

ANÁLISIS EPIDEMIOLÓGICO Y CONTROL DE *Sclerotium cepivorum* Berk. Y LA PUDRICIÓN BLANCA EN AJO

Vanessa Rojas¹, Dilcia Ulacio¹, María Auxiliadora Jiménez¹, Wilfredo Perdomo¹ y Adriana Pardo¹

RESUMEN

El ajo es un cultivo importante dentro de las hortalizas por sus cualidades culinarias y medicinales. Su calidad y rendimiento se ven afectados por el hongo *Sclerotium cepivorum* causante de la pudrición blanca, que puede limitar totalmente la producción. El objetivo de la investigación fue evaluar la densidad y viabilidad de *Sclerotium cepivorum*, la enfermedad que produce y el rendimiento del ajo, bajo prácticas culturales y biológicas de control. Se conformaron los tratamientos en un arreglo 2³ los factores: incorporación de brócoli (Bro), calcio (Ca) y *Trichoderma harzianum* (Tri) a dos niveles (con y sin el factor) en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. Se registró la densidad y viabilidad del inóculo al inicio (DII y VII, respectivamente), a los 90 días (DIM y VIM) y al final del experimento (DIF y VIF); la incidencia de la enfermedad (IE), tiempo de inicio de la enfermedad (To) y rendimiento del cultivo. Se estimó la tasa de incremento de la enfermedad (b⁻¹) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Bro, Tri y Ca afectaron significativamente al patógeno y la incidencia de la enfermedad. En el rendimiento del cultivo no hubo diferencias estadísticas. La mayor reducción de la viabilidad del inóculo a los 90 días y al final del ciclo de cultivo, menor IE, mayor To, menor b⁻¹ y menor ABCPE, correspondieron a los tratamientos donde se involucró el brócoli solo o en combinación con calcio y/o *Trichoderma*, lo que indicó su potencialidad de uso en áreas comerciales.

Palabras clave adicionales: Brócoli, calcio, hongo del suelo, *Trichoderma harzianum*

ABSTRACT

Epidemiological analysis and control of *Sclerotium cepivorum* Berk. and white rot disease in garlic (*Allium sativum* L.)

The garlic is an important crop among vegetables due to its edible and medicinal properties. Its quality and yield are affected by the fungus *Sclerotium cepivorum* which causes the white rot disease that can drastically limit the crop yield. The objective of this research was to evaluate the density and viability of the fungus, the disease incidence, and the garlic yield under cultural and biological practices of control using a completely randomized block design with five replications and 2³ factorial arrangement of treatments. The factors were applications of Broccoli (Bro), calcium (Ca) or *Trichoderma harzianum* (Tri), each at two levels (with or without the factor). The inoculum density and viability were registered at the beginning (IID and IIV, respectively), at day 90 (MID and MIV), and at the end of the experiment (FID and FIV). The disease incidence (DI), disease initiation time (To), and garlic yield (Yi) were also recorded, along with the disease increase rate (b⁻¹) and the area under the disease progress curve (AUDPC). Bro, Tri and Ca significantly affected the pathogen and the disease. The crop yield was not affected. The largest reduction of inoculum viability at day 90, and at the end of the experiment, the lowest DI, the largest To, and the lowest b⁻¹ and AUDPC were obtained in treatments where broccoli was applied individually or combined with calcium and/or *Trichoderma*, thus showing its potential for using in commercial areas.

Additional key words: Broccoli, calcium, soilborne fungi, *Trichoderma harzianum*

INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum*) es una de las hortalizas más antiguas usadas por el hombre; representa uno de los cultivos importantes dentro de este grupo por sus cualidades culinarias y medicinales (Schwartz y Mohan, 2008). Uno de los problemas fitosanitarios que lo afectan es

ocasionado por el hongo *Sclerotium cepivorum*, agente causal de una de las enfermedades más devastadoras e importantes dentro del cultivo del ajo, la pudrición blanca. *S. cepivorum* afecta solamente a las especies de *Allium* desarrollando estructuras de resistencia que tienen la capacidad de sobrevivir en el suelo por más de 20 años, sin perder su efectividad, razón por la cual su control

Recibido: Febrero 27, 2009

Aceptado: Julio 1, 2010

¹ Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: vanecrr@gmail.com; dilciau@ucla.edu.ve

es difícil (Schwartz y Mohan, 2008). La germinación de estas estructuras es estimulada por compuestos de azufre (sulfóxidos de alqueno y alquilo) presentes en los exudados radicales del cultivo (Coley et al., 1990).

La pudrición blanca afecta directamente el producto comercial (bulbo), causando pérdidas que pueden llegar al 100 % (Crowe et al., 1980). La misma se presenta en las zonas productoras de ajo en Venezuela y otras partes del mundo (Schwartz y Mohan, 2008).

Se han recomendado diferentes métodos para su prevención y control, entre ellas se tiene el uso de químicos (Delgadillo et al., 2002), la solarización (Pereira et al., 1996; Ulacio et al., 2006), la incorporación de materia orgánica al suelo (Pereira et al., 1996; Ulacio et al., 2003), la aplicación de antagonistas tales como *Trichoderma* (Ulacio et al., 2003; 2006), la rotación de cultivos principalmente con crucíferas, como el brócoli (Pereira et al., 1996; Ulacio et al., 2006; Zavaleta, 1999) y la aplicación de calcio (Rojas et al., 2009); las dos últimas prácticas en condiciones experimentales. No obstante, se ha demostrado que una sola alternativa de control no es suficiente para manejar al hongo y por ende, a la enfermedad que produce (Ulacio et al., 2003).

Los objetivos de esta investigación fueron analizar el comportamiento epidemiológico de la densidad y viabilidad del inóculo de *Sclerotium cepivorum*, así como la incidencia de la pudrición blanca y el rendimiento del ajo (*Allium sativum* L.) bajo diferentes estrategias de manejo que incluyó la incorporación de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), nitrato de calcio y *Trichoderma harzianum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó suelo naturalmente infestado con *S. cepivorum* (promedio de 0,13 esclerocios·g⁻¹ de suelo) colectado en una parcela de la finca La Fila, ubicada en el municipio Jiménez, estado Lara, Venezuela, a una altitud de 1500 msnm. Las porciones del suelo fueron mezcladas entre ellas y repartidas en 40 envases plásticos de 0,30 x 0,25 m y una profundidad de 15 cm. Los mismos, se colocaron a cielo abierto en la finca mencionada. En cada envase se colocaron 25 semillas agronómicas (dientes) de ajo tipo morado criollo,

aparentemente sanos, provenientes de cosechas anteriores. La colocación de este exceso de semillas por bandeja tuvo el objeto de forzar la diseminación del patógeno planta a planta, de manera de poder comprobar el efecto de las estrategias evaluadas.

Se estableció un experimento factorial 2³ consistente en la incorporación de brócoli (Bro), incorporación de calcio (Ca), e incorporación de *Trichoderma harzianum* (Tri), cada uno a dos niveles (con el factor o sin él), en un diseño en bloques al azar con cinco repeticiones. El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), adquirido en el mercado local, se incorporó al suelo 15 días antes de la siembra del ajo a razón de 300 g de material cortado en trozos de aproximadamente 2 cm por repetición, equivalentes a 4 kg·m⁻² (Ulacio et al., 2006). La cepa de *Trichoderma harzianum* utilizada fue la contenida en el producto comercial Tricom, incorporando al suelo 6 g por repetición a los 0, 30, 60 y 90 días después de la siembra, de acuerdo a la metodología de Ulacio et al. (2003). La incorporación del calcio al suelo se hizo en forma de nitrato de calcio, cada 15 días hasta los 60 días de desarrollo del cultivo, iniciando la aplicación 15 días después de la siembra del ajo (Rojas et al., 2009), disolviendo 1 g del producto en 500 mL de agua.

Durante el desarrollo del experimento se evaluó la densidad y la viabilidad del inóculo al inicio (DII y VII, respectivamente), a los 90 días (DIM y VIM) y al final, o sea, a los 140 días (DIF y VIF) después de la aplicación de los tratamientos. Asimismo, se registró el tiempo de inicio de la enfermedad (To) tomando en cuenta la aparición de los primeros síntomas, la incidencia de la enfermedad (IE) determinada en porcentaje mediante la cuantificación de las plantas enfermas con relación al total, la tasa de velocidad de la epidemia estandarizando al modelo de Weibull (b⁻¹) el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de acuerdo al método de integración trapezoidal, y el rendimiento del cultivo.

Para evaluar la densidad de esclerocios en el suelo, se tomaron cinco submuestras de cada repetición, las cuales se mezclaron para obtener una muestra compuesta. Se procesaron tres alícuotas de 30 g de suelo cada una para extraer los esclerocios mediante la técnica del tamizado húmedo (Papavizas, 1972) usando tamices de

150 μm (N° 100) y 850 μm (N° 20). Para evaluar la viabilidad de los esclerocios, los mismos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 1 % por un minuto, lavados con agua destilada estéril y una vez secos fueron triturados y colocados en cilindros de agar-agua, de acuerdo a la metodología usada por Ulacio et al. (2006).

Se realizó análisis de varianza, y prueba de comparación de medias según Tukey, para detectar la influencia de los efectos principales (incorporación de brócoli, calcio y *T. harzianum*) y sus combinaciones. Se aplicó un análisis de correlación de Pearson entre la incidencia de la enfermedad, y la densidad y viabilidad de los esclerocios y rendimiento del cultivo. Para todos los análisis se utilizó el programa SAS, versión 6,12 (Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad y viabilidad de *Sclerotium cepivorum*.

La incorporación de brócoli en forma individual causó la mayor reducción de la densidad y viabilidad del inóculo hasta el final del ensayo con 53,3 y 73,9 %, respectivamente, en relación a los valores iniciales (Cuadro 1). Se evidenció el efecto significativo de la incorporación de brócoli en la densidad de inóculo a los 90 días de desarrollo del cultivo (DIM) y en la viabilidad final (VIF) de los esclerocios del hongo (Cuadro 2), evaluada a la cosecha del ajo, con respecto a aquellos tratamientos donde no se incorporó esta crucífera. Las otras variables relacionadas con el inóculo (VIM y DIF) se comportaron de manera estadísticamente similar en presencia de este factor.

Cuadro 1. Efecto de *Trichoderma*, calcio y brócoli, aplicados solos o combinados, sobre la densidad y la viabilidad del inóculo de los esclerocios de *Sclerotium cepivorum*, y tiempo de inicio de la enfermedad (To)

Tratamientos	Densidad de inóculo ($\text{g}^{-1}\cdot\text{suelo}$) ¹				Viabilidad del inóculo (%) ¹				To (días)
	DII	DIM	DIF	Red ²	VII	VIM	VIF	Red ³	
Testigo (Test.)	0,11	0,12	0,11	0	67,7	57,7	49,3	27,2	104
Trichoderma (Tri)	0,11	0,095	0,06	46,9	74,0	30,3	28,7	61,2	120
Calcio (Ca)	0,12	0,14	0,15	+25,0	65,6	32,8	33,1	49,5	111
Ca*Tri	0,17	0,07	0,19	+11,8	71,2	17,5	41,8	41,3	111
Brócoli (Bro)	0,15	0,08	0,07	53,3	80,8	49,2	21,1	73,9	-
Bro*Tri	0,13	0,06	0,15	+15,4	58,8	27,7	28,5	51,5	113
Bro*Ca	0,14	0,095	0,08	42,9	70,9	33,9	21,9	69,0	113
Bro*Ca*Tri	0,12	0,08	0,09	25,0	90,3	41,1	30,5	66,2	111

¹ Cada cifra representa el promedio de cinco repeticiones ² Reducción porcentual entre la densidad inicial y final del inóculo; ³ Reducción porcentual entre la viabilidad inicial y final del inóculo; DII, DIM y DIF: Densidad de inóculo al inicio, a los 90 días y al final; VII, VIM y VIF: Viabilidad de inóculo al inicio, a los 90 días y al final. El signo + significa que no hubo reducción sino incremento

Estos resultados coinciden con los de Ulacio et al. (2006), quienes obtuvieron una reducción de 44% en la viabilidad de los esclerocios al incorporar brócoli al suelo. De acuerdo a estos autores, algunos compuestos liberados de los exudados radicales emanados durante el desarrollo de esta crucífera y posterior descomposición pudieron ser la causa de intoxicación de gran parte de estos esclerocios. En tal sentido, Kirkegaard et al. (1996) y Lewis y Papavizas (1971) han señalado que los compuestos volátiles que se liberan durante la descomposición de las crucíferas (sulfuros de alilo, isothiocianatos,

mercaptanos y nitrilos, entre otros) pueden inhibir la germinación de propágulos fungales con origen en el suelo. Smolinska y Dyki (2002) demostraron que la adición de residuos de mostaza (*Brassica juncea*) redujo el número de esclerocios de *S. cepivorum*, debido a la alta concentración de isotiocianatos en esos tejidos.

Con respecto a la incorporación de nitrato de calcio, el efecto sobre el hongo se detectó en la viabilidad al disminuir el porcentaje y mantener la reducción hasta el final del cultivo (Cuadro 1), comprobándose su potencial para limitar el ataque de los propágulos del hongo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de tratamientos con presencia o ausencia de *Trichoderma*, calcio o brócoli sobre variables epidemiológicas de *Sclerotium cepivorum* y rendimiento del ajo

Tratamiento	DIM	DIF	VIM (%)	VIF (%)	IE (%)	b ⁻¹	ABCPE	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
Sin Brócoli	0,10 a	0,12 a	34,5 a	38,2 a	9,5 a	0,00110 a	0,131 a	5348,0 a
Con Brócoli	0,07 b	0,10 a	37,9 a	25,5 b	4,2 b	0,00002 b	0,063 b	5899,3 a
Sin Calcio	0,09 a	0,10 a	41,2 a	31,8 a	10,8 a	0,00097 a	0,5188 a	5401,3 a
Con Calcio	0,09 a	0,12 a	31,3 a	31,8 a	3,0 b	0,00015 b	0,0431 b	5843,3 a
Sin <i>Trichoderma</i>	0,11 a	0,10 a	43,4 a	31,3 a	7,0 a	0,00063 a	0,0994 a	5523,3 a
Con <i>Trichoderma</i>	0,07 b	0,12 a	29,2 b	32,4 a	6,8 a	0,00050 a	0,0956 a	5721,3 a
Correlación con IE (r)	0,35	-0,17	0,37	0,56	-	-	-	-0,93

DIM y DIF: Densidad de inóculo a los 90 días y al final; VIM y VIF: Viabilidad de inóculo a los 90 días y al final; IE: Incidencia de la enfermedad; b⁻¹: Tasa de incremento de la enfermedad; ABCPE: Área bajo la curva de progreso de la enfermedad; Rend: Rendimiento de ajo

Al realizar cortes en el bulbo y la raíz de las plantas se comprobó que la aplicación de nitrato de calcio en el suelo evidenció un aumento en el grosor de la pared y área celular de la raíz en todos aquellos tratamientos donde se aplicó calcio (datos no mostrados), situación que constituye una barrera para la alimentación del hongo y ocasiona debilidad y posterior muerte de las estructuras de resistencia (Rojas et al., 2009).

La incorporación de *Trichoderma* de forma individual presentó potencial al reducir en un 46,9 % la densidad final de inóculo con respecto a la inicial (Cuadro 1). Asimismo, ejerció un efecto importante en la viabilidad tanto a los 90 días después de la siembra del cultivo como al final, reduciéndola en 61,2 %. El *Trichoderma* fue el único tratamiento que, aplicado individualmente, logró disminuir simultáneamente la densidad y viabilidad de los esclerocios. Cabe resaltar que en el testigo también se detectó una reducción de la densidad y viabilidad del inóculo al final del ciclo de cultivo; no obstante, es frecuente que suceda de manera natural por las diversas interacciones químicas y/o biológicas que se suscitan en el suelo (Ulacio et al., 2006).

La prueba de comparación de medias (Cuadro 2) detectó el efecto significativo del antagonista ($P \leq 0,05$), tanto en la densidad como en la viabilidad de los esclerocios a los 90 días del cultivo.

La capacidad antagonista de *Trichoderma*, principalmente la especie *harzianum*, ha sido ampliamente señalada (Papavizas y Lumsden, 1980; Paulitz y Belanger, 2001; Ulacio et al., 2002) y en los últimos años se ha estado

investigando su función como inductor del crecimiento (Yossen et al., 2003) y de las respuestas de defensa de las plantas (Yedia et al., 1999; Riveros, 2001). El antagonismo ha sido estudiado contra patógenos con origen en el suelo tales como *Rhizoctonia solani* (Ulacio et al., 2002), y *Sclerotium cepivorum* (Ulacio et al., 2003; Clarkson et al., 2004; Ulacio et al., 2006). Los estudios se han enfocado en su capacidad de competir por el sustrato, por difusión de metabolitos (antibiosis) o como depredador (Ulacio et al., 2002).

En el caso de la combinación brócoli-calcio (Bro*Ca), hubo una reducción progresiva tanto de la densidad como de la viabilidad del inóculo (Cuadro 2). No obstante, los resultados observados en los factores individuales evidencian que la incorporación del brócoli (Bro), tuvo un mayor aporte en la reducción de esta variable, corroborando su efecto biofumigante.

Poco se ha explorado el impacto que produce la combinación de brócoli con *Trichoderma*, en el manejo de *S. cepivorum* (Ulacio et al., 2006). En el presente trabajo, la reducción de la viabilidad de los esclerocios a la mitad del ciclo del cultivo (VIM) por efecto de esta combinación se mantuvo hasta el final del ensayo (VIF) (Cuadro 1). De acuerdo a estos resultados la combinación de sustancias tóxicas emanadas tanto del brócoli como de *Trichoderma* debió causar la muerte de gran parte de los esclerocios germinados, evidenciándose compatibilidad entre los componentes residuales de la crucífera y el antagonista.

El efecto de la combinación calcio-

Trichoderma (Ca*Tri) sobre la viabilidad del inóculo a los 90 días (VIM), supone que el efecto fue aditivo, en comparación con la incorporación individual. Se pudo observar una alta reducción de la viabilidad de los esclerocios (de 71,2 a 17,5 %) a los 90 días de desarrollo del cultivo cuando se combinaron los factores que cuando se aplicaron solos (Cuadro 1). Sin embargo, esto no se mantuvo hasta el final del ensayo, sugiriendo que posiblemente debió reforzarse con mayor dosis de *Trichoderma* y/o de calcio, en el transcurso del ciclo de cultivo o que esta combinación pudiera ser efectiva hasta el final del ciclo, con una menor densidad de inóculo presente en el suelo.

En general, la mayor reducción en la densidad de inóculo del hongo a los 90 días después de la siembra y una considerable reducción en la viabilidad se observó en aquellos tratamientos donde se combinaron dos factores (Ca*Tri o Bro*Tri). Dichos resultados indican que combinando alternativas de control se puede combatir de manera más eficiente a la pudrición blanca, pues no sólo disminuyó el número de esclerocios sino que también afectó la viabilidad de los que permanecieron en el suelo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ulacio et al. (2003) y Ulacio et al. (2006) quienes también obtuvieron mejores resultados contra *S. cepivorum* al aplicar más de una alternativa, bien de tipo cultural, biológico y/o físico.

Incidenia de la enfermedad. En el testigo, la enfermedad se inició a los 104 días (To) posteriores a la siembra, mientras que en la mayoría de los tratamientos, el registro se retrasó de 7 a 16 días, con respecto al testigo (Cuadro 1). El mayor atraso se observó en el tratamiento Bro, con un To de 120 días. En Bro*Ca no se observó la enfermedad (Cuadro 1; Figura 1). Este último resultado indica que la aplicación combinada de estas dos alternativas contribuyó con la inactivación, hasta el final del cultivo, de aquellos esclerocios del patógeno que quedaron viables.

De acuerdo a Pinto et al. (1998) y Schwartz y Mohan (2008), los síntomas usualmente se observan alrededor de los 60 días de desarrollo del ajo, pero pueden diferirse en forma natural como consecuencia de la densidad de inóculo presente, las condiciones del hospedante y a la duración de las condiciones en el suelo, tal como ocurrió en el

tratamiento testigo de la presente investigación. Por otra parte, Coley-Smith et al. (1990) y Entwistle (1990) señalaron que los esclerocios de hongo pueden mantenerse en estado inactivo por la influencia fungistática de los componentes del suelo, presentando una dormancia exógena; no obstante, estas estructuras también pueden presentar una dormancia constitutiva o endógena que puede durar de uno a tres meses, aun en presencia de las plantas hospedantes. Según Entwistle (1990), la dormancia endógena puede ser producto no sólo de las condiciones de temperatura sino también de la patogenicidad de *S. cepivorum*.

El retraso en la aparición de la enfermedad pudiera atribuirse a algunas de las causas tanto exógenas como endógenas, discutidas anteriormente; sin embargo, el hecho de que no se presentara la pudrición blanca en uno de los tratamientos, indicó que efectivamente hubo un efecto en el patógeno que retrasó por mayor tiempo el período de dormancia.

La baja intensidad de daño en el testigo, producto de la inactivación del inóculo inicial del hongo en las primeras etapas del ciclo del ajo, se vio reflejado en el comportamiento monocíclico de la enfermedad desde la semana 14 hasta la 17 (Figura 1), momento en el cual se produjo un punto de inflexión en la curva que indicó el inicio de la diseminación del micelio de *S. cepivorum* a través de las raíces, interrumpido por la cosecha del cultivo. Sin embargo, es evidente en la figura el efecto que produjo en el hongo la aplicación de las alternativas de manejo, al compararlas con el testigo.

Tanto la incidencia (IE), como la tasa de incremento (b^{-1}) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), fueron afectados significativamente por los factores calcio y/o brócoli, no así por *Trichoderma* (Cuadro 2). Esto sugiere que la aplicación del antagonista requiere mayor evaluación en cuanto a densidad de inóculo de *S. cepivorum*, dosis, momentos y modos de aplicación. Llama la atención que a pesar de que hubo una reducción importante tanto en la densidad como en la viabilidad de los esclerocios al aplicar *Trichoderma* individualmente (Cuadro 1), la incidencia de la enfermedad fue similar al testigo, a diferencia de lo sucedido en los tratamientos Ca y Bro (Figura 1A).

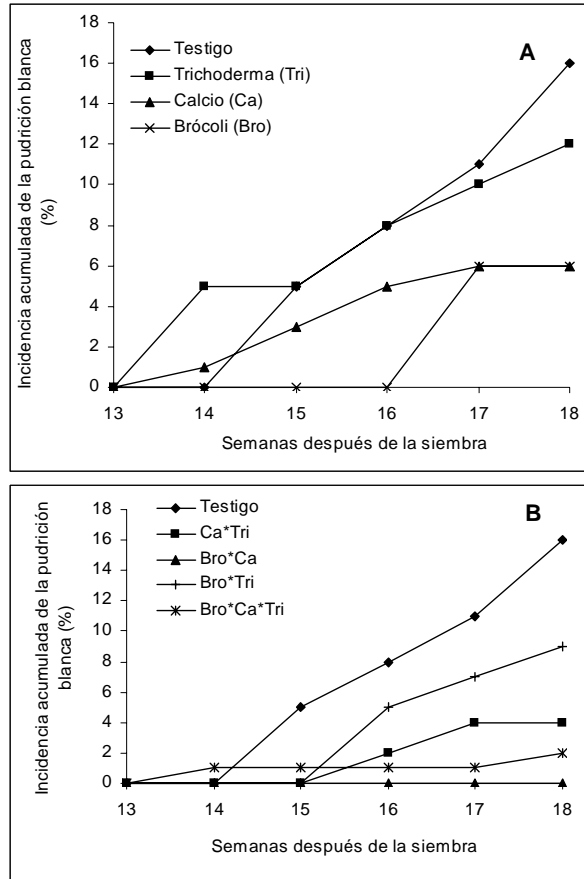


Figura 1. Incidencia acumulada de la pudrición blanca en ajo (*Allium sativum* L.) de un ensayo en envases plásticos a cielo abierto con diferentes estrategias de manejo. Finca La Fila, Municipio Jiménez. A. Tratamientos aplicados individualmente. B. Tratamientos con dos y tres factores.

Aparentemente, la capacidad parasítica de *S. cepivorum* aumentó en presencia del antagonista, cuando fue amenazada su sobrevivencia. No obstante, fue abatida en mayor o menor grado cuando *Trichoderma* se combinó con otra alternativa de manejo (Figura 1B). Esta situación también fue observada por Vivas (2006) en una investigación con diferentes estrategias de manejo contra *S. rolfsii* en caraota donde se encontró que el menor número de plántulas germinadas se observó en el tratamiento donde se aplicó el antagonista individualmente, en comparación con el testigo.

Ulacio et al. (2006) detectaron menor incidencia de la enfermedad en relación al testigo en parcelas donde se incorporó brócoli solo o en

combinación con estiércol de gallina y *Trichoderma*. En forma general, se ha encontrado que al incorporar residuos de crucíferas al suelo no sólo se obtienen reducciones significativas en el inóculo del patógeno bajo estudio, sino también en la pudrición que induce en el bulbo (Zavaleta, 1999).

La menor tasa de velocidad de la epidemia (b^{-1}) se presentó en los tratamientos que incluyeron brócoli o calcio (Cuadro 2). Este resultado se asocia con la inhibición de la germinación de los esclerocios del hongo, producto de un efecto tóxico por la liberación de los compuestos azufrados durante la descomposición de las crucíferas (Lewis y Papavizas, 1971; Kirkegaard et al., 1996), y con la resistencia del tejido por el aumento en el grosor de la pared celular de la raíz del ajo, lo cual dificultaría la penetración de las estructuras que permanecieron viables alrededor del sistema radical (Rojas et al., 2009).

A pesar de que tasas de velocidad de epidemias menores o iguales a 0,01, se pueden considerar muy lentas (Ulacio et al., 2006), se pudo evidenciar el escape de las plantas a la pudrición blanca, como consecuencia de la aplicación de estos tratamientos, tomando en consideración que las plantas estaban muy próximas unas de otras. Así mismo, se detectaron cambios en el ABCPE en aquellas unidades experimentales donde se combinaron dos y/o tres factores, al compararlas con el testigo (Figura 1B). Estos resultados coinciden, en parte, con los tratamientos que presentaron una mayor reducción de la VIM y la VIF (Cuadro 1).

El coeficiente de correlación de Pearson mostró que la incidencia de la enfermedad se asoció más con la viabilidad del inóculo que con su densidad (Cuadro 2), coincidiendo con quienes señalan que no siempre existe correlación directa entre la cantidad de esclerocios presentes y la incidencia de la pudrición blanca (Utkhede y Rahe, 1978); de allí la importancia de evaluar la viabilidad de los esclerocios.

Rendimiento. La emergencia de las plantas de ajo fue uniforme en todo el ensayo, obteniéndose entre un 98 a 100% de germinación. Al momento de la cosecha no se detectó efecto significativo ($P > 0,05$) de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo; no obstante, al agrupar los diferentes tratamientos en función de la presencia o ausencia

de determinado factor se observa sostenidamente que los rendimientos tendieron a aumentar cuando se aplicó brócoli, calcio o *Trichoderma*, solos o combinados entre ellos (Cuadro 2). Asimismo, el coeficiente de Pearson mostró una alta correlación inversa ($r = -0,93$) entre el rendimiento y la incidencia de la enfermedad.

Es posible que la sobrepoblación de plantas en cada unidad experimental, adicional a probables cambios drásticos en la temperatura del suelo, no permitieron detectar los beneficios en cuanto a inducción de crecimiento y mayor tamaño del producto cosechado que se ha detectado con la aplicación de estas prácticas en otras investigaciones (Windham et al., 1989; Rao et al., 1998; Ulacio et al., 2006).

CONCLUSIONES

La aplicación de brócoli, calcio y *Trichoderma harzianum* presentaron potencial para ser incluidos en un programa de manejo integrado de *Sclerotium cepivorum* y la pudrición blanca del ajo al disminuir la densidad y viabilidad del patógeno y parámetros epidemiológicos de la enfermedad.

De las tres alternativas aplicadas de manera individual, el brócoli fue la mejor para el control del patógeno, al reducir la densidad y viabilidad de los esclerocios de *S. cepivorum* al final del ciclo del cultivo con respecto al testigo. Este efecto en el patógeno fue detectado de manera significativa al combinarlo o no con calcio o *Trichoderma* y compararlo con aquellos tratamientos sin la aplicación de la crucífera.

El *Trichoderma* sólo presentó efecto significativo sobre la viabilidad de los esclerocios a los 90 días de desarrollo del cultivo, al combinarlo o no con calcio o brócoli.

El mayor impacto en el progreso temporal de la pudrición blanca se evidenció con la combinación brócoli*calcio en la cual no se presentó la enfermedad.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) por la subvención del proyecto 010-AG-2005. A la Sra. Ana Gómez por el apoyo en el

Laboratorio de Fitopatología del Decanato de Agronomía de la UCLA y al Sr. Miguel Betancort y familia, por facilitar las instalaciones de la finca La Fila.

LITERATURA CITADA

- Clarkson, J.P., A. Mead, T. Payne y J.M. Whipps. 2004. Effect of environmental factors and *Sclerotium cepivorum* isolate on sclerotial degradation and biological control of white rot by *Trichoderma*. Plant Pathology 53: 353-362.
- Coley, J.R., C.M. Mitchel y E.C. Sansford. 1990. Long-term survival of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* and *Stromatinia gladioli*. Plant Pathology 39: 58-69.
- Crowe, F.J., D.H. Hall, A.S. Greathead y K.G. Baghott. 1980. Inoculum density of *Sclerotium cepivorum* and the incidence of white rot of onion and garlic. Phytopathology 70: 64-69.
- Delgadillo, F., E. Zavaleta, S. Osada, A. Arévalo, V. González, D. Nieto e I. Torres. 2002. Densidad de inóculo de *Sclerotium cepivorum* y su control mediante Tebuconazole en ajo (*Allium sativum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 25: 349-354.
- Entwistle, A.R. 1990. *Allium* white rot and its control. Soil Use and Management 6: 201-209.
- Kirkegaard, J.A., P.T. Wong y J.M. Desmarchelier. 1996. *In vitro* suppression of fungal root pathogens of cereals by *Brassica* tissues. Plant Pathology 45: 593-603.
- Lewis, J.A. y G.C. Papavizas. 1971. Effect of sulfur-containing volatile compounds and vapors from cabbage decomposition on *Aphanomyces eutiches*. Phytopathology 61: 208-214.
- Papavizas, G.C. 1972. Isolation and enumeration of propagules of *Sclerotium cepivorum* from soil. Phytopathology 62: 545-549.
- Papavizas, G.C. y R.D. Lumsden. 1980.

- Biological control of soilborne fungal propagules. Annual Review of Phytopathology 18: 389-413.
10. Paulitz, T.C. y R.R. Belanger. 2001. Biological control in greenhouse systems. Annual Review of Phytopathology 39: 103-133.
11. Pereira, J.C., G.M. Chávez, L. Zambolim, K. Matsuoka, R.S. Acuna. y F.X. Do Vale. 1996. Control of *Sclerotium cepivorum* by the use of Vermicompost, solarization, *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis*. Summa-Phytopologica 22: 228-234 (CAB Abstracts 1996-1998).
12. Pinto, M.F., L.A. Maffia, R.D. Berger, E.S. Mizubuti y W.D. Casali. 1998. Progress of white rot on garlic cultivars planted at different times. Plant Diseases 82: 1142-1146.
13. Rao, M., P. Parvatha y M. Nagesh. 1998. Evaluation of plant based formulations of *Trichoderma harzianum* for the management of *Meloidogyne incognita* on eggplant. Nematol. Medit. 26: 59-62.
14. Riveros, A.S. 2001. Moléculas activadoras de la resistencia inducida incorporadas en Programas de Agricultura Sostenible. Manejo Integrado de Plagas 61: 4-11.
15. Rojas, V., D. Ulacio, M. Sanabria y M.A. Jiménez. 2009. Efecto del calcio, *Trichoderma* y brócoli en la pared y área celular del ajo para el control de la pudrición blanca. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 43: 183-195.
16. Schwartz, H.F. y S. Mohan. 2008. Compendium of onion and garlic disease. American Phytopathological Society (APS). St Paul, Minnesota. 127 p.
17. Smolinska U. y B. Dyki. 2002. Viability and micromorphology of *Sclerotium cepivorum* sclerotia in field soil after addition of *Brassica juncea* and *Brassica napus* plant residues. Phytopathologia Polonica 23: 39-51.
18. Ulacio, D., J. Salas, P. Querales y M.E. Sanabria. 2002. Micobiota del suelo de zonas productoras de papa del estado Mérida y su relación con *Rhizoctonia solani*. Bioagro 14: 11-16.
19. Ulacio, D., E. Zavaleta, R. García, F. Delgadillo, A. Pedroza y A. Martínez. 2003. Materia orgánica y microorganismos antagonistas como estrategias de manejo de *Sclerotium cepivorum* Berk. y su impacto en el progreso de la pudrición blanca en ajo (*Allium sativum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 21: 346-354.
20. Ulacio, D., E. Zavaleta, A. Martínez y A. Pedroza. 2006. Strategies for management of *Sclerotium cepivorum* Berk. in garlic. Journal of Plant Pathology 88: 253-261.
21. Utkhede, R.S. y J.E. Rahe. 1978. Screening commercial onion cultivars for resistance to white rot. Phytopathology 68: 1080-1083.
22. Vivas, D. 2006. Manejo de la pudrición basal por *Sclerotium rolfsii* Sacc en caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) incorporando al suelo gallinaza, calcio y *Trichoderma harzianum* Trabajo de Grado. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. 71 p.
23. Windham, G., M. Windham y W. Williams. 1989. Effects of *Trichoderma* spp., on maize growth and *Meloidogyne arenaria* reproduction. Plant Disease 73: 493-495.
24. Yedidia, I., N. Benhamou e I. Chet. 1999. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. Applied and Environmental Microbiology 65: 1061-1070.
25. Yossen, V., S. Gil, S. Vargas, M. del P. Díaz y C. Olmos. 2003. Material compostado y *Trichoderma harzianum* como supresores de *Rhizoctonia solani* y promotores del crecimiento de la lechuga. Manejo integrado de plagas y agroecología 6: 19-25.
26. Zavaleta, E. 1999. Alternativas de manejo de enfermedades de las plantas. Terra 17: 202-220.