

## **PÉRDIDAS CAUSADAS POR EL AMACHAMIENTO DEL FRIJOL (*Aphelenchoides besseyi* Christie) Y REACCIÓN DEL GERMOPLASMA COMERCIAL AL PATÓGENO<sup>1</sup>**

*Néstor Felipe Chaves-Barrantes<sup>2</sup>, Carlos Manuel Araya-Fernández<sup>3</sup>*

### **RESUMEN**

**Pérdidas causadas por el amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi*) y reacción del germoplasma comercial al patógeno.** La determinación de pérdidas causadas por amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) en campo se llevó a cabo entre 2007 y 2008, en las regiones Brunca y Huetar Norte de Costa Rica, y la prueba de reacción de variedades se realizó en 2009 en la región Brunca. Para determinar pérdidas se establecieron 83 microparcels de 3 m a lo largo de la hilera del cultivo, en campos reproductores de semilla de la variedad Cabécar, donde se evaluó la incidencia de la enfermedad durante tres etapas fenológicas (V3 o V4, R6 y R8). Se cuantificaron los principales indicadores de rendimiento para cada microparcela y, mediante un análisis de regresión y correlación, se estimaron las pérdidas causadas por el amachamiento. Para determinar la reacción de cultivares a la enfermedad, se expuso bajo presión de inóculo natural, diez plantas de cada variedad (Bribri, Chánguena, Cabécar, Gibre, Chirripó, Guaymí y Brunca), y se comparó su producción de vainas con respecto a la misma cantidad de plantas sanas, por medio de una prueba de t para muestras independientes. Las pérdidas determinadas en condiciones de campo fueron del 71 al 80% en el número de vainas y del 70 al 85 % en rendimiento. La reducción en el número de semillas por vaina (0-16%) y en el peso de 100 semillas (0-19%) fueron bajos. Ninguna de las variedades comerciales de frijol presentó resistencia al amachamiento, ya que se obtuvieron pérdidas superiores al 91% en el número de vainas en los cultivares evaluados, excepto Gibre (82%).

**Palabras claves:** *Aphelenchoides besseyi*, *Phaseolus vulgaris* L., nematodo foliar, falsa mancha angular.

### **ABSTRACT**

**Yield losses caused by bean amachamiento and reaction of commercial germoplasm to disease.** Yield losses caused by common bean “amachamiento” (*Aphelenchoides besseyi*) was determined in field plots from 2007 through 2008 in the Brunca and Huetar Norte production regions of Costa Rica, as well as the reaction of commercial varieties to the pathogen during 2009 in the Brunca region. In common bean seed reproduction fields of the cultivar Cabecar, 83 micro-plots (3 m long on rows) were established to evaluate yield losses, during the V3 or V4, R6 and R8 phenological stages. Yield components were quantified in each micro-plot and by regression and correlation statistical analysis yield losses were estimated. The bean cultivar reaction to the disease was evaluated by natural inoculum pressure in ten plants of Bribri, Chánguena, Cabécar, Gibre, Chirripó, Guaymí and Brunca varieties; pod production was compared to non-inoculated plants. T-tests for independent samples was applied to this plant population. Yield losses in the field reached 71 to 80% in pod production and 70 to 85% in yield. Seeds per pod (0-16%) and 100-seed weight (0-19%) were non-significant. None of the bean commercial varieties showed resistance to the disease.

**Key words:** *Aphelenchoides besseyi*, *Phaseolus vulgaris* L., foliar nematode, false angular leaf spot.

<sup>1</sup> Recibido: 9 de agosto, 2011. Aceptado: 12 de marzo, 2012. Parte de la tesis del primer autor para obtener el título y grado de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos, Universidad de Costa Rica.

<sup>2</sup> Programa de Leguminosas, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Apdo. postal 183-4050 Alajuela, Costa Rica. nfchaves@gmail.com.

<sup>3</sup> Laboratorio de Fitopatología, Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Apdo. postal 86-3000 Heredia, Costa Rica. caraya@una.ac.cr

## INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un componente básico en la dieta de los costarricenses, donde es consumido por el 96,7% de la población (Rodríguez y Dumani 2000, Dumani 2001, Dumani 2003, Rodríguez 2004). Además, es un cultivo de importancia económica en las regiones Brunca y Huetar Norte (Salazar 1999, INTA 2008).

Este cultivo es atacado por varias enfermedades que limitan su producción y reducen significativamente los rendimientos, entre ellas sobresalen la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* Sacc. et Mang., Scrib.), la mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris* Franc, Donk), la mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* Sacc., Ferraris) y, recientemente, el amachamiento (Morales *et al.* 1999a y 1999b). Esta última enfermedad fue descrita inicialmente como de origen viral por Morales *et al.* (1999a y 1999b); sin embargo, descubrimientos recientes indican que el nematodo *Aphelenchoides besseyi* Christie es el agente causal de la misma (Chaves 2011).

*A. besseyi* ocasiona dos tipos de síntomas que hasta hace poco se consideraron como enfermedades distintas (Barrantes 2006, Araya y Hernández 2006). En ausencia de hospedantes, *A. besseyi* sobrevive en residuos del cultivo anterior (maíz) en forma anhidrobiótica (Saeed y Roessner 1984), por la presencia de lluvia y salpique el nematodo logra alcanzar las hojas inferiores de la planta (Araya 2008), donde ocasiona lesiones necróticas conocidas como falsa mancha angular (Salas y Vargas 1984). Luego migra a las partes superiores de la planta a través de la película de agua que se forma sobre los tejidos (Adamo *et al.* 1976) y se aloja en las yemas, donde daña los primordios foliares, dando paso a la deformación de la lámina foliar (Christie 1982), otro síntoma del amachamiento (Hernández *et al.* 1999, Morales *et al.* 1999a y 1999b, Araya y Hernández 2006). Además, la enfermedad reduce notablemente la emisión de vainas y el rendimiento (Hernández *et al.* 1999, Morales *et al.* 1999a y 1999b, Araya y Hernández 2006).

Otros cultivos de importancia económica donde *A. besseyi* ocasiona serios problemas son el arroz y la fresa (Christie 1982, Escuer y Bello 2000, Barrantes 2006). El primero de ellos, se considera el hospedante más importante del nematodo, donde causa la enfermedad conocida como punta blanca (Fortuner y Orton

1975, Prot 1992, Escuer y Bello 2000). En este cultivo causa cuantiosas pérdidas, que varían entre 17 y 70% de acuerdo con las variedades comerciales empleadas (Prot 1992, Escuer y Bello 2000). En fresa, *A. besseyi* puede ocasionar pérdidas de hasta 75% en lotes individuales; sin embargo, en la actualidad carece de importancia económica en este cultivo. Las razones de la mejoría se desconocen, pero un factor que ha influido es el estricto control fitosanitario en la producción de almácigos (Christie 1982).

En frijol, para el caso del síntoma de falsa mancha angular se indican pérdidas en rendimiento que alcanzan hasta el 50% y no se cuenta con variedades resistentes (Barrantes 2006, Barrantes *et al.* 2006, Barrantes y Araya 2008, Proyecto Red Sicta 2008). A su vez, el amachamiento reduce significativamente la producción de vainas, causando pérdidas de productividad entre 24 y 50% en variedades mejoradas e incluso superiores al 70% en variedades como Talamanca y Sacapobres, de acuerdo con evaluaciones preliminares llevadas a cabo en invernadero (Morales *et al.* 1999a y 1999b).

Por la importancia que reviste el cultivo de frijol en América Central y el potencial de la enfermedad para reducir el rendimiento en plantaciones comerciales, el objetivo de este estudio fue estimar el efecto del amachamiento sobre los componentes de rendimiento del frijol y las pérdidas causadas por esta enfermedad en condiciones de campo; así como evaluar la reacción al patógeno de las variedades comerciales de frijol que se emplean en Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación de las pérdidas causadas por el amachamiento en campo

La determinación de las pérdidas se llevó a cabo de mayo del 2007 a mayo del 2008 en las regiones Brunca y Huetar Norte, las de mayor producción de frijol de Costa Rica. El estudio se realizó en áreas para la producción comercial de semilla certificada de la variedad Cabécar – cultivar rojo de mayor uso comercial en el país – con el fin de reducir la interferencia de otras enfermedades. Para ello se estableció un total de 83 microparcels, 66 en la región Brunca y 17 en la Huetar Norte. Cada microparcels fue un segmento de 3 m a lo largo de una hilera en la plantación, establecida

sistemáticamente en el terreno. La metodología para el establecimiento de las microparcels varió según la región agrícola.

En la región Brunca se establecieron las microparcels con base en una modificación de la metodología propuesta por Araya y Hernández (2007a) para evaluar los niveles de enfermedad en áreas de producción de semilla. De un punto fijado al azar en el borde de la plantación, se caminaron 15 pasos sobre una hilera y luego 15 perpendicularmente, donde se marcó la primera microparcels. A partir de este punto, para marcar la segunda microparcels se caminaron 15 pasos sobre esa hilera y luego 15 perpendicularmente, y así sucesivamente para las restantes. Con ello se logró establecer una mayor cantidad de microparcels por lote de reproducción de semilla, adaptar la metodología a las condiciones de cada lote y lograr mayor representatividad. Se establecieron en total 66 microparcels, en ocho lotes de reproducción de semilla durante dos ciclos siembra (de mayo a agosto, 2007-A y de setiembre a diciembre, 2007-B), en las comunidades de Veracruz (N 09°05'; O 83°32'; 657 msnm) y El Águila (N 09°07'; W 83°31', 491 msnm) de Pérez Zeledón, Concepción (N 09°05'; W 83°29'; 706 msnm) y Pueblo Nuevo (N 09°07'; O 83°28'; 823 msnm) de Buenos Aires.

En la región Huetar Norte, por cultivarse frijol en terrenos relativamente planos y de gran extensión (de hasta 20 ha), las microparcels se establecieron sistemáticamente, de manera que fueran representativas del área cultivada. Dado que los lotes tenían forma rectangular, se dividieron en tercios y se establecieron las microparcels equidistantes, aproximadamente una por hectárea. En enero del 2008, se establecieron 17 microparcels en dos áreas de reproducción de semilla: siete en El Pavón (N 10°50'; O 84°38'; 67 msnm) y diez en Caño Negro (N 10°55'; O 84°45'; 62 msnm), comunidades ubicadas en el cantón de Los Chiles, Alajuela.

En las dos regiones agrícolas, las microparcels se establecieron 14 días después de la siembra y se evaluó la incidencia del amachamiento cada dos semanas, en las etapas de desarrollo vegetativo (V3 o V4), floración (R6) y llenado de vainas (R8). Se evaluó la incidencia debido a que la infección por parte del nematodo se asemeja a una alteración de tipo sistémica. Luego, cada microparcels se cosechó por separado y

las plantas fueron llevadas a la Estación Experimental Fabio Baudrit (Universidad de Costa Rica) en Alajuela (N 10° 01'; O 84°16'; 840 msnm), donde se cuantificaron los componentes de rendimiento para el cultivo: vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas y rendimiento por planta. Los datos de peso se tomaron cuando el contenido de humedad de las semillas llegó de 13 a 14%.

Las pérdidas causadas por el amachamiento y el efecto de la enfermedad en los distintos componentes de rendimiento, se determinaron mediante el análisis de regresión y correlación (Microsoft Excel y Statística 6.0 StatSoft, Inc. 1984-2001) aplicado a los datos obtenidos. Con estos análisis se obtuvo la significancia de la relación entre ambas variables y la ecuación de la curva de mejor ajuste que la describe.

#### **Nivel de resistencia de las variedades comerciales de frijol al amachamiento**

La determinación del nivel de resistencia de las variedades comerciales de frijol al amachamiento, se llevó a cabo de junio a agosto del 2009, en una casa de mallas, ubicada en Veracruz de Pérez Zeledón. Para realizar el trabajo se emplearon cinco variedades de grano rojo: Cabécar, Bribri, Gibre, Chirripó y Chánguena, y dos de grano negro: Brunca y Guaymí, que son las variedades de mayor uso comercial en la actualidad (Salazar 2004, Hernández y Araya 2008).

Se sembraron dos semillas de cada variedad por vaso plástico de 200 ml y 30 vasos por variedad, de los cuales 15 se colocaron entre las hileras de una siembra comercial y cerca de plantas infectadas (Figura 1A), con el objetivo de exponer las plántulas a la inoculación natural. Los otros 15 vasos se mantuvieron dentro de una casa de mallas para proteger las plántulas de la infección. Al cabo de dos semanas, diez plantas con síntomas de la enfermedad y diez sanas se transplantaron a potes dentro de una casa de mallas, para que continuaran su ciclo de vida (Figura 1B).

Al momento de la cosecha se evaluó el número de vainas por planta, obteniéndose un promedio para las plantas sanas y enfermas de cada variedad. A los datos se les aplicó la prueba de t para muestras independientes con el paquete Statística 6.0 (StatSoft, Inc. 1984-2001), para determinar diferencias significativas de medias ( $p \leq 0,05$ ) entre los dos grupos.



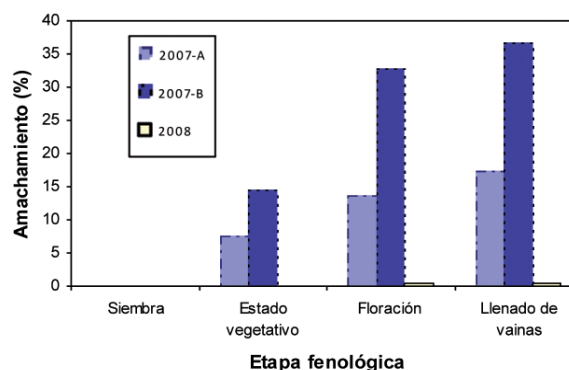
**Figura 1.** Exposición de las plantas de frijol al inóculo natural del amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) (A) y posterior ubicación de las plantas enfermas y sanas en potes dentro de una casa de mallas (B). Veracruz, Pérez Zeledón, Costa Rica. 2009.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación de pérdidas ocasionadas por el amachamiento en frijol inició con la evaluación de la incidencia de la enfermedad durante las etapas de desarrollo vegetativo (V3 o V4), floración (R6) y llenado de vainas (R8), lo que permitió observar el desarrollo de los síntomas durante el ciclo de cultivo.

Los primeros síntomas del amachamiento en campo, se observaron en las plantas con un par de hojas trifoliadas completamente expandidas (V3 o V4) y la incidencia de la enfermedad se incrementó durante el ciclo de cultivo (Figura 2). Como *A. besseyi* completa su ciclo de vida en ocho o diez días (Escuer y Bello 2000), al aumentar la población de nematodos conforme avanza el desarrollo del cultivo, aumenta la severidad de los síntomas y la incidencia de la enfermedad.

Durante la primera evaluación se observaron plantas tanto con síntomas avanzados como iniciales de la enfermedad, en el primer caso se presentaban lesiones necróticas y deformación foliar severa (Figura 3), mientras que en el segundo, lesiones necróticas y deformación leve. En la etapa de floración (R6), los síntomas de la enfermedad se acentuaron, se produjeron plantas con pocas flores, coloración verde oscuro, guía larga, hojas coriáceas y deformación de la vena central y lámina foliar (Figura 3). Al llegar a esta etapa del cultivo, el nematodo daña los primordios florales y, como en arroz, provoca altos porcentajes de aborto

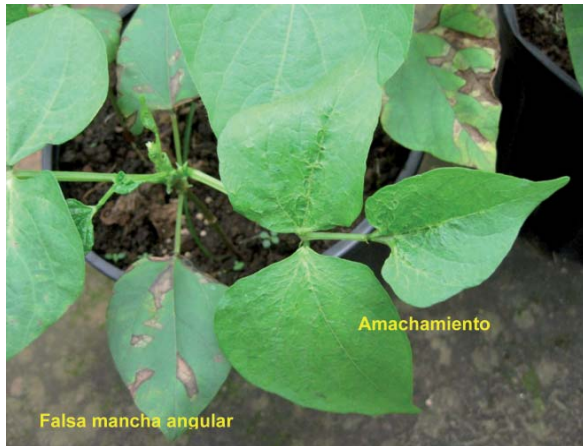


**Figura 2.** Incidencia promedio del amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) en tres etapas fenológicas del cultivo de frijol. Región Brunca, 2007-A (may - ago) y 2007-B (set - dic), y en la Región Huetar Norte, en el año 2008. Costa Rica, 2009.

floral (Prot 1992, Hoshino y Togashi 2000), lo que reduce drásticamente el número de vainas.

Debido a lo anterior, en la etapa de llenado de vainas (R8) los síntomas observados fueron similares a los encontrados en la etapa de floración, pero más severos, con mayor número de hojas deformadas y con notable ausencia de vainas. Durante la etapa de madurez fisiológica (R9), las plantas infectadas presentaban muy pocas o ninguna vaina, y permanecieron con un color verde oscuro que las diferenciaba del resto de la población, con follaje amarillento. Las plantas





**Figura 3.** Lesiones necróticas conocidas como falsa mancha angular (*Aphelenchoides besseyi*) y deformación foliar característica del amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) en plantas de frijol. Alajuela, Costa Rica. 2009.

retrasaron su senescencia como un posible efecto de una disminución en el traslado de sales minerales, azúcares y aminoácidos de los órganos vegetativos a los reproductivos (Salisbury y Ross 1994). Una situación similar fue observada en plantas de soya al eliminar las flores (Salisbury y Ross 1994).

A pesar de que la enfermedad se evaluó en tres etapas fenológicas, la mayor correlación entre incidencia y pérdidas ocasionadas se presentó consistentemente en la etapa de floración, tanto en el primero como el segundo ciclo de siembra, en la región Brunca (Cuadro 1). Por esta razón, el análisis del efecto del amachamiento en los componentes de rendimiento se hizo con base en los datos obtenidos en la etapa de floración. A pesar de que la incidencia de la enfermedad aumentó durante la etapa de llenado de vainas (Figura 2), la producción del cultivo no se redujo con el incremento de dicho indicador, ya que *A. besseyi* no ataca las vainas (Proyecto Red Sicta 2008). Debido a ello, la correlación entre incidencia de amachamiento y pérdidas ocasionadas es menor cuando se evalúa durante las etapas fenológicas posteriores a la floración.

Durante el primer y segundo ciclo de siembra en la región Brunca hubo una alta correlación (R) entre la incidencia de la enfermedad y las pérdidas en rendimiento, causadas por ésta (Cuadros 2 y 3), que estableció una relación de tipo exponencial negativa. El rendimiento y el número de vainas por planta fueron los componentes más afectados, no así el número de semillas por vaina ni el peso de 100 semillas, para los cuales la correlación no fue consistente en ambos ciclos de siembra y las pérdidas no fueron elevadas (Cuadros 2 y 3). Como se explicó anteriormente, *A.*

**Cuadro 1.** Coeficientes de correlación (R) y su respectiva significancia, determinados en cada etapa fenológica para los componentes de rendimiento del frijol en condiciones de campo y bajo presión de inóculo natural de la enfermedad. Región Brunca, Costa Rica. 2007.

Ciclo*	Componente	Etapa fenológica**					
		V3 o V4	p	R6	p	R8	p
2007-A	Rendimiento (g/planta)	0,69	0,000000	0,71	0,000000	0,68	0,000000
	Vainas / planta	0,65	0,000002	0,68	0,000000	0,66	0,000001
	Semillas / vaina	0,40	0,006545	0,41	0,005869	0,37	0,012655
	Peso / 100 semillas	0,53	0,000238	0,53	0,000237	0,49	0,000775
2007-B	Rendimiento (g/planta)	0,73	0,000121	0,82	0,000003	0,67	0,000733
	Vainas / planta	0,80	0,000009	0,85	0,000000	0,71	0,000220
	Semillas / vaina	0,10	0,668213	0,11	0,637461	0,15	0,499469
	Peso / 100 semillas	0,19	0,388577	0,08	0,724511	0,07	0,758786

\* 2007-A= de mayo a agosto, 2007-B = de setiembre a diciembre.

\*\* V3 o V4: desarrollo vegetativo, R6: floración, R8: llenado de vainas.

**Cuadro 2.** Pérdidas estimadas y correlación entre el amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y los componentes de rendimiento del frijol. Región Brunca, Costa Rica. 2007-A\*.

Variable	R <sup>2</sup>	R	Ecuación	Relación	Amachamiento		Pérdida (%)
					0 %	100 %	
Rendimiento (g/planta)	0,51	<b>0,71</b>	$y = 16,334 e^{-0,0191x}$	Exponencial	16,33	2,42	<b>85,18</b>
Vainas / planta	0,46	<b>0,68</b>	$y = 13,357 e^{-0,0160x}$	Exponencial	13,36	2,70	<b>79,79</b>
Semillas / vaina	0,17	<b>0,41</b>	$y = -0,0084x + 5,1646$	Lineal	5,17	4,33	<b>16,25</b>
Peso de 100 semillas	0,28	<b>0,53</b>	$y = 25,445 e^{-0,0021x}$	Exponencial	25,45	20,63	<b>18,94</b>

\* Mayo - agosto.

**Cuadro 3.** Pérdidas estimadas y correlación entre el amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y los componentes de rendimiento del frijol. Región Brunca, Costa Rica. 2007-B\*.

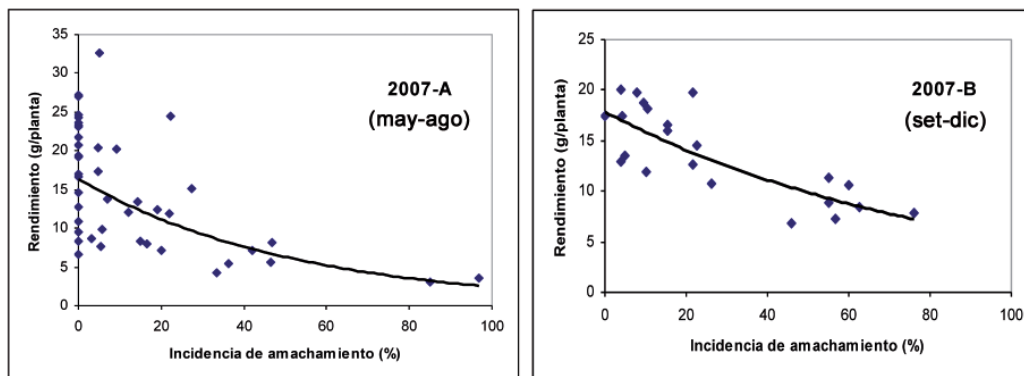
Variable	R <sup>2</sup>	R	Ecuación	Relación	Amachamiento		Pérdida (%)
					0 %	100 %	
Rendimiento (g/planta)	0,67	<b>0,82</b>	$y = 17,839 e^{-0,0119x}$	Exponencial	17,84	5,43	<b>69,56</b>
Vainas / planta	0,73	<b>0,85</b>	$y = 15,530 e^{-0,0125x}$	Exponencial	15,53	4,45	<b>71,35</b>
Semillas / vaina	0,01	<b>0,11</b>	$y = 5,3781 e^{0,0001x}$	Exponencial	5,38	5,43	-
Peso de 100 semillas	0,01	<b>0,08</b>	$y = 25,970 e^{0,0002x}$	Exponencial	25,97	26,50	-

\* Setiembre - diciembre.

*besseyi* causa altos porcentajes de aborto floral (Prot 1992, Hoshino y Togashi 2000), lo que incide directamente en una escasa producción de vainas y por ende una baja significativa en el rendimiento. Por otro lado, como el nematodo no afecta las vainas (Proyecto Red Sicta 2008), las que se desarrollan en plantas enfer-

mas lo hacen de forma normal, razón por la cual los componentes de número de semillas por vaina y peso de 100 semillas fueron poco afectados (Cuadro 2 y 3).

Para el componente de rendimiento se estimaron pérdidas máximas que alcanzaron 85,2% durante el primer ciclo de siembra (Cuadro 2) y 69,6% en el

**Figura 4.** Relación entre la incidencia de amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y las pérdidas en rendimiento en frijol en dos ciclos de siembra. Región Brunca, Costa Rica. 2007.

segundo (Cuadro 3). En la Figura 4 se observa la disminución en rendimiento conforme aumentó la incidencia de la enfermedad, así como la relación negativa entre ambas variables.

Las pérdidas estimadas debidas al amachamiento durante el primer ciclo de siembra (85,2%), fueron superiores a las del segundo ciclo de siembra (69,6%). Es posible que esta diferencia se debiera a condiciones ambientales más favorables al nematodo durante la primera época de siembra del año, ya que durante la segunda hubo períodos secos prolongados, poco comunes para esos meses (octubre-noviembre) del año. En general, las pérdidas estimadas fueron superiores a lo indicado por Morales *et al.* (1999a y 1999b) para el caso de variedades mejoradas (de 24 a 50%), pero coincidentes con lo obtenido en pruebas preliminares en condiciones de invernadero para las variedades Talamanca y Sacapobres, donde se determinaron pérdidas superiores al 70%.

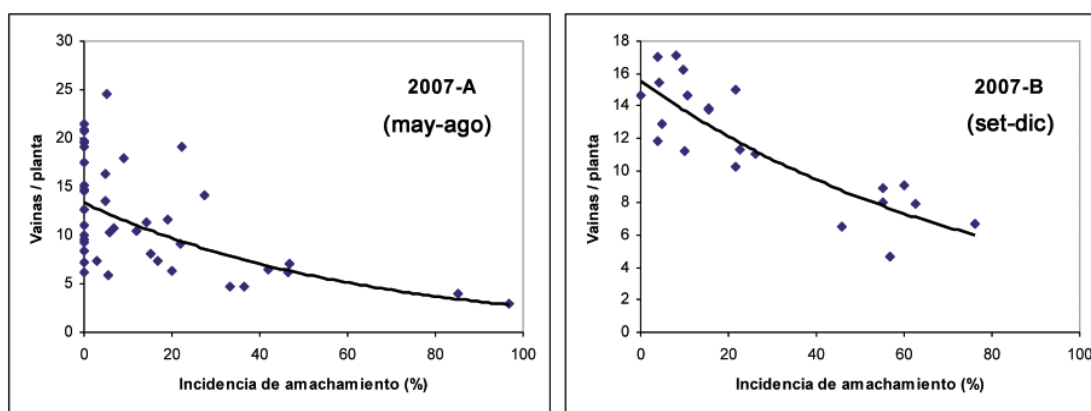
En cuanto al número de vainas por planta, se estimaron pérdidas máximas que alcanzaron 79,8% durante el primer ciclo de siembra y 71,4% en el segundo (Cuadros 2 y 3); conforme aumentó la incidencia de la enfermedad se redujo el número de vainas por planta (Figura 5). Este comportamiento se reflejó en lo sucedido con el componente de rendimiento por planta, donde las pérdidas estimadas para la primera época de siembra fueron superiores a las de la segunda (Cuadros 2 y 3).

La reducción en el número de vainas por planta debida al amachamiento (71,4 - 79,8%) fue coincidente

con lo expresado por Morales *et al.* (1999b), quienes indican que es uno de los componentes más afectados por el amachamiento. Esto es debido a que el nematodo daña los primordios florales y causa altos porcentajes de aborto floral (Prot 1992, Hoshino y Togashi 2000). Individualmente, plantas con síntomas severos de amachamiento no producen vainas o tienen muy pocas.

Es importante resaltar que las pérdidas en rendimiento y número de vainas por planta ocasionadas por el amachamiento dependen del momento en que la planta es infectada por el nematodo. Durante las evaluaciones de campo se observó cómo las plantas que se enfermaron tempranamente (antes de floración) fueron las más afectadas, mientras que las que manifestaron síntomas tardíamente, durante la etapa de llenado (R8), no fueron afectadas en el número de vainas, ya que, como se explicó anteriormente, *A. besseyi* no ataca ese órgano (Proyecto Red Sicta 2008).

En lo que respecta al número de semillas por vaina y peso de 100 semillas, se obtuvieron correlaciones relativamente bajas en el primer ciclo de siembra (Cuadro 2) y muy bajas para el período 2007-B (Cuadro 3). Las pérdidas máximas estimadas fueron de 16,3% para el número de semillas por vaina y de 18,9% para el peso de 100 semillas, durante el período 2007-A (Cuadro 2). Durante el segundo ciclo de siembra, no se obtuvieron pérdidas para esas variables en la región Brunca (Cuadro 3) y los valores estimados para 0 y 100% de incidencia de amachamiento fueron similares. Además, el peso estimado de 100 semillas en el nivel máximo de la enfermedad estuvo dentro



**Figura 5.** Relación entre la incidencia de amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y la reducción en el número de vainas por planta de frijol. Región Brunca, Costa Rica. 2007.

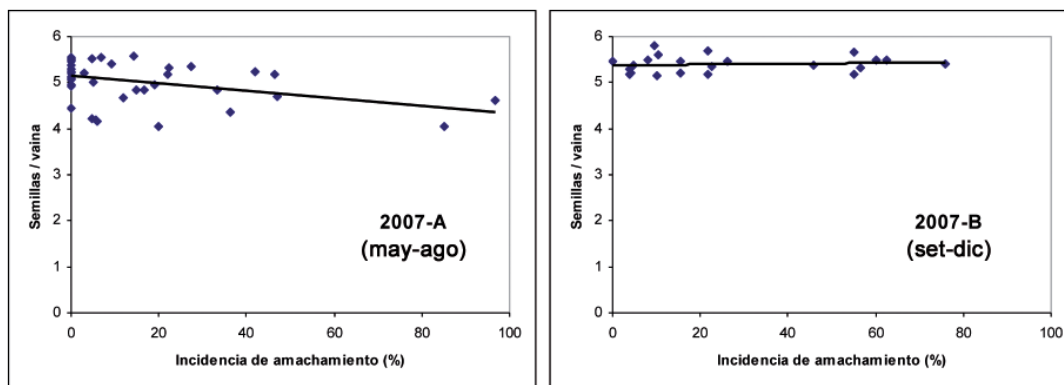
de lo esperado para la variedad Cabécar (24-25 g para 100 semillas) en condiciones de alta sanidad, como lo indican tanto Rosas *et al.* (2004) como Araya y Hernández (2007b).

El avance de la incidencia en campo y cómo repercutió en el número de semillas por vaina y su peso se presenta en las Figuras 6 y 7. En el 2007-A se presentó una relación lineal negativa para el número de semillas por vaina y exponencial negativa para el peso de 100 semillas, mientras que en el 2007-B no hubo relación entre los componentes de rendimiento evaluados con respecto al incremento en la incidencia del amachamiento.

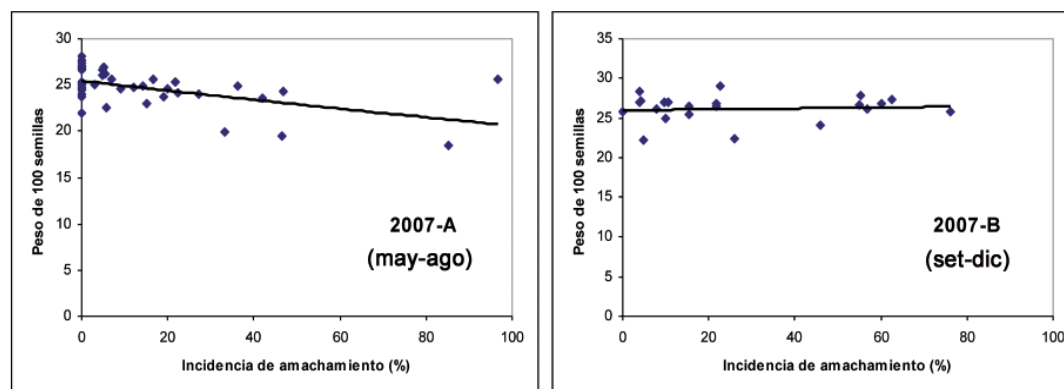
A pesar de que no hay una tendencia estadística entre el amachamiento y el peso de las semillas (Cuadros 2 y 3, Figura 7), en plantas con alrededor del

80% de las hojas trifoliadas afectadas y con una o muy pocas vainas, es común encontrar un número normal de semillas por vaina, usualmente de mayor tamaño que las provenientes de plantas sanas (Figura 8). Esto se debe a la competencia que existe entre sumideros por nutrimentos (Salisbury y Ross 1994, Taiz y Zeiger 2006), por lo que en este caso, la producción de fotoasimilados se destina sólo a unos pocos sumideros, lo que resulta en semillas de mayor tamaño.

En la región Huetar Norte (2008) solo se presentaron unos pocos casos de amachamiento a partir de la floración (Figura 2), lo que impidió cuantificar las pérdidas debidas a la enfermedad. La ausencia de la enfermedad se pudo deber a la fuerte sequía que se presentó durante el ciclo de cultivo en la zona de Los Chiles, condición que no favoreció la infección de *A.*

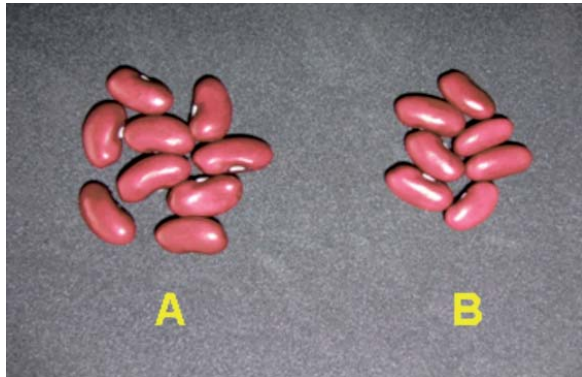


**Figura 6.** Relación entre la incidencia de amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y el número de semillas por vaina en frijol. Región Brunca, Costa Rica. 2007-A y 2007B.



**Figura 7.** Relación entre la incidencia de amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) y el peso de 100 semillas en frijol. Región Brunca, Costa Rica. 2007-A y 2007-B.





**Figura 8.** Semillas de frijol de la variedad Cabécar provenientes de una planta con amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) (A) y de una planta normal (B). Alajuela, Costa Rica. 2009.

*besseyi*. Este nematodo necesita de precipitaciones constantes y humedad relativa superior al 70% para iniciar su infección y migrar a las partes superiores de la planta, donde ocasiona la deformación de la lámina foliar y aborto floral (Adamo *et al.* 1976, Prot 1992, Araya 2008).

Otro factor que influyó en la región Huetar Norte fue que en la preparación de los terrenos para la siembra, se incorporó la mayor parte del rastrojo del cultivo anterior (maíz o arroz, en este caso), lo que redujo drásticamente las poblaciones de *A. besseyi* sobre la superficie del suelo, en concordancia con lo encontrado por Brmež *et al.* (2006), quienes indican que las poblaciones del género *Aphelenchoides* decrecen significativamente después de arar el suelo. Sin embargo, en los cantones de Upala y La Cruz, donde la producción está en manos de pequeños productores, y donde muchos utilizan el sistema de siembra con espeque en mínima labranza, es probable que las pérdidas por amachamiento sean similares a las estimadas para la región Brunca.

En general, las pérdidas determinadas para el amachamiento fueron concordantes con las encontradas por otros autores (Morales *et al.* 1999a y 1999b) y con lo observado en condiciones de campo, donde el nematodo causó una evidente reducción del

número de vainas (71-80%) y por consiguiente del rendimiento del cultivo (70-85%). Estos resultados concuerdan con lo obtenido en cultivos como arroz (hasta 70%) y fresa (hasta 75%) (Christie 1982, Prot 1992, Escuer y Bello 2000), y con las reducciones en rendimiento provocadas por otros nematodos en frijol, de 54 a 100% por *Meloidogyne* spp. y de 10 al 80% por *Pratylenchus* spp (APS 1991).

En cuanto a la reacción de las actuales variedades comerciales, se observó que cada una de ellas expresó claramente los síntomas de la enfermedad y presentaron un desarrollo deficiente con respecto a los testigos de cada variedad (Figura 9).

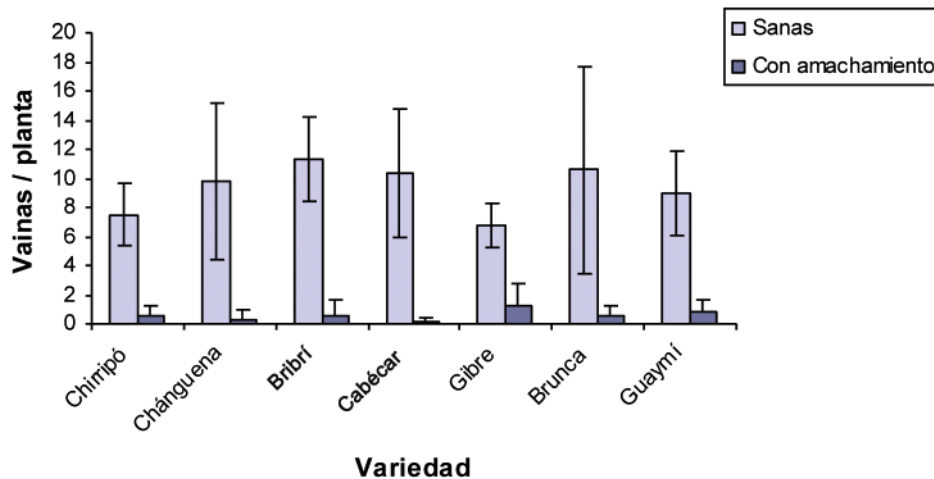
Al finalizar el ciclo de cultivo, ninguna de las variedades comerciales de frijol presentó resistencia al amachamiento. Lo anterior fue evidente al comparar el número de vainas entre plantas enfermas y sanas, donde las primeras tienen una producción significativamente menor (Figura 10), con reducciones mayores al 91% en todas las variedades estudiadas, excepto Gibre, que tuvo una merma del 82% en la producción de vainas con respecto a las plantas sanas. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Barrantes (2006) y Barrantes y Araya (2008), quienes no encontraron resistencia a *A. besseyi* al evaluar las variedades Bribri y Chirripó.

Debido a que el amachamiento ha avanzado desde la región Brunca hasta la Huetar Norte, y a que probablemente afecte plantaciones en el sur de Nicaragua, desde donde puede extenderse al resto de Centroamérica, se considera urgente la búsqueda de opciones de manejo integrado del problema. Ante esta grave situación se sugiere implementar prácticas de cultivo tendientes a la detección y manejo de las poblaciones de *A. besseyi*, el combate de hospedantes alternos, la rotación con cultivos no susceptibles y la búsqueda de genotipos resistentes.

Se debe prestar especial atención al hecho de que la enfermedad causa mayores problemas en los sistemas de cultivo que emplean los pequeños productores, que son la mayoría en Costa Rica y América Central, lo que podría convertir al amachamiento en una de las grandes limitantes de la producción de frijol en toda la región.



**Figura 9.** Comparación del desarrollo alcanzado por los testigos con respecto a las plantas infectadas por amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*), así como de la expresión de los síntomas presentes en las plantas enfermas de algunas de las variedades de frijol evaluadas. A y B: Cabécar, C y D: variedad Chánguena, E y F: Bibrí. Veracruz, Pérez Zeledón, Costa Rica. 2009.



**Figura 10.** Producción de vainas en plantas sanas y con amachamiento (*Aphelenchoides besseyi*) de las principales variedades comerciales de frijol empleadas en Costa Rica. Veracruz, Pérez Zeldón, Costa Rica. 2009.

## LITERATURA CITADA

- Adamo, J; Madamba, C; Chen, T. 1976. Vertical migration of the rice white-tip nematode, *Aphelenchoides besseyi*. *Journal of Nematology* 8:146-152.
- APS (American Phytopathological Society, USA). 1991. Compendium of bean diseases. R. Hall ed. St. Paul, Minnesota, USA. APS Press. 73 p.
- Araya, C; Hernández, J. 2006. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 44 p.
- Araya, R; Hernández, J. 2007a. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Alajuela, Costa Rica. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. 42 p.
- Araya, R; Hernández, J. 2007b. Variedades de frijol de grano rojo, obtenidas por Fitomejoramiento Participativo en Costa Rica 2000-2007. Alajuela, Costa Rica. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno y Fondo de Desarrollo Noruego (FDN). 20 p.
- Araya, C. 2008. Enfermedades y su combate. In J. Hernández, L. Ramírez. eds. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol. San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). p. 63-72.
- Barrantes, W. 2006. Epidemiología de la falsa mancha angular (*Aphelenchoides* spp.) en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis presentada para obtener el grado de Magister Scientiae en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos. San Pedro, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 123 p.
- Barrantes, W; Araya, C; Esquivel, A. 2006. Falsa mancha angular del frijol: una enfermedad que avanza en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 78:91-93.
- Barrantes, W; Araya, C. 2008. Reacción de variedades de frijol a la inoculación artificial de *Aphelenchoides besseyi*, agente causal de la falsa mancha angular. *Agronomía Mesoamericana* 19:19-26.
- Brmež, M; Ivezic, E; Raspudic, E. 2006. Effect of mechanical disturbances on nematode communities in arable land. *Helminthologia* 43:117-121.
- Chaves, N. 2011. Epidemiología del amachamiento y cuantificación de las pérdidas que ocasiona en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis presentada para obtener el grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en protección de cultivos. San Pedro, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 167 p.
- Christie, J. 1982. Nematodos de los vegetales: su ecología y control. México. Editorial Limusa. 276 p.



- Dumani, M. 2001. Producción nacional de frijoles: su significado para la salud y el estado nutricional de la población costarricense. *In* J. Hernández, R. Araya eds. V Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL. Alajuela, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. p. 13-16.
- Dumani, M. 2003. Evolución del consumo de frijoles en la población costarricense: posibles implicaciones en la salud y el estado nutricional. *In* R. Araya, C. Araya, J. Hernández eds. VII Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL. Santo Domingo, Costa Rica. p. 13-19.
- Escuer, M; Bello, A. 2000. Nematodos del género *Aphelenchoides* de interés fitopatológico y su distribución en España. *Bol. San. Veg. Plagas* 26:47-63.
- Fortuner, R; Orton, K. 1975. Review of the literature on *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942, the nematode causing "white tip" disease in rice. *Helminthological Abstracts – Series B, Plant Nematology* 44:1-40.
- Hernández, J; Morales, A; Acosta, M. 1999. Evaluación del combate químico de vaquitas (Coleoptera: Chrysomelinae) vector del virus del moteado clorótico del caupí (CCMV) en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la Región Brunca. *In* F. Bertsch, J. García, G. Rivera, F. Mojica, W. Badilla eds. Memoria del XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos naturales / V Congreso Nacional de Entomología / IV Congreso Nacional de Fitopatología / III Congreso Nacional de Suelos / I Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal: Manejo de cultivos: el reto es producir y competir. Vol. II. San José, Costa Rica. EUNED. p. 183.
- Hernández, J; Araya, R. 2008. Cultivo. *In* J. Hernández, L. Ramírez. eds. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol. San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). p. 18-26.
- Hoshino, S; Togashi, K. 2000. Effect of water-soaking and air-drying on survival of *Aphelenchoides besseyi* in *Oryza sativa* seeds. *Journal of Nematology* 32:303-308.
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, CR). 2008. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol. J. Hernández, L. Ramírez eds. San José, Costa Rica. INTA. 82 p.
- Morales, F; Araya, C; Hernández, J. 1999a. Etiología del amachamiento del frijol en Costa Rica. *In* III Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL. Alajuela, Costa Rica. Universidad Nacional. p. 41-42.
- Morales, F; Araya, C; Hernández, J; Arroyave, J; Cuervo, M; Velasco, A; Castaño, M. 1999b. Etiología del "amachamiento" del frijol común en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas* 52:42-48.
- Prot, J. 1992. Diseases caused by nematodes. White tip. *In* R. Webster and P. Gunnell eds. Compendium of rice diseases. St. Paul, Minnesota, USA. APS Press. p. 46-47.
- Proyecto Red Sicta. 2008. Guía para la identificación y manejo integrado de enfermedades del frijol en América Central. Managua, Nicaragua. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 32 p.
- Rodríguez, L; Dumani, M. 2000. Campaña educativa con respecto al consumo de frijoles. *In* R. Araya ed. IV Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL. Costa Rica. p. 35-41.
- Rodríguez, L. 2004. El proyecto "Campaña educativa para incrementar el consumo de frijoles". *Agronomía Mesoamericana* 15:245-261.
- Rosas, J; Beaver, J; Escoto, D; Pérez, C; Llano, A; Hernández, J; Araya, R. 2004. Registration of 'Amadeus 77' small red common bean. *Crop Science* 44:1867-1868.
- Saeed, M; Roessner, J. 1984. Anhydrobiosis in five species of plant associated nematodes. *Journal of Nematology* 16:119-124.
- Salas, L; Vargas, E. 1984. El nematodo foliar *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematodo: Aphelenchoididae) como causante de la falsa mancha angular del frijol en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 8:65-68.
- Salazar, J. 1999. Situación actual y perspectivas de la producción de frijol en Costa Rica. *In* PITTA-FRIJOL ed. III Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL. Alajuela, Costa Rica. Universidad Nacional. p. 11-18.
- Salazar, J. 2004. La actividad de frijol en Costa Rica durante el año 2004. *In* R. Araya, J. Hernández. eds. VIII Reunión Anual del Sector Frijolero de Costa Rica. Programa de Investigación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria - Frijol (PITTA-Frijol). Santa Clara, Costa Rica. p. 5-11.
- Salisbury, F; Ross, C. 1994. Fisiología vegetal. México. Grupo Editorial Iberoamérica. 759 p.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 4th edition. Sunderland, Massachusetts, USA. Sinauer Associates Inc. 764 p.