en: <http://www.r-project.org> (con acceso 21/02/2014).
27. SILVA, K.; REBOUÇAS, T.; PEREIRA, M.; SILVA, D.; SÃO, A.; SABIN, C. 2008. Atividade antagônica *in vitro* de isolados de *Trichoderma spp.* ao fungo *Phytophthora citrophthora*. *Agron.* 29(4):749-754.
28. SMITH, V.; WILEOX, F.; LLARMAN, G. 1990. Potential for biological control of *Phytophthora* root and crown rots of apple by *Trichoderma sp.* and *Gliocladium sp.* *Phytopath.* 80(9):880-885.
29. TAIZ, L.; ZEIGER, G. 2006. Fisiología Vegetal. Ed. Universitat Jaume. (España). p 84-92.
30. TIMMER, L.; GARNSEY, S.; GRAHAM, J. 2000. Compendium of citrus diseases. APS Press (St. Paul. Minnesota). 128p.
31. TUSET, J.; HINAREJOS, C.; MIRA, J.; MARTÍNEZ, J.; CEBOLLA, V. 1997. Actividad y eficacia del control integrado de los hongos del suelo y de la conservación de los cítricos mediante antagonistas microbiológicos y sustancias antifúngicas naturales. Disponible desde Internet en: <http://www.inia.es/gcontrec/Proyectos/resultados-97/Agricola/sc94-034.pdf> (con acceso 12/03/2014).
32. TUSET, J.; PEÑA, I.; GARCÍA, J. 2003. Efecto fungitóxico del ácido fosforoso en naranjo dulce a la infección con zoosporas de *Phytophthora citrophthora*. *Bol. San. Veg. Plagas.* 29: 413-420.
33. TUTTLE, M. 2004. What ares fungicides? Disponible desde internet en: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/fungicides.aspx> (con acceso 11/06/2015).

Recibido: Mayo 4 de 2015
Aceptado: Septiembre 9 de 2015

Cómo citar:

Pabón-Villalobos, J.; Castaño-Zapata, J. 2015. Evaluación de productos químicos y uno biológico para el manejo de *Phytophthora spp.* en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 339-349.