

ARTÍCULO CIENTÍFICO

**Spatial distribution of
Premnotrypes vorax (Hustache)
(Coleoptera: Curculionidae) in potato crops**

**Distribución espacial de
Premnotrypes vorax (Hustache)
(Coleoptera: Curculionidae) en
cultivos de papa**

Ricardo Pérez-Álvarez¹, Jorge Argüelles-Cárdenas²,
Elizabeth Aguilera Garramuño³

A B S T R A C T

The spatial distribution of insect pest provides important information that can optimize the management programs and reduce insecticide applications. In this work, the spatial dynamics of the Andean weevil *Premnotrypes vorax*, were studied in two commercial potato crops for 18 weeks. During this period, the adult number was registered weekly in 25 pitfall traps, which were arranged in a quadrangular design. Moreover, the pest injury levels were evaluated in harvested tubers at the end of the crop cycle. Using the Spatial analysis by distance index (Sadie) method, were determined: (1) the patterns and temporal stability of the spatial distribution of adults and, (2) the spatial association between the distribution of adults and the distribution of damage incidence in tubers. The analyses suggested an aggregated pattern of adults in most of the evaluation dates and a temporally stable spatial structure. The spatial association between the distribution patterns of adults with the damage incidence in tubers was significant ($p < 0.025$). These results suggest that it is possible use spatially targeted control strategies to optimize the pest management and reduce insecticide applications.

Keywords: Precision Agriculture,
Andean Potato Weevil, Integrated Pest Management,
Spatial Pattern, Sadie.

R E S U M E N

La distribución espacial de los insectos plaga proporciona información importante para optimizar los programas de manejo y reducir la aplicación de insecticidas. En este trabajo se estudió la dinámica espacial de los adultos del gusano blanco *Premnotrypes vorax* en dos cultivos comerciales de papa durante 18 semanas. Durante este período se registró el número de adultos capturados semanalmente en 25 trampas de caída dispuestas en un diseño en cuadrícula. Además, se realizó la evaluación de los niveles de daño ocasionados por el insecto en tubérculos cosechados al final del ciclo de cultivo. Utilizando el método de análisis espacial mediante índices de distancia (Sadie), se determinaron: 1.- Los patrones y estabilidad temporal de la distribución espacial de los adultos, y 2.- La asociación espacial entre la distribución de los adultos y la distribución de la incidencia de daño en tubérculos. Los análisis sugieren una distribución agregada de los adultos en la mayoría de fechas evaluadas y una estructura espacial temporalmente estable. La asociación espacial entre el patrón de distribución de los adultos con la incidencia de daño en tubérculos fue significativa ($p < 0,025$). Estos resultados sugieren que es posible utilizar estrategias de control dirigidas hacia los focos específicos de infestación, para optimizar el manejo de la plaga y reducir la aplicación de insecticidas.

Palabras clave: agricultura de precisión, gusano blanco de la papa, manejo integrado de plagas, patrón espacial, Sadie.

I N T R O D U C C I Ó N

El cultivo de la papa en Colombia es afectado por un gran número de problemas fitosanitarios. Entre ellos sobresalen los insectos plaga, los cuales afectan la producción y calidad del producto. Dentro de los insectos plaga de mayor importancia económica del cultivo se destaca el gusano blanco de la papa o gorgojo de los Andes *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae). Las larvas de esta especie penetran y se alimentan de la pulpa de los tubérculos, y de esta manera pueden llegar a causar pérdidas de hasta un 90% en la cosecha (Vélez, 1997). El control del gusano blanco se basa

¹ Biólogo. Grupo de Manejo Fitosanitario, C.I. Tibaitatá, Corpoica, Mosquera. ricardo_perez_alvarez@yahoo.com

² I.A. M.Sc. Investigador máster principal, Grupo de Manejo Fitosanitario, C.I. Tibaitatá, Corpoica, Mosquera. jarguelles@corpoica.org.co

³ Bióloga. Ph.D. Investigadora asistente C.I. Tibaitatá, Corpoica, Mosquera. eaguilera@corpoica.org.co

casi exclusivamente en el empleo de insecticidas químicos dirigidos al estado adulto, muchos de los cuales son de categoría toxicológica I, es decir, extremadamente tóxicos (Zenner, 1990; Crissman *et al.*, 2003; Arica *et al.*, 2006). Además, en la mayoría de los casos hay un mal manejo en las dosis y frecuencias de aplicación, lo que incrementa los riesgos ambientales y de salud en los productores y consumidores (Crissman *et al.*, 1994; Yanggen *et al.*, 2003). En virtud del gran impacto económico de la plaga y de las dificultades y problemas de contaminación asociados a su control, es necesario desarrollar nuevas alternativas para el manejo del insecto. Una de las opciones es dirigir las medidas de control sobre las zonas específicas de infestación, estrategia que depende del conocimiento de la estructura espacial de la especie.

Históricamente, los estudios sobre ecología poblacional de insectos plaga contemplan el análisis de la variación temporal de sus poblaciones, como base para la toma de medidas de manejo (Liebhold *et al.*, 1993; Emmen, 2004). Sin embargo, un correcto control de las plagas también va estrechamente ligado al conocimiento de su distribución espacial (Ramírez-Dávila y Porcayo-Camargo, 2008). En términos prácticos, el conocimiento de la estructura espacial de las poblaciones plaga permite optimizar el manejo, ya que las medidas de control se pueden dirigir hacia las zonas específicas de infestación (Blom *et al.*, 2002; Ramírez-Dávila y Porcayo-Camargo, 2008). Con lo anterior, se puede reducir el uso de insecticidas, retrasar el desarrollo de resistencia y promover la conservación de enemigos naturales (Midgarden *et al.*, 1997).

Muchas técnicas estadísticas han sido desarrolladas para analizar los patrones espaciales de los organismos. Dentro de las metodologías más usadas para poblaciones animales, el primer grupo lo constituyen las técnicas basadas en la relación existente entre la varianza y la media, tal como la Ley de Poder de Taylor (Taylor, 1984), el Índice de Lloyd (Lloyd, 1967) o los Coeficientes de regresión de Iwao (Iwao, 1968). Estas metodologías establecen el tipo de distribución de las poblaciones (azar, agregada o uniforme), sin considerar la magnitud y el arreglo espacial de las agregaciones (Liebhold *et al.*, 1993). Como consecuencia, los índices pueden fallar al diferenciar los distintos patrones de distribución espacial, y dependen considerablemente del tamaño de la muestra (Sawyer, 1989; Hurlbert, 1990). El segundo grupo lo constituyen las metodologías basadas en técnicas de interpolación, que permiten establecer la estructura espacial de las variables bajo estudio y generar salidas cartográficas. Dentro de éstas se encuentran las técnicas geoestadísticas, que se han convertido en las metodologías más usadas por su compatibilidad con los sistemas de información geográfica y su versatilidad para analizar

grandes volúmenes de datos (Liebhold *et al.*, 1993). Sin embargo, la geoestadística fue desarrollada originalmente para aplicaciones geológicas donde las variables son medidas en escalas continuas con distribución normal y estacionariedad en la varianza (i.e. la varianza es igual en las diferentes zonas del área de estudio). Por el contrario, las características numéricas de los conteos de poblaciones animales (i.e. variables discretas, elevado número de ceros en los muestreos, distribución de Poisson), limitan el uso de la geoestadística como herramienta para abordar la estructura espacial de sus poblaciones (Perry, 1998).

Como alternativa, Perry y Hewit (1991) crearon el método de "Análisis espacial mediante índices de distancia" (Sadie, por su sigla en inglés), que no se basa en los supuestos de los métodos anteriores (Perry, 1995). Con Sadie se determina el patrón espacial general de una variable en un área de estudio, se detectan los agregados locales y se determina una medida de la covariación espacial entre pares de variables. Este método se ha utilizado exitosamente para analizar la dinámica espacio-temporal de muchos organismos, incluyendo insectos plaga (Kim *et al.*, 2007), insectos depredadores (Holland *et al.*, 2005) y la asociación espacial entre plagas y enemigos naturales (Pearce y Zalucki, 2006).

En el presente trabajo se estudió la estructura espacial de los adultos de *P. vorax* durante el desarrollo del cultivo, con el uso de trampas de caída. Así mismo, se determinó que el muestreo de adultos con trampas de caída es un método adecuado para realizar el seguimiento de las poblaciones del gusano blanco. Estos aspectos contribuyen al diseño y ejecución de Programas de Manejo Integrado de Plagas que pueden mejorar la competitividad y sostenibilidad del sistema de producción de la papa en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en dos lotes comerciales de papa del municipio de Ventaquemada (Boyacá), vereda San José del Gacal (5°26'N, 73°30'O) a una altitud de 2983 m. El área de estudio se localiza dentro de la región de clima frío húmedo, con temperaturas entre los 8 y 16 °C y una humedad relativa promedio del 75%. El régimen de lluvias es de tipo unimodal, con valores máximos entre mayo-julio y una precipitación anual promedio de 1123 mm (Hernández, 1997).

Los lotes seleccionados permanecieron por más de un año en descanso y luego se sembraron con papa de la variedad parda pastusa, a una distancia aproximada de 0,4 m entre plantas y 1 m entre surcos. Los cultivos se manejaron de acuerdo con las pautas regionales. Para el manejo de *P. vorax* se realizaron tres aplicaciones de Carbofuran

(Furadan®), dirigidas al suelo (a los 30 días después de la siembra, al aporque y en la floración).

Muestreo de adultos. En cada uno de los lotes se estableció un sistema de muestreo en cuadrícula, conformado por 25 trampas de caída, distanciadas 10 m entre sí (Figura 1). Como trampa de caída se emplearon vasos plásticos de 12 cm de diámetro y 7 cm de profundidad, enterrados a ras del suelo. Cada trampa se llenó con una mezcla de agua y detergente a un tercio de su capacidad, con el fin de retener los individuos capturados. Sobre cada vaso y a una altura de 5 cm de la superficie se colocó una lámina de madera, la cual además de proteger los vasos de las condiciones externas, propicia el ambiente sombrío que busca el insecto y en el cual se oculta. La lectura y mantenimiento de las trampas se realizó semanalmente durante 18 semanas, desde la emergencia del cultivo hasta su cosecha (27 de marzo -31 de julio de 2008).

Evaluación de niveles de daño en tubérculos cosechados. En cada lote se evaluó el nivel de daño en los tubérculos cosechados en 25 puntos de muestreo anexos a las trampas de caída. En cada punto se colectaron la totalidad de tubérculos producidos por cuatro plantas (dos plantas a cada lado de la trampa), pertenecientes a una misma línea de siembra. Los tubérculos se lavaron y posteriormente se tomaron lecturas del rendimiento del cultivo y de la incidencia del daño causado por el gusano blanco. El rendimiento se determinó con base en el peso total de los tubérculos cosechados, y para la incidencia de daño se contó el número de tubérculos afectados por el insecto.

Análisis del patrón espacial. Para la caracterización y análisis de los patrones espaciales se empleó Sadie (Perry,

1998; Perry *et al.*, 1999; Perry y Dixon, 2002). Inicialmente, mediante el cálculo de los índices de agregación (I_a) se determinó el patrón espacial para las capturas de adultos en cada fecha de muestreo y para el rendimiento y la incidencia de daño en cada uno de los lotes (5967 simulaciones por prueba). Sadie determina el patrón espacial de la variable objetivo, calculando la distancia mínima en el espacio (D) requerida para obtener la regularidad o valor promedio de la variable en todas las posiciones del área experimental. El patrón espacial de los datos (I_a) se estima a través de la relación entre el valor de D observado y el calculado aleatoriamente a partir de una prueba de permutaciones (Perry, 1998; Perry *et al.*, 1999). Los datos muestran una distribución agregada si $I_a > 1$, aleatoria si $I_a = 1$, y regular si $I_a < 1$ (Perry *et al.*, 1999). La comparación del valor observado D_{obs} con las colas de la distribución de los valores obtenidos en las permutaciones se utiliza para establecer su significancia estadística (Perry *et al.*, 1999).

También se calculó el índice de agrupación (v), que se expresa en manchas (i.e. zonas con valores superiores a la media) y claros (i.e. zonas con valores inferiores a la media). Las unidades de muestreo ubicadas dentro de una mancha tienen valores de $v_i > 1,5$, las ubicadas en un claro $v_i < -1,5$ y los valores cercanos a uno indican una distribución aleatoria de esa unidad (Perry *et al.*, 1999). Para evaluar estadísticamente el grado de agrupación de los datos, los valores medios de v_i y v_j son comparados con los obtenidos mediante una prueba de permutaciones (Perry *et al.*, 1999). El índice de agrupación es una variable continua y presenta correlación espacial, por lo que se puede representar en un mapa de contornos para visualizar la ubicación de las manchas y claros. Con base en los índices de agrupamiento calculados, se generaron

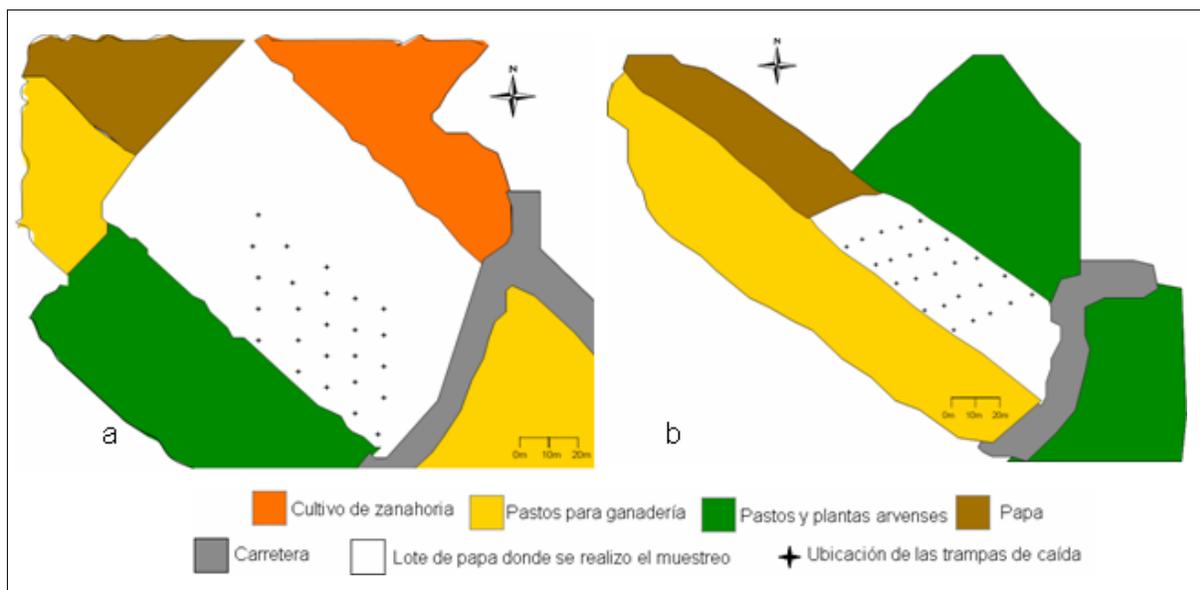


Figura 1. Esquema de los lotes de cultivo donde se realizó el seguimiento de los adultos de *P. vorax*. **a.** Lote 1 **b.** Lote 2.

los mapas de contorno para las capturas quincenales de adultos y para el rendimiento y la incidencia de daño en cada uno de los lotes (5967 simulaciones por prueba).

Todos los análisis descritos se realizaron con el programa SadieShell versión 1.22 (Conrad y IACR-Rothamsted, 2001). Los mapas de contorno se crearon mediante interpolación lineal con el programa Surfer versión 8.00 (Golden Software Inc., 2002).

Estabilidad en la distribución espacial de los adultos.

Para calcular la estabilidad en las distribuciones espaciales de *P. vorax* entre dos períodos sucesivos de muestreo, se utilizó el método descrito por Perry y Dixon (2002), el cual se fundamenta en la comparación de los índices de agrupamiento obtenidos por Sadie. En la práctica, si los índices de agrupamiento de una de las semanas de muestreo se denotan como v_{i1} con media q_1 , y los de la segunda semana como v_{i2} con media q_2 , entonces una medida de la asociación espacial local para la posición i podría estar dada por la siguiente relación:

$$X_i = \frac{n (v_{i1} - q_1) (v_{i2} - q_2)}{[\sum_i (v_{i1} - q_1)^2 (v_{i2} - q_2)^2]^{1/2}}$$

La asociación espacial total es la media de estos valores locales, $X = \sum_i X_i / n$, donde X es el índice de asociación y n es el número de unidades muestrales. Valores positivos de X indican coincidencia en las manchas o claros, mientras que valores negativos indican disociación entre los patrones espaciales de las dos semanas de muestreo. La significancia estadística de X se obtuvo a partir de una prueba de permutaciones que incluye un procedimiento de ajuste de Dutilleul *et al.* (1993), donde se considera la autocorrelación espacial presente en los datos. Para el análisis de asociación se agruparon dos semanas consecutivas de muestreo, con el fin de reducir la frecuencia de valores cero en las muestras, ya que Sadie no es sensible a pequeños tamaños de la muestra (Thomas *et al.*, 2001), lo que afectaría los resultados.

Asociación espacial entre las capturas de adultos y los niveles de daño. Se calculó el grado de asociación espacial entre el número acumulado de adultos capturados desde el inicio de la floración y los niveles de daño en cosecha. Para ello se utilizó la misma metodología descrita para evaluar la estabilidad en la distribución espacial de los adultos.

RESULTADOS

Distribución espacial. En el lote uno los adultos mostraron una distribución agregada durante las primeras 13 semanas

de muestreo ($I_a > 1$). Durante este período, los valores del índice de agregación aumentaron y disminuyeron entre fechas sucesivas, sugiriendo un proceso de expansión y contracción en los focos de agregación de la plaga. Después de la semana 13 los adultos presentaron una distribución aleatoria ($I_a = 1$), lo que coincidió con un descenso en la cantidad de individuos capturados. En contraste, en el lote dos predominó la distribución aleatoria y solo se registró un patrón agregado en el 38,8% de las fechas muestreadas (Figura 2).

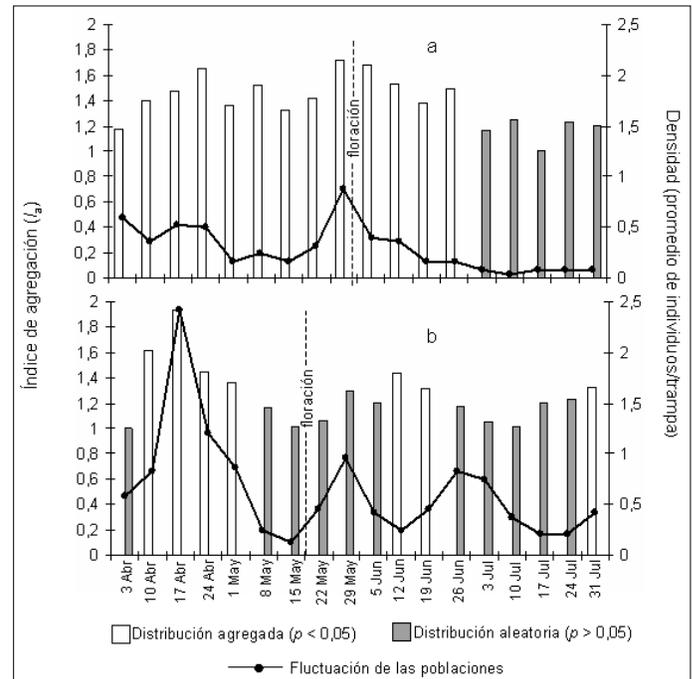


Figura 2. Fluctuación de la población de adultos e índices de agregación registrados durante el ciclo de cultivo. **a.** Lote 1 **b.** Lote 2

A partir de los datos quincenales de capturas de adultos se obtuvieron nueve mapas de contornos para cada uno de los lotes de cultivo (Tabla 1, figuras 3 y 4). Los mapas de contorno muestran un patrón común en el 77,8% de los casos, altas densidades en los bordes del cultivo y disminución concéntrica a medida que se avanza hacia el interior del mismo. Esto significa que los insectos colonizan el cultivo por los bordes, y a medida que va aumentando la densidad de individuos se desplazan hacia el interior. Las mayores capturas de adultos se registraron en los bordes del cultivo aledaños a las fuentes potenciales de infestación, patrón que se mantuvo relativamente constante a lo largo del estudio. En efecto, en el lote uno la mayor concentración de adultos se observó por el costado suroccidental del cultivo, que colindaba con un lote de pastos y plantas arvenses. En el lote dos se observaron dos lugares de alta concentración de adultos, los costados norte y oriental, contiguos a un cultivo de papa y a un área de pastos y arvenses, respectivamente.

Tabla 1. Valores promedio de los índices de agregación (I_a) y agrupamiento (v_j, v_i) registrados durante el seguimiento de los adultos de *P. vorax* en los dos lotes de cultivo.

Período	Lote 1			Lote 2		
	I_a	v_j	v_i	I_a	v_j	v_i
27 marzo-10 abril	1,348*	-1,372*	1,235	1,438*	-1,327*	1,211
10-24 abril	1,725*	-1,727*	1,192*	1,924*	-1,819*	1,886*
24 abril-8 mayo	1,732*	-1,734*	1,457*	1,121	-1,072	0,999
8-22 mayo	1,701*	-1,701*	1,649*	0,965	-0,989	0,911
22 mayo-5 junio	1,597*	-1,526*	1,354*	1,250	-1,234	1,189
5-19 junio	1,528*	-1,536*	1,326*	1,362*	-1,369*	1,375*
19 junio-3 julio	1,508*	-1,513*	1,544*	1,485*	-1,496*	1,387*
3-17 julio	1,246	-1,264	1,131	1,423*	-1,432*	1,293
17-31 julio	1,505*	-1,518*	1,388*	1,526*	-1,528*	1,371*

*Indican un patrón de distribución agregado ($P < 0,05$) y la presencia significativa ($P < 0,05$) de claros (v_j) o manchas (v_i) en la zona de estudio.

Por su parte, la distribución espacial del daño en tubérculos cosechados mostró un patrón agregado en los dos cultivos (Figura 5). El índice de agregación de la incidencia de daño en el lote uno fue de $I_a = 2,019$ ($p < 0,0001$), y en el lote dos fue de $I_a = 1,623$ ($p = 0,0026$). En el lote uno se presentó un porcentaje general de daño del 12,5%, y para el lote dos fue de 15,4%. Estos niveles de daño no fueron uniformes sobre el área de cultivo, sino que se distribuyeron principalmente en las plantas ubicadas hacia las zonas perimetrales. De esta manera, se observó que la mayor densidad de adultos hacia los bordes del cultivo también se manifestó en un mayor nivel

de daño de las plantas ubicadas hacia los linderos. Además, algunas áreas del cultivo estuvieron libres de la plaga. El 28,0% de los puntos de muestreo del lote uno y el 16,7% del lote dos no presentaron daños por el gusano blanco.

En cuanto al rendimiento del cultivo, éste se ajustó a una distribución aleatoria, con valores del índice de agregación de $I_a = 1,106$ ($p = 0,2051$) y $I_a = 1,116$ ($p = 0,2051$), para los lotes uno y dos, respectivamente (Figura 5). En promedio se obtuvo un rendimiento de 1,298 kg/planta en el lote uno y 1,715 kg/planta para el lote dos.

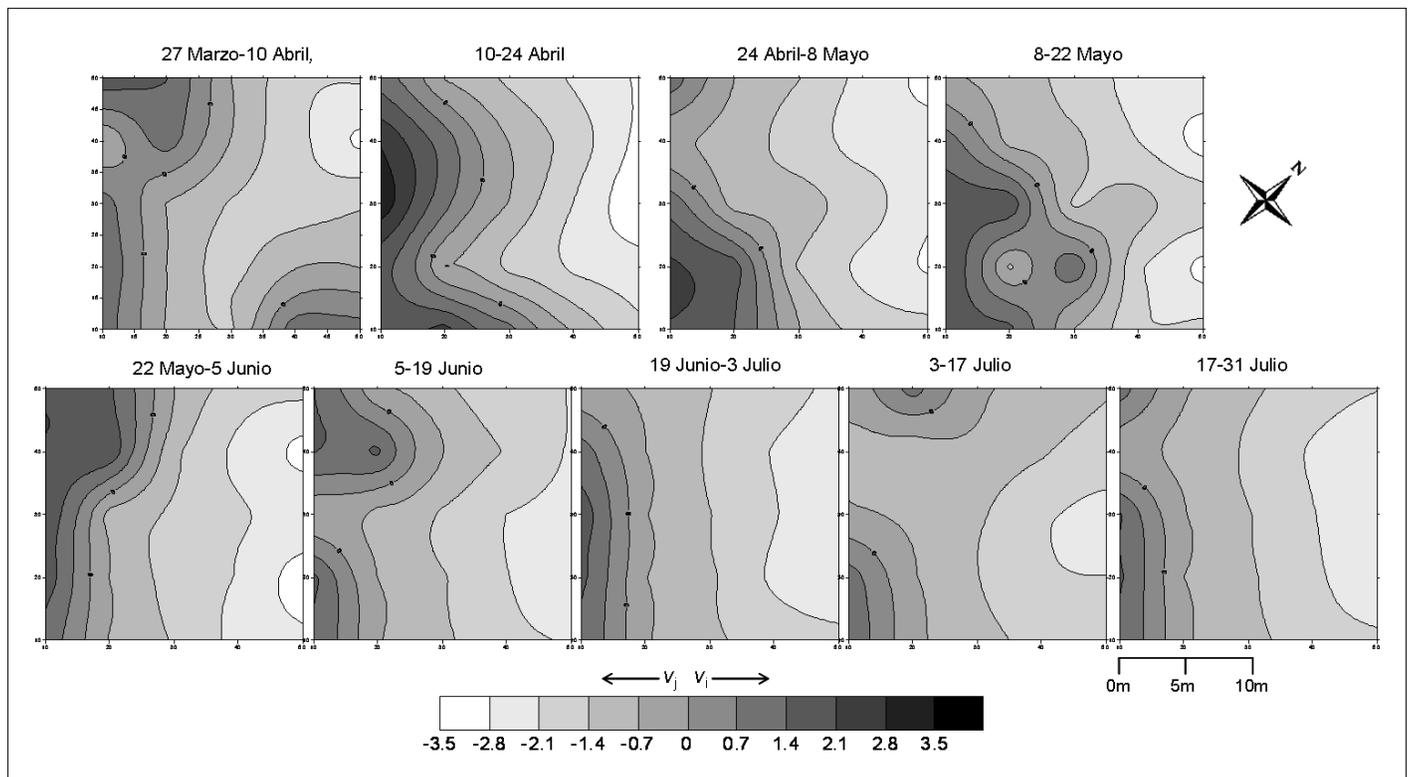


Figura 3. Mapas del índice de agrupación (v) de las capturas de adultos de *P. vorax* obtenidos durante el seguimiento de las poblaciones en el lote 1. Valores de v mayores de 1,5 indican la presencia de una mancha y valores de v menores a -1,5 indican la presencia de un claro.

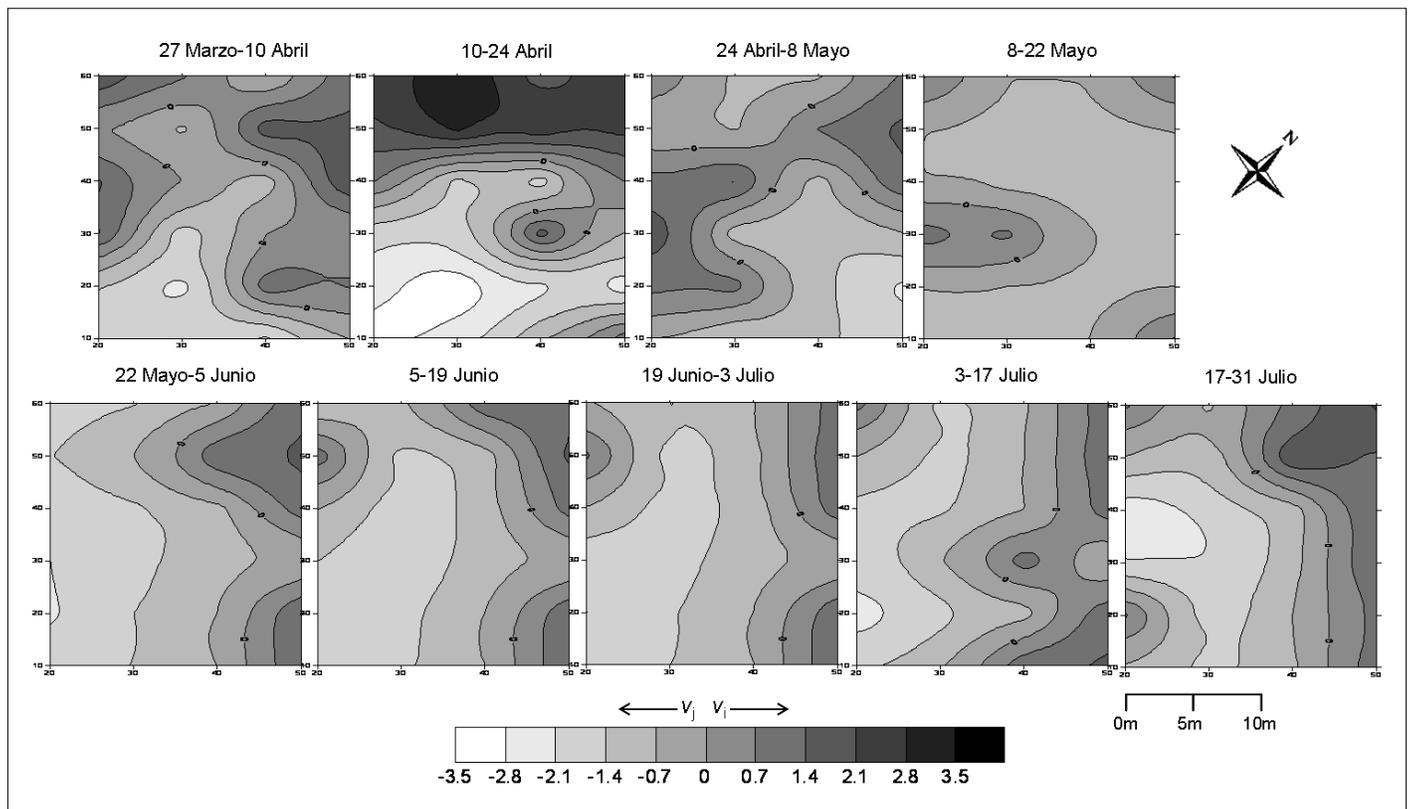


Figura 4. Mapas del índice de agrupación (v) de las capturas de adultos de *P. vorax* obtenidos durante el seguimiento de las poblaciones en el lote 2. Valores de v mayores de 1,5 indican la presencia de una mancha y valores de v menores a -1,5 indican la presencia de un claro.

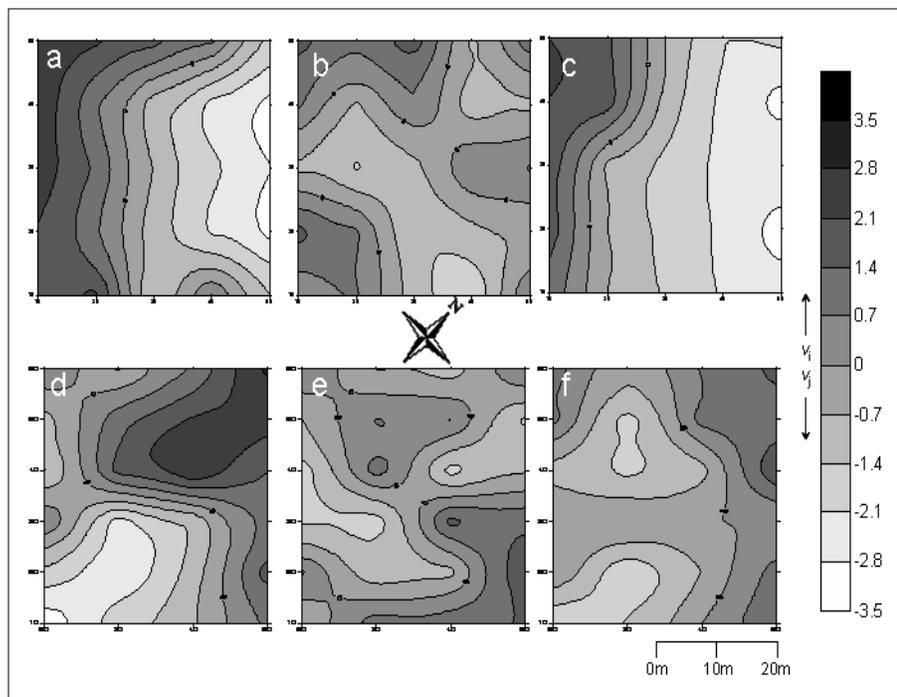


Figura 5. Mapas del índice de agrupación (v) de la incidencia de daño, rendimiento del cultivo y abundancia acumulada de adultos desde la floración del cultivo. **a.** Incidencia de daño en el lote 1. **b.** Rendimiento del cultivo en el lote 1. **c.** Abundancia acumulada de adultos en el lote 1. **d.** Incidencia de daño en el lote 2. **e.** Rendimiento del cultivo en el lote 2. **f.** Abundancia acumulada de adultos en el lote 2.

Estabilidad en la distribución espacial de los adultos. Se compararon las distribuciones espaciales de los adultos obtenidas cada quince días, para un total de ocho comparaciones por lote (Tabla 2). Para el lote uno se observó una asociación significativa entre fechas sucesivas de muestreo, representada por la persistencia en el tiempo de las manchas y los claros de incidencia espacial. En el lote dos también se observó una asociación significativa desde la quincena cinco (i.e. 5 de junio), que coincide con la etapa de madurez fisiológica del cultivo. De esta manera, los resultados sugieren que los adultos de *P. vorax* presentan una estructura espacial estable en el tiempo. Tal estabilidad es de gran importancia, ya que permitiría detectar con antelación las zonas del cultivo donde se presentan infestaciones altas.

Asociación espacial entre las capturas de adultos y los niveles de daño. Para los dos lotes de cultivo se observó

Tabla 2. Índices de asociación entre fechas sucesivas de muestreo de adultos de *P. vorax*.

Períodos comparados	Valor del índice de asociación, X (p^a)	
	Lote 1	Lote 2
10 - 24 abril	0,5632 (0,0049)	0,5198 (0,0101)
24 abril - 8 mayo	0,7944 (< 0,0001)	0,0983 (0,3310)
8 - 22 mayo	0,7410 (0,0003)	0,1351 (0,2674)
22 mayo - 5 junio	0,6578 (0,0004)	0,0206 (0,4551)
5 - 19 junio	0,9009 (< 0,0001)	0,7374 (0,0002)
19 junio - 3 julio	0,8069 (< 0,0001)	0,9240 (< 0,0001)
3 - 17 julio	0,7310 (0,0003)	0,7795 (0,0001)
17- 31 julio	0,8116 (0,0003)	0,5269 (0,0081)

^aValores de $p < 0,025$ indican una asociación significativa y valores de $p > 0,975$ indican disociación significativa.

una asociación espacial significativa entre la distribución espacial de los adultos y la incidencia de daño. Para el lote uno, el índice de asociación total fue de $X = 0,8347$ ($p < 0,0001$) y para el lote dos fue de $X = 0,5160$ ($p = 0,0060$). Este resultado indica que las capturas de adultos en trampas de caída podrían ser empleadas para determinar los lugares hacia donde deben dirigirse las medidas de control.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se encontró que las capturas de adultos de *P. vorax* mostraron un patrón de distribución agregado en la mayoría de fechas evaluadas. Además, los adultos del gusano blanco colonizaron el cultivo por los bordes aledaños a las fuentes potenciales de infestación. Estos resultados concuerdan con los registrados por Valencia (1989) y Salazar (1996), quienes encontraron una distribución agregada de los adultos del gusano blanco y una tendencia a concentrarse en los bordes del cultivo.

El conocimiento de la disposición espacial del insecto y del patrón de colonización del cultivo, ofrece ventajas de índole práctica para el manejo de la plaga (Kroschel *et al.*, 2009). Por ejemplo, en este estudio se encontró que en algunas zonas del área de experimentación se registraron niveles altos de daño por el gusano blanco, mientras que otras zonas permanecieron virtualmente libres de la plaga. Estos hallazgos indican que existe la posibilidad de emplear tácticas de control dirigidas hacia los focos específicos de infestación, lo que conllevaría a optimizar el control de la plaga y minimizar el uso de insecticidas químicos. Además, con la aplicación de tratamientos preferenciales en las zonas periféricas del campo, se podría impedir que los insectos colonicen y avancen hacia el interior del cultivo (Calvache, 1991). Comportamientos espaciales similares a los detectados para las poblaciones del gusano blanco han sido documentados para otras especies de insectos plaga. Tal es el caso de *Ceutorhynchus assimilis* (Coleoptera: Curculionidae) en un cultivo de

canola (*Brassica napus*) y *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae) en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) (Ferguson *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2007).

Con respecto a la estabilidad en la distribución espacial de los adultos del gusano blanco, se encontró que la incidencia espacial fue temporalmente estable. La estabilidad temporal en la distribución espacial de insectos plaga ha sido reportado para otras especies como *S. lurida* y *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) (Kim *et al.*, 2007; Ramírez-Dávila y Porcayo-Camargo, 2008). Además de la estabilidad temporal, en el presente estudio se evidenció que existe asociación espacial entre las capturas de adultos en trampas de caída y los niveles de daño en cosecha. Lo anterior indica que las capturas de adultos en trampas de caída podrían ser empleadas para determinar los lugares hacia donde deben dirigirse las medidas de control. Esto es especialmente relevante si se tiene en cuenta que en la actualidad en Colombia no existe un sistema de muestreo para el gusano blanco que incorpore explícitamente la variabilidad espacial de sus poblaciones. La evaluación del daño al momento de la cosecha ha sido el único sistema que permite conocer la magnitud real del problema, para guiar la toma de decisiones a futuro (Merino y Vásquez, 1979). Sin embargo, este tipo de evaluación no tiene en cuenta que la rotación del cultivo con otros sistemas productivos puede afectar la dinámica de la plaga (Yabar, 1988; Gallegos, 1995). Otras técnicas de detección de los adultos de la plaga por medio de zarandas (Calvache, 1979), trampas de refugio (Galindo y Español, 2004) y conteo nocturno sobre el follaje (Herrera, 1997) no incorporan la información espacial, ni tienen en cuenta el grado de agregación de la plaga. De esta manera, es posible que estos sistemas de muestreo subestimen o sobrestimen el efecto de las infestaciones sobre la producción del cultivo.

Los productores necesitan formas más confiables y predecibles de monitorear las poblaciones de gusano blanco, que les permitan tener mayor precisión para la localización espacial de los focos de alta densidad de la plaga. Además, estas estrategias de muestreo deben ser económicas y fáciles de implementar para que puedan ser adoptadas por todos los agricultores, especialmente los pequeños productores. En este sentido, las trampas de caída empleadas en este estudio constituyen una opción viable para realizar el seguimiento y detección oportuna de las poblaciones del gusano blanco. Lo anterior contrasta con lo observado por Valencia (1989), quien menciona que las trampas de caída solas no constituyen un buen dispositivo para la detección de los adultos del gusano blanco. No obstante, los resultados del presente estudio y las observaciones de otros investigadores (Mommertz *et al.*, 1996; Thomas *et al.*, 2001; Holland *et al.*, 2009; Missa *et al.*, 2009) apoyan la idea de utilizar las trampas de caída para

el seguimiento de insectos de hábitos terrestres, siempre y cuando los datos sean interpretados adecuadamente (Adis, 1979; Maelfait y Desender, 1990). Otros métodos de seguimiento del gusano blanco, como las trampas de refugio (Niño *et al.*, 2000), también podrían llegar a ser alternativas viables si son utilizadas bajo un esquema de muestreo sistemático que incorpore la información espacial.

El método aquí evaluado para el seguimiento de la plaga es apropiado para ser utilizado en las distintas zonas de producción de papa del país, previa validación y adecuación del mismo, de acuerdo con las particularidades ecológicas y del manejo específico del cultivo en cada región. Así, por ejemplo, las especificidades en el régimen de aplicación de plaguicidas (i.e. tipo y frecuencia de insecticidas empleados) pueden influenciar la dinámica de las plagas y modificar su distribución espacial (Longley *et al.*, 1997; Holland *et al.*, 2000). Igualmente, la disposición espacial de una especie puede obedecer a diferentes factores de tipo físico del ambiente y a un comportamiento individual determinado, en respuesta a diversos fenómenos de interacción a nivel poblacional (Rabinovich, 1978). Por tanto, próximos trabajos deben validar las tendencias espaciales encontradas para el gusano blanco y determinar la influencia que tienen otros

parámetros bióticos y abióticos en la dinámica espacial de la plaga. Del mismo modo, es importante avanzar en la generación de un umbral de daño económico para el gusano blanco, que permita articular el conocimiento de su dinámica espacial con criterios de decisión sobre aplicación de insecticidas.

En el futuro, sería aconsejable estudiar la distribución espacial de *P. vorax* a escalas espaciales y temporales mayores. También sería pertinente estudiar la dinámica espacial de la plaga en lotes de papa donde no se presente rotación con otros cultivos, de manera que exista una población inicial al momento de la siembra. Esta información permitiría ampliar el conocimiento sobre la dinámica de las poblaciones del gusano blanco y, consecuentemente, mejorar las estrategias para su seguimiento y manejo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Asociación Hortifrutícola de Colombia por la financiación de esta investigación. A los revisores anónimos, quienes realizaron sugerencias y aportes que permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adis, J. (1979). *Problems of Interpreting Arthropod Sampling with Pitfall Traps*. Zoologischer Anzeiger (Jena) 202: 177-184.
- Arica, D.; Kroschel, J.; Forbes, G.; Saint Pere, K. (2006). *Persistent Organic Pollutants and Hazardous Pesticides in Andean Farming Communities in Peru*. International Potato Center (CIP), Lima, Perú. 48 p.
- Blom, P.E.; Fleischer, S.J.; Smilowitz, Z. (2002). *Spatial and Temporal Dynamics of Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in Fields with Perimeter and Spatially Targeted Insecticides*. Entomological Society of America (Published by BioOne), Lanham (Maryland), USA. *Environmental Entomology* 31:149-159.
- Calvache, H. (1979). Método de "zarandas" para detectar la presencia de adultos de gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Hustache) en el suelo. Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen), Bogotá, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 5(1-2): 31-35.
- Calvache, H. (1991). *Efecto de barreras vegetales y químicas en el control del gusano blanco de la papa (Premnotrypes vorax Hustache)*. Asociación Latinoamericana de la papa (Alap), Bogotá, Colombia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 4: 22-35.
- Crissman, C.C.; Cole, D.C.; Carpio, F. (1994). *Pesticide use and Farm Worker Health in Ecuadorian Potato Production*. Oxford University Press, Milwaukee, USA. *American Journal of Agricultural Economics* 76 (3): 593-597.
- Crissman, C.; Espinosa, P.; Barrera, V. (2003). *El uso de plaguicidas en la producción de papa en Carchi*. En: Yanggen, D.; Crissman, C.; Espinosa, P. (eds.). *Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador*. Quito. CIP e Iniap. Ediciones Abya Yala, p. 9-24.
- Conrad, K.F.; IACR-Rothamsted. (2001). SadieShell version 1.22. En: <http://www.rothamsted.ac.uk/pie/sadie/>; consulta: marzo de 2009.
- Dutilleul, P.; Clifford, P.; Richardson, S.; Hemon, D. (1993). *Modifying the Test for Assessing the Correlation Between Two Spatial Processes*. The International Biometrics Society (IBS), Washington DC, USA. *Biometrics* 49:305-314.
- Emmen, D.A. (2004). *La agricultura de precisión: una alternativa para optimizar los sistemas de producción*. Universidad Santa María La Antigua (Usma), Panamá, República de Panamá. *Investigación y pensamiento crítico* 2: 68-74.
- Ferguson, A.W.; Klukowski, Z.; Walczak, B.; Clark, S.J.; Mugglestone, M.A.; Perry, J.N.; Williams, I.H. (2003). *Spatial Distribution of Pest Insects in Oilseed Rape: Implications for Integrated Pest Management*. Elsevier Publisher, Maryland Heights, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 509-521.
- Galindo, J.R.; Español, J.A. (2004). *Dinámica de la captura de Premnotrypes vorax (Coleoptera: Curculionidae) y la polilla guatemalteca Tecia solanivora (Lepidoptera: Gelechiidae) en trampas con diferentes tipos de atrayentes en un cultivo de papa criolla (Solanum phureja)*. Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen), Bogotá, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 30 (1): 57-64.
- Gallegos, P. (1995). *Relación entre la población de adultos de Premnotrypes vorax (Hustache) al inicio del cultivo de papa y el daño de tubérculos a la cosecha*. Asociación Latinoamericana de la papa (ALAP), Bogotá (Colombia). *Revista Latinoamericana de la Papa* 7/8: 17-24.
- Golden Software, Inc. (2002). *Surfer 8. User's Guide*. Colorado, USA, 609 P.
- Hernández, L.Y. (1997). *Dinámica poblacional y comportamiento de la polilla guatemalteca Tecia solanivora (Povolny) en el municipio de Ventaquemada, Boyacá* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 145 p.
- Herrera, F. (1997). *El gusano blanco de la papa*. Biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado. Bogotá, Produmedios, 14 p. En: <http://www.redepapa.org/francois1.pdf>; consulta: julio de 2009.
- Holland, J.M.; Thomas, C.F.G.; Birkett, T.; Southway, S.; Oaten, H. (2005). *Farm-scale Spatiotemporal Dynamics of Predatory Beetles in Arable Crops*. British Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), London, UK. *Journal of Applied Ecology* 42:1140-1152.
- Holland, J.M.; Birkett, T.; Southway, S. (2009). *Contrasting the Farm-scale Spatio-temporal Dynamics of Boundary and Field Overwintering Predatory Beetles in Arable Crops*. International Organization for Biological Control (Published by Springer). New York, USA. *Biocontrol* 54: 19-33.
- Holland, J.M.; Winder, L.; Perry, J.N. (2000). *The Impact of Dimethoate on the Spatial Distribution of Beneficial Arthropods in Winter Wheat*. Association of Applied Biologist (Published by Wiley-Blackwell), Warwick, UK. *Annals of Applied Biology* 136(2): 93-105.
- Hulbert, S. (1990). *Spatial Distribution of the Montane Unicorn*. Nordic Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), Lund, Sweden. *Oikos* 58: 257-271.
- Iwao, S. (1968). *A New Regression Method for Analyzing the Aggregation Pattern of Animal Populations*. Society of Population Ecology (Published by Springer), Tokyo, Japan. *Researches on Population Ecology* 10: 1-20.
- Kim, H.; Kim, S.T.; Jung, M.P.; Lee, J.H. (2007). *Spatio-temporal Dynamics of Scotinophora lurida (Hemiptera: Pentatomidae) in Rice Fields*. Ecological Society of Japan (Published by Springer), Sendai, Japan. *Ecological Research* 22(2): 204-213.
- Kroschel, J.; Alcazar, J.; Poma, P. (2009). *Potential of Plastic Barriers to Control Andean Potato Weevil Premnotrypes suturicallus Kuschel*. International Association for the Plant Protection Sciences (Published by Elsevier). Lincoln, NE USA. *Crop Protection* 28: 466-476.
- Liebold, M.; Rossi, E.; Kemp, P. (1993). *Geostatistics and Geographic Information Systems in applied Insect Ecology*. Annual Reviews Publisher, Palo Alto (California), USA. *Annual Review of Entomology* 38: 303-327.
- Lloyd, M. (1967). *Mean Crowding*. British Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), London, UK. *Journal of Animal Ecology* 35: 1-30.
- Longley, M.; Jepson, P.C.; Izquierdo, J.; Sotherton, N.W. (1997). *Temporal and Spatial Changes in Aphid and Parasitoid Populations Following Applications of Deltamethrin in Winter Wheat*. Netherlands Entomological Society (Published by Wiley-Blackwell), Amsterdam, Netherlands. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 83(1):41-52.
- Maelfait, J.; Desender, K. (1990). *Possibilities of Short Term Carabid Sampling for Site Assessment Studies*. In: Stork NE (ed.). *The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental Studies*. Intercept, Andover, p. 217-226.
- Merino, G.; Vásquez, V. (1979). *Recomendaciones preliminares para determinar el grado de daño del gusano blanco de la papa y su control*. Iniap. Boletín divulgativo N° 108. Quito, Ecuador. 8 p.
- Midgarden, D.; Fleischer, S.J.; Weisz, R.; Smilowitz. (1997). *Site-specific Integrated Pest Management Impact on Development on Esenvalerate Resistance in Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and on Densities of Natural Enemies*. Entomological Society of America (Published by BioOne), Lanham (Maryland), USA. *Journal of Economic Entomology* 90: 855-867.
- Missa, O.; Basset, Y.; Alonso, A.; Miller, S.E.; Curletti, G.; De Meyer, M.; Eardley, C.; Mansell, M.W.; Wagner, T. (2009). *Monitoring Arthropods in a Tropical Landscape: Relative Effects of Sampling Methods and Habitat Types on Trap Catches*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. *Journal of Insect Conservation* 13: 103-118.

- Mommertz, S.; Schauer, C.; Kösters, N.; Lang, A.; Filser, J. (1996). *A Comparison of D-Vac Suction, Fenced and non Fenced Pitfall Traps Sampling of Epigeal Arthropods in Agroecosystems*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, Helsinki, Finland. *Annales Zoologici Fennici* 33: 117-124.
- Niño, L.; Acevedo, E.; Becerra, F. (2000). *Control de adultos del gusano blanco de la papa con trampas de follaje*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Fonaiap), Maracay, Venezuela. *Revista Fonaiap Divulga* 67:41-43.
- Pearce, S.; Zalucki, M.P. (2006). *Do Predators Aggregate in Response to Pest Density in Agroecosystems? Assessing Within-field Spatial Patterns*. British Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), London, UK. *Journal of Applied Ecology* 43:128-140.
- Perry, J.N. (1995). *Spatial Analysis by Distance Index*. British Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), London, UK. *Journal of Animal Ecology* 64: 303-314.
- Perry, J.N. (1998). *Measures of Spatial Pattern for Counts*. Ecological Society of America, Ithaca, USA. *Ecology* 79: 1008-1017.
- Perry, J.N.; Dixon, P.M. (2002). *A New Method to Measure Spatial Association for Ecological Count Data*. University Laval (Published by BioOne), Quebec, Canada. *Ecoscience* 9:133-141.
- Perry, J.N.; Hewitt, M. (1991). *A New Index of Aggregation for Animal Counts*. The International Biometrics Society (IBS), Washington, D.C., USA. *Biometrics* 47(4): 1505-1518.
- Perry, J.N.; Winder, L.; Holland, J.M.; Alston, R.D. (1999). *Red-blue Plots for Detecting Clusters in Count Data*. Centre National de la Recherche Scientifique (Published by Wiley-Blackwell), Paris, France. *Ecology Letters* 2: 106-113.
- Rabinovich, J.E. (1978). *Ecología de poblaciones animales*. Secretaría de la Organización de los Estados Americanos. Monografía No. 21. Washington, D.C., USA. 112 p.
- Ramírez-Dávila, J.F.; Porcayo-Camargo, E. (2008). *Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España*. Sociedad Colombiana de Entomología, Bogotá, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 34 (2): 169-175.
- Salazar, E.M. (1996). *Ciclo biológico y dinámica poblacional del gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Hustache) en el municipio de Motavita, Boyacá* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 118 p.
- Sawyer, J. (1989). *Inconstancy of Taylor's b: Simulated Sampling with Different Quadrat Sizes and Spatial Distributions*. Society of Population Ecology (Published by Springer), Tokyo, Japan. *Researches on Population Ecology* 31: 11-24.
- Taylor, L.R. (1984). *Assessing and Interpreting the Spatial Distribution of Insect Populations*. Annual Reviews Publisher, Palo Alto (California), USA. *Annual Review of Entomology* 29: 321- 357.
- Thomas, C.F.G.; Parkinson, L.; Griffiths, G.J.K.; Garcia, A.F.; Marshall, E.J.P. (2001). *Aggregation and Temporal Stability of Carabid Beetle Distribution in Field and Hedgerow Habitats*. British Ecological Society (Published by Wiley-Blackwell), London, UK. *Journal of Applied Ecology* 38: 100-116.
- Valencia, L. (1989). *El gusano blanco de la papa. *Premnotrypes vorax* (Hustache) en Colombia*. I. Comportamiento de adultos en el campo. Asociación Latinoamericana de la Papa (Alap), Bogotá (Colombia). *Revista Latinoamericana de la Papa* 2 (1): 57-70.
- Vélez, R. (1997). *Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado*. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 482 p.
- Yabar, L.E. (1988). *Integración de prácticas culturales para el control del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes spp.*)*. Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP), Bogotá (Colombia). *Revista Latinoamericana de la Papa* 1(1): 120-129.
- Yanggen, D.; Crissman, C.; Espinosa, P. (2003). *Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador*. Quito. CIP e Iniap. Ediciones Abya Yala, 198 p.
- Zenner de Polanía, I. (1990). *Research and Management Strategies for Potato Insect Pest in Colombia*. En: Hahn, S.K.; Caveness, F.E. (eds.). *Integrated Pest Management for Tropical Root and Tuber Crops*. Proceedings of the Workshop on the Global Status of and Prospects for Integrated Pest Management of Root and Tuber Crops in the Tropics. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. pp. 139-148.