

Criterios de liberación de *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) para el control de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en tomate

Release criteria of *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) for the control of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) on tomato

Sandra Aragón¹, Daniel Rodríguez¹ y Fernando Cantor¹

RESUMEN

Para la toma adecuada de decisiones en el manejo de la mosca blanca de los invernaderos, se han propuesto diferentes criterios que buscan reducir el impacto producido por el uso indiscriminado de insecticidas. Sin embargo, estos criterios de decisión son aplicables principalmente al control químico de plagas y no se conoce su uso en programas de control biológico. Por lo tanto, con este trabajo se propuso generar unos criterios de decisión para el control biológico de la mosca blanca de los invernaderos *T. vaporariorum* con el parasitoide *Encarsia formosa*, teniendo en cuenta su respuesta funcional y porcentaje de control. En un diseño completamente al azar se ubicaron 18 plantas de tomate de 8 semanas de edad infestadas con 500 ninfas de mosca blanca y 3 plantas como control absoluto. En cada planta se liberaron 0, 10, 20, 30, 40 y 50 adultos de *E. formosa*, con tres repeticiones por densidad. Se registró el número de ninfas melanizadas por efectos del parasitismo de *E. formosa* a los 12; 19 y 26 días después de la primera liberación y, al finalizar la cosecha, se realizó un conteo de las ninfas de mosca blanca totales. Los resultados de este trabajo sugieren que para obtener un control cercano a 80% se debe liberar un parasitoide por cada 17 ninfas de mosca blanca de tercer instar, evaluando el control después de 35 días. Se pueden realizar nuevas liberaciones de *E. formosa* dirigidas al control de las nuevas ninfas encontradas en los muestreos periódicos del cultivo.

Palabras clave: modelos de decisión, capacidad parasítica, control biológico, umbrales de acción.

ABSTRACT

In order to take right decisions for the management of greenhouse whitefly, different strategies has been purposed, which pretend to reduce the impact generated by the indiscriminate use of pesticides. Nevertheless, those decision criteria are mainly useful for chemical control and their use is unknown in biological control programs. The goal of this work was to develop decision criteria for the biological control of greenhouse whitefly *T. vaporariorum* with the parasitoid *Encarsia formosa* considering its functional response and percentage of parasitism. In a completely randomized design, eight weeks old tomato plants were infested with 500 whiteflies scales and three plants were used as an absolute control. On each tomato plant, 0, 10, 20, 30, 40 and 50 adults of *E. formosa* were released, with three repetitions per density. The number of black pupae was registered after 12, 19 and 26 days after the first wasp liberation. At the end of the crop, the total number of white and black scales was counted. The results of this work suggest that in order to obtain a control near the 80%, one parasitoid for each 17 whiteflies scales of third instar must be released evaluating the control 35 days after. New releases of *E. formosa* should be made for the control of new scales found in the periodic sampling of the crop.

Key words: decision models, parasitic ability, biological control, action thresholds.

Introducción

En los cultivos comerciales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá se presenta en la actualidad un problema grave con la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae), ya que sus poblaciones alcanzan niveles de daño que afectan

significativamente la producción. En Colombia, en cultivos como la habichuela, la mosca blanca puede causar pérdidas de 15% a 50% (Rodríguez y Cardona, 1990; Rendón *et al.*, 2001).

Por lo anterior, los agricultores programan aplicaciones preventivas tipo calendario antes de permitir que la plaga

Fecha de recepción: febrero 15 de 2008. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

¹ Docentes, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. ecologia@umng.edu.co

se establezca dentro del cultivo. Sin embargo, esta estrategia ha ocasionado serios problemas, como el incremento en los costos de producción, la eliminación de enemigos naturales, la resistencia a los insecticidas, los riesgos para la salud de productores y consumidores y la contaminación ambiental (Rodríguez y Cardona, 2001; Cardona *et al.*, 2001; Ditritch *et al.*, 1990).

Para la toma adecuada de decisiones de manejo se han propuesto diferentes estrategias que pretenden reducir el impacto producido por el uso indiscriminado de insecticidas. Una de ellas es el uso de los umbrales de acción, que se definen como la densidad de población en la cual se deben tomar las medidas de control para evitar que un aumento en la población de la plaga alcance el nivel de daño económico (Stern *et al.*, 1959).

Cardona *et al.* (1993) y Rodríguez *et al.* (1996) proponen umbrales de acción de la mosca blanca para los cultivos de tomate y habichuela en algunas regiones de Colombia cuando la plaga es controlada con diferentes frecuencias de aplicación de productos químicos. Estos trabajos sugieren que la decisión de manejo se debe tomar cuando se inicia la aparición de ninfas en el tercio inferior de la planta de habichuela y para el caso del tomate, cuando hay presencia de adultos y huevos en la planta.

Sin embargo, estos criterios de decisión son aplicables principalmente al control químico de plagas y no se conoce su uso en programas de control biológico. Jetter (2005) menciona que los programas de control biológico han fallado en la determinación de esta información, ya que los modelos que se conocen tradicionalmente no incorporan riesgo e incertidumbres de la estrategia de control y esto es lo que hace la diferencia con el control químico.

Por otro lado, Forero (2006) realizó ensayos en los que efectuaba liberaciones de un enemigo natural, utilizando los mismos criterios de decisión que se usan para el control químico de plagas, y propone que para los programas de control biológico no se apliquen los mismos criterios de decisión que se usan con el químico. Este autor recomienda tener en cuenta aspectos como la respuesta funcional de los enemigos naturales.

Cardona *et al.* (1993) mencionan que el control natural ejercido por varios enemigos naturales de la mosca blanca no es suficiente para regular las altas poblaciones que se presentan en cultivos como la habichuela. Sin embargo, Hussey (1985) menciona que en los cultivos de tomate se ha usado con éxito el control biológico de la mosca blanca de los invernaderos, utilizando el enemigo natural *Encarsia formosa*. Adicionalmente, Gerling (1990) y Onillion (1990)

señalan que se ha demostrado ampliamente la posibilidad de mantener poblaciones de mosca blanca en niveles bajos y de manera económica con liberaciones del parasitoide cuando se inocula la avispa durante el ciclo del cultivo.

El control biológico de la mosca blanca de los invernaderos *T. vaporariorum* con el parasitoide *E. formosa* fue usado por primera vez en 1926 y desde entonces se ha utilizado exitosamente en cultivos comerciales (Van Lenteren *et al.*, 1996). Después de la segunda guerra Mundial se redujo su uso por el uso de insecticidas de amplio espectro, pero en la actualidad *E. formosa* es uno de los controladores biológicos más utilizados en cultivos bajo invernadero (Van Lenteren, 1995).

En estudios realizados por De Vis (2001) en cultivos de tomate bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, utilizando el método de liberación semanal de adultos de *E. formosa*, con 3-5 parasitoides/m² se obtuvieron porcentajes de control iguales o superiores a 80% y las poblaciones de adultos de mosca blanca *T. vaporariorum* se mantuvieron en 1,2 por planta. Otro caso de control de mosca blanca por *E. formosa* lo exponen Van Driesche *et al.* (2001), con liberaciones de bajas densidades de la avispa en combinación con *Eretmocerus eremicus*, para obtener porcentajes de control de 50,9%.

Por lo anterior, con este trabajo se propuso generar unos criterios de decisión para el control de la mosca blanca de los invernaderos (*T. vaporariorum*) cuando se realiza el manejo biológico con liberaciones de su enemigo natural *E. formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae), teniendo en cuenta aspectos de la biología del enemigo natural, como son su respuesta funcional y el porcentaje de control. Estos criterios incluyen la identificación de la proporción óptima parasitoide/hospedero que debe emplearse en las liberaciones de *E. formosa*, para lograr un control eficiente de la mosca blanca en cultivos comerciales de tomate y la determinación del tiempo óptimo que debe transcurrir para realizar evaluaciones que permitan identificar la máxima efectividad de la liberación de *E. formosa* para el control de *T. vaporariorum*.

Materiales y métodos

El material necesario para la ejecución de los ensayos se obtuvo de los invernaderos de control biológico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Militar, ubicados en el municipio de Cajicá (Cundinamarca).

Se utilizaron plantas de tomate (*S. lycopersicum*) var. Astona sembradas en bolsas plásticas negras de 60 cm x 60 cm. Cada planta se ubicó en una jaula de malla de 3 m x 1 m x 1 m, con el fin de garantizar que estuvieran libres de

de plagas al iniciar el ensayo. Se empleó un diseño experimental completamente al azar en una nave de invernadero. Se evaluaron seis tratamientos con tres repeticiones cada uno y un control absoluto.

Infestación con *T. vaporariorum*

Sobre plantas de 8 semanas de edad desde el trasplante se liberó una densidad de 200 adultos de mosca blanca y se permitió una interacción planta-fitófago por 72 h. En cada planta se dejaron 500 ninfas de mosca blanca, que es la densidad que se asumió que podía causar un descenso en la acumulación de biomasa de la planta; el excedente se retiró con ayuda de un alfiler entomológico. Se permitió el desarrollo de las ninfas hasta adulto y la posterior oviposición, alcanzando dos generaciones, con una duración de 45 d desde huevo hasta adulto.

Parasitación con *E. formosa*

Para el control de ninfas de *T. vaporariorum* que se encontraban infestando folíolos de tomate se liberaron avispas de *E. formosa*, teniendo en cuenta la respuesta funcional del parasitoide con un efecto de interferencia mutua y el porcentaje de control esperado en cada tratamiento; de esta manera la proporción de avispas por ninfa de mosca blanca evaluada fue de 1:13, en la que una avispa de *E. formosa* parasita en promedio a 13 ninfas de mosca blanca de tercer instar (López y Botto, 1995; Soto *et al.*, 2002). Con esta información se estimó el número de adultos del parasitoide que controlarían un 100%, 80%, 60%, 40%, 20% y 0% de la población de ninfas de mosca blanca disponibles en cada planta y las densidades que se alcanzarían con los porcentajes de control propuestos, que serían de 50, 40, 30, 20, 10 y 0 adultos de *E. formosa*, respectivamente.

En los ensayos realizados se propuso el empleo de la respuesta funcional de *E. formosa*, en función de la densidad de ninfas de mosca blanca que se esperaba controlar. Este método de liberación de la avispa permite un uso racional de parasitoides por cantidad de hospederos, cambiando la estrategia propuesta en la literatura, que emplea como criterio de liberación un número constante de avispas por unidad de área, sin tener en cuenta la densidad de la plaga (Hoddle, 2000; Hoddle *et al.*, 1997; Van Lenteren *et al.*, 1997).

Las liberaciones de las avispas se realizaron según la recomendación de Tello *et al.* (2007), quienes proponen realizarlas en tres momentos durante una semana; de este modo, cada una de las densidades de *E. formosa* se liberó en tres grupos distanciados por un día. Las liberaciones se realizaron entre las 8:00 am y las 10:00 am.

Las avispas liberadas se colectaron en frascos de vidrio transparente y se cosecharon de un mismo lote para garantizar homogeneidad de condiciones de desarrollo. La edad de las avispas liberadas varió entre 0 y 24 h. Las avispas se dejaron en cada unidad experimental hasta que murieron. Las ninfas de mosca blanca parasitadas se conservaron hasta la emergencia del adulto. Se permitió la acción de parasitismo de los nuevos adultos de *E. formosa* sobre la población de *T. vaporariorum* de la segunda generación. Se presentaron dos generaciones de *E. formosa*, con una duración de 35 d desde huevo hasta adulto.

Efectividad de control con diferentes densidades de liberación de *E. formosa* sobre poblaciones de *T. vaporariorum*

Para la evaluación del control de la avispa sobre la población de mosca blanca se realizaron tres conteos. El primero a los 12 d después de la primera liberación, que es el momento en que se observan las primeras ninfas melanizadas por acción del enemigo natural; el segundo a los 19 d, cuando se puede observar la melanización de otro grupo de ninfas, y el tercero a los 26 d, cuando se espera observar la totalidad de las ninfas melanizadas. En cada evaluación se registró la densidad de ninfas de mosca blanca controladas por acción del parasitismo del enemigo natural. El reconocimiento se hizo por la coloración negra que presentan las ninfas de *T. vaporariorum* parasitadas.

Al final de la cosecha se realizó un último registro de: a) ninfas parasitadas que presentaban el orificio de emergencia del adulto de *E. formosa*, b) ninfas de mosca blanca sin parasitar y c) ninfas de mosca blanca parasitadas pero que aún no presentan el orificio de emergencia del adulto. Se consideró este tiempo con el fin de conocer con certeza el total de la población de *E. formosa* que se desarrolló sobre las ninfas de mosca blanca parasitadas y que pudo no tenerse en cuenta dentro de la programación inicial de conteos por no haber finalizado aún el proceso de melanización.

Efecto de poblaciones de *T. vaporariorum* sobre algunos parámetros de crecimiento del tomate

Al realizar la cosecha se obtuvo la biomasa total acumulada al final del ensayo, por medio de la determinación del peso seco de frutos, tallos, hojas y raíces de cada planta, con el propósito de conocer el efecto de las diferentes densidades de *T. vaporariorum* sobre estas variables. Para la obtención del peso seco, se envolvió en papel periódico el material etiquetado y se deshidrató en un horno de secado Memmert a 95 °C durante 24 h, aproximadamente. Para asegurar que el material estuviera completamente seco, se pesó cada empaque entre tres y cinco veces durante el

periodo de secado hasta que presentara por dos veces el mismo peso.

Consideraciones para la toma de decisiones con el fin de maximizar el control biológico de *T. vaporariorum* con liberaciones de *E. formosa*

La definición de las consideraciones para la toma de decisiones en el control biológico de la mosca blanca de los invernaderos *T. vaporariorum* con el parasitoide *E. formosa* se realizó integrando los resultados de porcentajes de control, momento de evaluación del control y la relación con la densidad de la plaga.

Análisis de los datos

Se realizaron regresiones polinómicas, con el programa para análisis estadístico R versión 6.2.1 (R, 2008), para observar las tendencias de los porcentajes de parasitación ejercida por *E. formosa* y el crecimiento de la población de ninfas de mosca blanca que no fueron controladas por la avispa.

Resultados y discusión

Efectividad de control con diferentes densidades de liberación de *E. formosa* sobre poblaciones de *T. vaporariorum*

En la figura 1 se observa el porcentaje de control ejercido por *E. formosa* en diferentes momentos de muestreo, a los 12, 19, 26 y 70 d después de la primera liberación de la avispa. En el muestreo realizado 12 d después de la primera liberación de *E. formosa* (16 de noviembre), no se presentó ninguna ninfa de mosca blanca melanizada por efecto del parasitismo, mientras que a los 19 d (5 de diciembre) se comenzaron a presentar ninfas parasitadas, que representan menos de 10% del control. A los 26 d (12 de diciembre) se observó que el porcentaje de control ejercido por la avispa alcanzó el 30%. Al final de la cosecha, es decir a los 70 d (25 de enero), se realizó una última evaluación por medio del conteo de ninfas de *T. vaporariorum* que presentaban como evidencia el orificio de emergencia del adulto de *E. formosa*. En este momento de evaluación, se hizo evidente que el potencial de control de *E. formosa* puede alcanzar niveles por encima de 80%.

Estos resultados sugieren que el conteo de ninfas de *T. vaporariorum* melanizadas tiende a subestimar el control ejercido por *E. formosa*, porque: 1) al parecer se presenta alta variabilidad en los tiempos de melanización y 2) un porcentaje importante de las ninfas parasitadas tiende a melanizar tardíamente.

La emergencia de los adultos de *E. formosa* podría considerarse el mejor momento para la estimación del porcentaje de control, teniendo en cuenta los tiempos de desarrollo de

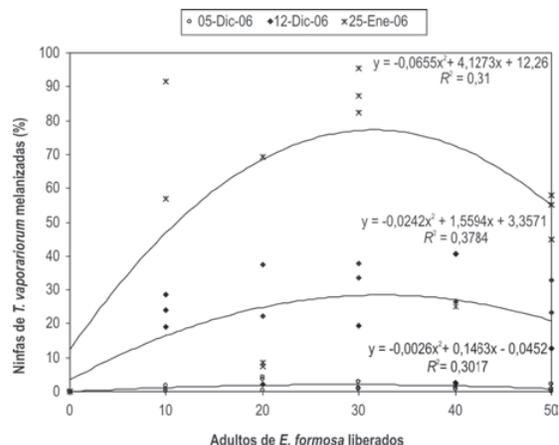


Figura 1. Porcentaje de ninfas de *T. vaporariorum* melanizadas por el parasitismo de *E. formosa*, en plantas de tomate var. Astona bajo invernadero. Estación experimental hacienda Riogrande, Cajicá (Cundinamarca).

huevo a adulto bajo diferentes condiciones térmicas con el fin de determinar el momento en el que se debe realizar la evaluación (Vet y Van Lenteren, 1981).

En el desarrollo de las crías de *T. vaporariorum* y *E. formosa* bajo invernadero en la Facultad de Ciencias de la Universidad Militar Nueva Granada, se ha observado la emergencia de adultos de mosca blanca entre las semanas 6 y 7 posteriores a la infestación. Para el caso de *E. formosa*, las avispas comienzan a emerger 4 semanas después de la parasitación. De acuerdo con esta información, el momento adecuado para realizar la evaluación del control ejercido por la avispa es aproximadamente a los 35 d después de la liberación del parasitoide.

El porcentaje de control se calculó por medio de la ecuación cuadrática obtenida en el último muestreo, es decir, a los 70 d después de la primera liberación:

$$y = 0,0655x^2 + 4,1273x + 12,26$$

donde, x es el número de avispas liberadas (10, 20, 30, 40 y 50 adultos).

Para calcular el número de ninfas de *T. vaporariorum* controladas por avispa en los diferentes tratamientos, se dividió el número estimado de ninfas controladas entre el número de avispas liberadas (tabla 1). En la tabla 1 se puede observar el porcentaje de control ejercido por la avispa *E. formosa* sobre una población de 500 ninfas de *T. vaporariorum* en cada uno de los tratamientos. El tratamiento que presentó el mayor

porcentaje de control fue el de 30 adultos de *E. formosa* por planta, con 77,1% de ninfas de mosca blanca parasitadas.

El número de ninfas de *T. vaporariorum* controladas por cada avispa de *E. formosa* se presenta en la tabla 1. Se observó que el control por avispa presenta una tendencia al descenso a medida que se aumenta el número de avispas por planta. En el tratamiento con 10 avispas por planta se evidenció que cada una logra controlar 23,5 ninfas de *T. vaporariorum* y que esa cantidad de ninfas controladas va disminuyendo, hasta el punto en que en el tratamiento con 50 avispas por planta cada avispa ejerce el control sobre 5,5 ninfas de mosca blanca. Aparentemente, el aumento de avispas en una unidad experimental genera un fenómeno de interferencia que provoca esta reducción en el número de ninfas controladas por avispa.

Los porcentajes de control observados en los tratamientos con mayores densidades de avispas liberadas sugieren que el aumento de la densidad de adultos de *E. formosa* no implica un porcentaje mayor de control de la mosca blanca y, que por el contrario, se presenta una interferencia entre los individuos que ocasiona un porcentaje menor de control.

Estos resultados de interferencia mutua son similares a los que presentan Hoddle *et al.* (1998), quienes mencionan que en interacciones de mosca blanca y *E. formosa* en las que la avispa se encuentra en densidades muy altas, se presenta un nivel moderado de interferencia mutua; así mismo, Van Alphen y Jervis (1996) señalan que *E. formosa* a densidades bajas presenta una interferencia insignificante. Según Hoddle *et al.* (1997), proporciones bajas de liberación del parasitoides pueden ser más efectivas que liberaciones muy altas, a causa de la interferencia mutua que se presenta entre parasitoides.

La proporción de ninfas controladas por avispa de 1:13, que se reporta en el trabajo de respuesta funcional de López y

Botto (1995), sólo se obtuvo para la densidad de 30 avispas por planta (1:12,9). Esto pone de relieve que la cantidad de avispas para liberar no sólo depende de la eficiencia determinada a través de la respuesta funcional, sino que también depende de cómo esta eficiencia se ve afectada por el fenómeno de interferencia. Si se considera que la mayor eficiencia se obtuvo cuando se liberaron 30 avispas para controlar una población de 500 ninfas, se concluye que la proporción para lograr el mayor control es de 1:17 (avispa/ninfas potencialmente controladas).

La efectividad del control con *E. formosa* es gradual sobre las poblaciones de la plaga. A corto plazo se evidencia con la formación de ninfas de mosca blanca melanizadas por efecto del parasitismo y a largo plazo, con la disminución de las poblaciones de *T. vaporariorum* que pasan a la siguiente generación. Esto es una muestra del carácter preventivo del control biológico y resalta una de las diferencias de fondo de esta estrategia con respecto al control químico, representada por la acción inmediata sobre las poblaciones de la plaga.

Se sugiere que el control se realice cuando las poblaciones de la plaga sean bajas, ya que si se realizan las liberaciones cuando la plaga se encuentra en densidades muy altas, va a ser poco probable que el enemigo natural pueda regular a tiempo las poblaciones de la plaga; además de presentarse un efecto de interferencia mutua.

Para observar el efecto sobre la dinámica de la población de *T. vaporariorum*, en este ensayo se permitió el desarrollo de dos generaciones de *E. formosa* y de dos de *T. vaporariorum*, con una duración aproximada de 35 y 45 d, respectivamente, hasta la emergencia de adultos.

Este efecto sobre las generaciones de la mosca blanca se ve reflejado en la figura 2, en donde la tendencia general es la disminución de la densidad de ninfas de mosca blanca

TABLA 1. Porcentaje de control ejercido por *E. formosa* sobre ninfas de *T. vaporariorum*, en plantas de tomate var. Astona bajo invernadero. Estación experimental hacienda Riogrande, Cajicá (Cundinamarca).

Cantidad de avispas liberadas	Porcentaje de control	Ninfas controladas por tratamiento	Ninfas controladas/avispa	Ninfas sanas/avispa
10	46,98	234,92	23	50
20	68,61	343,03	17	25
30	77,13	385,65	13	17
40	72,55	362,76	9	13
50	54,88	274,38	5	10

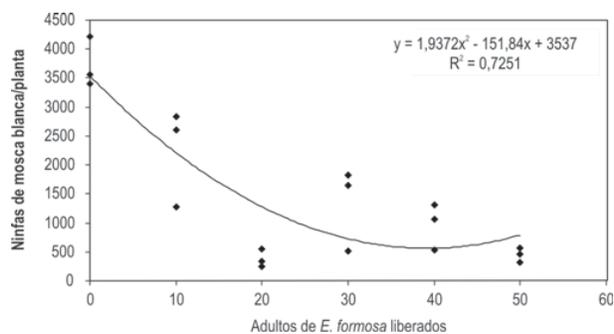


FIGURA 2. Densidad de ninfas de mosca blanca (*T. vaporariorum*) parasitadas y no parasitadas por planta de tomate bajo invernadero, en función de la densidad de adultos de *E. formosa* liberados. Estación experimental hacienda Riogrande, Cajicá (Cundinamarca).

en función de la densidad de avispa liberadas, de manera que se presenta un efecto sobre la dinámica de la población de ninfas de mosca blanca cuando se liberan densidades mayores del parasitoide.

En la figura 2 se observa que para las densidades de *E. formosa* de 20 y 50 adultos por planta, las poblaciones de *T. vaporariorum* no aumentaron. Esto podría ser resultado del *host feeding* (consumo de tejido del hospedero por el parasitoide) que presenta este parasitoide cuando hay altas densidades de avispa de la misma especie (Hoodle *et al.*, 1997).

Consideraciones para maximizar el control biológico de *T. vaporariorum* con liberaciones de *E. formosa*

Los criterios disponibles en la literatura para la toma de decisiones en el control de la mosca blanca de los invernaderos *T. vaporariorum* se han aplicado principalmente en el manejo químico de la plaga (Rodríguez *et al.*, 1996; Cardona *et al.*, 1993). Respecto a la utilización de los criterios definidos para el control químico en la toma de decisiones en el caso del control biológico, Forero (2006) afirma que no son aplicables pues no contemplan factores biológicos importantes del mecanismo de acción del enemigo natural, entre ellos la relación con la cantidad de la plaga en el cultivo y la capacidad controladora del enemigo natural.

A diferencia del control químico, en el que la cantidad de producto no depende directamente de la densidad de la plaga (Galindo, 1994), para implementar una estrategia de control biológico exitosa se requiere tener conocimiento de la densidad de la población de la plaga que se encuentra en un estado susceptible de ser controlada por el enemigo natural, con el fin de definir la cantidad de enemigos naturales que se deben liberar. En este trabajo se encontró

que la proporción parasitoide/hospedero que permite maximizar el control biológico de mosca blanca es de 1 avispa de *E. formosa* por cada 17 ninfas de *T. vaporariorum* en tercer instar.

Cuando se utiliza la estrategia de control químico, se logra un efecto inmediato sobre densidades de la plaga cercanas a las que pueden generar una reducción importante en la producción, como lo define el concepto de umbral de acción (Stern *et al.*, 1959). Por el contrario, las liberaciones de enemigos naturales se deben iniciar cuando la densidad de la población de la plaga es baja, ya que el éxito del control biológico radica en mantener la dinámica de la población de la plaga en niveles inferiores a aquéllos que generan daño en el cultivo (Van Lenteren *et al.*, 1996). Según esto, se sugiere iniciar las liberaciones de *E. formosa* desde el primer momento en el que se registre la presencia de ninfas de tercer instar de *T. vaporariorum* en cultivos de tomate.

El tiempo de evaluación de la efectividad del control de plagas es más corto cuando se asume una estrategia de control químico que cuando se realiza control biológico. Según Galindo (1994), este período puede estar alrededor de 24-48 h, dependiendo del mecanismo de acción y de la toxicidad del producto. Para el caso del control biológico, la evaluación de la efectividad debe considerar la naturaleza de ataque del enemigo natural (depredadora o parasítica). Para el caso específico de los parasitoides, además se debe considerar el tiempo que tarda en evidenciarse el parasitismo a causa del huésped que se desarrolla a expensas de la plaga. Según los resultados de este trabajo, la evaluación de la máxima efectividad de *E. formosa* debe realizarse 30-40 d después de la liberación del parasitoide, porque en este período se completa el proceso de melanización de la totalidad de las ninfas de mosca blanca controladas por la avispa.

En el control químico, el costo de cada aplicación se mantiene constante en el cultivo, y el número de aplicaciones para realizar dependerá de cuántas veces se alcance la densidad crítica de la población de la plaga. En la estrategia del control biológico, por el contrario, el costo de liberación está condicionado por la cantidad de individuos para liberar, en función de la densidad de la plaga que se presente en cada momento del desarrollo del cultivo. Esto implica que la cantidad de enemigos naturales para utilizar en subsecuentes liberaciones puede reducirse si las condiciones de manejo del cultivo favorecen el establecimiento del enemigo natural.

Teniendo en cuenta los resultados derivados de este trabajo, las consideraciones que se deben tener en cuenta para

la toma de decisiones en el control biológico de la mosca blanca de los invernaderos *T. vaporariorum* con liberaciones del parasitoide *E. formosa* son:

- A partir de un primer muestreo del cultivo debe determinarse la densidad de la plaga, con el fin de definir el número de avispas de *E. formosa* para liberar. Se puede utilizar el método de muestreo propuesto por Bernal y Pesca (2007) para estimar el número de ninfas susceptibles al parasitismo por la avispa. Con el fin de obtener los mayores porcentajes de parasitismo, reduciendo al máximo la interferencia, el número de parasitoides para liberar en el cultivo debe ser de 1 avispa por cada 17 ninfas de tercer instar de la mosca blanca.
- La efectividad del control ejercido por *E. formosa* se puede evaluar 35 d después de la primera liberación de las avispas. Sin embargo, antes de este tiempo se pueden realizar nuevas liberaciones de *E. formosa* dirigidas al control de las nuevas ninfas que se encuentren en cada uno de los muestreos periódicos realizados durante el ciclo del cultivo. Las nuevas ninfas se calculan como la diferencia entre las ninfas del muestreo actual menos las ninfas del muestreo anterior.
- Puede asumirse que el control biológico de poblaciones de mosca blanca bajo las condiciones evaluadas en este trabajo es eficiente cuando: 1) se encuentren índices de parasitismo próximos al 80% y 2) se detecte reducción en las poblaciones de ninfas y adultos de la mosca blanca en el cultivo.
- Para estimar la densidad de ninfas de mosca blanca en el cultivo de tomate se recomienda el método propuesto por Bernal y Pesca (2007) y para estimar la densidad de adultos de la plaga, el método propuesto por Hernández y Martínez (2007).

Conclusiones

El control biológico de organismos debe considerar variables de manejo dinámico y no estático, como ocurre en la actualidad cuando se recomienda un número determinado de avispas por unidad de área (en metros cuadrados). Tampoco se pueden utilizar los criterios del control químico como herramientas para la toma de decisiones para liberar enemigos naturales en estrategias de control biológico.

Con el fin de establecer criterios que permitan lograr el control biológico de ninfas de *T. vaporariorum* con *E. formosa*, se debe tener en cuenta la liberación de 1 avispa por cada 17 ninfas de la plaga. La proporción encontrada en este

trabajo maximiza la posibilidad de alcanzar porcentajes de parasitismo cercanos a 80%, que se pueden comenzar a evaluar 35-40 d después de la primera liberación de *E. formosa*.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto, y a los auxiliares de campo Nelson Díaz y Alexander Escobar.

Literatura citada

- Bernal, L. y L. Pesca. 2007. Desarrollo de un plan de muestreo directo para la determinación de la densidad de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 71 p.
- Cardona, C., A. Rodríguez y P. Prada. 1993. Umbral de acción para el control de la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), en habichuela. Revista Colombiana de Entomología 19(1), 27-33.
- Cardona, C., F. Rendón, J. García, A. López, J. Bueno y J. Ramírez. 2001. Resistencia a insecticidas en *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. Revista Colombiana de Entomología 27(1), 33-38.
- De Vis, R. 2001. Biological control of whitefly on greenhouse tomato in Colombia: *Encarsia formosa* or *Amitus fuscipennis*? Tesis doctoral. Universidad de Wageningen (Holanda).
- Dittrich, V., S. Uk y G. Ernst. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. pp. 263-280. En: Gerling, D. (ed.). Whiteflies their bionomics, pest status and management. Intercept, Andover (Reino Unido).
- Forero, G. 2006 Determinación de algunos criterios para el control de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) con el ácaro depredador *Amblyseius (Neoseiulus) sp.* (Acari: Phytoseiidae) en rosas. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 53 p.
- Gerling, D. 1990. Natural enemies of whiteflies: predators and parasitoids. pp. 147-178. En: Gerling, D. (ed.). Whiteflies their bionomics, pest status and management. Intercept, Andover (Reino Unido).
- Galindo, O. 1994. La aplicación de agroquímicos en la protección de las plantas. pp. 4-28. En: Seminario Manejo integrado de mosca blanca y técnicas de aplicación de pesticidas. Socolén, Comité Regional Cundinamarca, Bogotá.
- Hernández, M. y A. Martínez. 2007. Desarrollo de un plan de muestreo indirecto para la detección de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate bajo invernadero. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 56 p.

- Hoddle, M.S. 2000. Are parasitism rates of whiteflies affected by parasitoid release rates? pp. 22-28. En: Proceedings. California conference on biological control, julio 11-12 de 2000, Mission Inn, Riverside, CA. 205 p.
- Hoddle, M.S., R.G. Van Driesche y J. Sanderson. 1997. Biological control of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettia with inundative releases of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae): Are higher release rates necessarily better? *Biological Control* 10, 166-179.
- Hoddle, M.S., R. Van Driesche y J. Sanderson. 1998. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Annu. Rev. Entomol.* 43, 645-669.
- Hussey, N.W. 1985. Practical experience with biological control. pp. 105-114. En: Hussey, N.W. y N. Scopes (eds.). *Biological pest control. The glasshouse experience.* Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Jetter, K. 2005. Economic framework for decision making in biological control. *Biological Control* 35, 348-357.
- Onillion, J. 1990. The use of natural enemies for the biological control of whiteflies. pp. 287-305. En: Gerling, D. (ed.). *Whiteflies their bionomics, pest status and management.* Intercept, Andover (Reino Unido).
- López, S. y E. Botto. 1995. Efecto de la disponibilidad del huésped sobre algunos parámetros biológicos de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Vedalia* 2, 35-38.
- R development core team. (2008). R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Viena (Austria).
- Rendón, F., C. Cardona y J. Bueno. 2001. Pérdidas causadas por *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) y *Trips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en habichuela en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 27(1-2), 39-43.
- Rodríguez, A. y C. Cardona. 1990. Bases para el establecimiento de un manejo integrado de plagas en habichuela en la región de Sumapaz, Colombia. Resúmenes de la primera reunión de leguminosas de grano de la zona Andina (Releza I), Quito (Ecuador). p. 80.
- Rodríguez, A., M. Hiller y E. Williams. 1996. Umbrales de acción para la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), en tomate. *Revista Colombiana de Entomología* 22(1), 87-92.
- Rodríguez, I. y C. Cardona. 2001. Problemática de *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) como plagas de cultivos semestrales en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 27(1), 21-26.
- Soto, A., P. Estay y J. Apablaza. 2002. Parasitismo de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) en ninfas de *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Ciencia e Investigación Agraria* 29(3), 153-157.
- Stern, V.M., R.F. Smith, R. Van Den Bosh y K.S. Hagen. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29, 81-101.
- Tello, P., F. Cantor, D. Rodríguez y J. Cure. 2007. Densidades y frecuencias de liberación de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) sobre *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en tomate. *Agron. Colomb.* 25(2), 314-319.
- Van Alphen, J.J. y M.A. Jervis. 1996. Foraging behaviour. pp. 1-62. En: Jervis N. y M. Kidd (eds.). *Insect natural enemies. Practical approaches to their study and evaluation.* Chapman and Hall, Londres.
- Van Driesche, R., M.S. Hoddle, S. Roy, S. Lyon y J. Sanderson. 2001. Effect of parasitoid release pattern on whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) control in commercial poinsettia. *Florida Entomologist* 84(1), 63-69.
- Van Lenteren, J.C. 1995. Integrated pest management in protected crops. pp. 311-343. En: Dent, D. (ed.). *Integrated pest management.* Chapman and Hall, Londres.
- Van Lenteren, J.C., H.J.W. Van Roermund y S. Sutterlin. 1996. Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with the parasitoid *Encarsia formosa*: How does it work? *Biological Control* 6, 1-10.
- Van Lenteren, J.C., M. Roskam y R. Timmer. 1997. Commercial mass production and pricing of organisms for biological control of pests in Europe. *Biological Control* 10, 143-149.
- Vet, L. y J.C. Van Lenteren. 1981. The parasite host relationship between *Encarsia formosa* Gah. (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Homoptera: Aleyrodidae). X. A comparison of three *Encarsia* spp. and one *Eretmocerus* sp. to estimate their potentialities in controlling whitefly on tomatoes in greenhouses with a low temperature regime. *Z. Ang. Ent.* 91, 327-348.