

ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA DEL PARASITOIDE DE LA BROCA *Prorops nasuta* (HYMENOPTERA: BETHYLIDAE) EN CONDICIONES DE CAMPO Y SU TOLERANCIA A INSECTICIDAS

Paulo Armando Rivera E.¹

Pablo Benavides M.²

Esther Cecilia Montoya R.³

Tito Bacca I.⁴

RESUMEN

El parasitoide *Prorops nasuta* se ha reportado establecido en Colombia recientemente. Con el propósito de conocer aspectos de su biología, se realizó este experimento en tres fincas cafeteras en diferentes altitudes con condiciones climáticas variables. Se llevaron a cabo tres actividades: (1) evaluación del comportamiento de la infestación por broca y el número de estados de la avispa a diferentes unidades térmicas acumuladas, (2) la longevidad del adulto de *P. nasuta* en condiciones de campo y (3) se determinó la tolerancia del parasitoide a los insecticidas clorpirifos y endosulfan en condiciones de laboratorio. Los resultados de la primera actividad permitieron concluir que la disminución de los estados de la broca puede ser atribuible al efecto depredador y parasítico del parasitoide dentro de los frutos, que la cantidad de estados del parasitoide producidos en su primera progenie dependen de la cantidad de broca presente en los frutos infestados, y que la reproducción de ambas especies pudo ser influenciada por la temperatura media del sitio de liberación. La segunda actividad permitió establecer que las hembras de *P. nasuta* pueden durar hasta 77 días en condiciones de campo. Finalmente, no se reporta a *P. nasuta* tolerando los productos químicos endosulfan y clorpirifos en las condiciones del estudio. Se recomienda el uso de este parasitoide en cualquier altitud dentro de un programa de manejo de la broca

¹ Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño, Pasto. E-mail: paulorives@gmail.com

² Investigador Científico II. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. E-mail: pablo.benavides@cafedecolombia.com

³ Investigador Científico III. Disciplina de Biometría. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. E-mail: estherc.montoya@cafedecolombia.com

⁴ Profesor Asociado, Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. E-mail: titobacca@udenar.edu.co

y se sugiere adelantar estudios sobre el potencial depredador, parasítico y de reproducción de los adultos hembra de *P. nasuta* en relación con su edad.

Palabras claves: Control biológico, parasitismo, longevidad, resistencia.

ABSTRACT

The parasitoid *Prorops nasuta* has recently been reported established. This research was carried out in order to evaluate some aspects of the biology of this parasitoid in three coffee farms in different altitudes with variable climate conditions. We conducted three activities: (1) Evaluation of the dynamics of the coffee berry borer infestation levels and the total number of parasitoid individuals at different cumulative thermal units, (2) longevity of *P. nasuta* adults in the field, and (3) tolerance of the parasitoid against the insecticides chlorpyrifos and endosulfan in laboratory conditions. The results of the first activity let us to conclude that the decrease of the coffee berry borer individuals may be due to the predatory and parasitic behavior of the parasitoid inside the coffee beans, that the total number of the parasitoid during the first generation depended on the number of total coffee berry borer individuals available inside the coffee beans, and that the reproduction of both species the coffee berry borer and *P. nasuta* could be influenced by the mean temperature of the release point. The second activity let to establish that *P. nasuta* females can last up to 77 days in field conditions. Finally, we do not report here any tolerance of *P. nasuta* to the chemical insecticides chlorpyrifos nor endosulfan in the conditions of this study. We recommend the use of this parasitoid in any altitude as part of an integrated program to control coffee berry borer. We suggest to advancing the predatory, parasitic and reproductive potential of *P. nasuta* adult females in relation to their age.

Key words: Biological control, parasitism, longevity, resistance.

INTRODUCCIÓN

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), es el insecto plaga más importante de este cultivo en todo el mundo, pues al atacar los frutos, causa enormes pérdidas tanto en la cantidad como en la calidad del producto (Cárdenas, 1991; Bustillo *et al.*, 1998; Bustillo, 2007). La broca es originaria de África ecuatorial y fue descrita en 1867 por el entomólogo austriaco J. A. Graft Ferrari (Bustillo, 1990; Bustillo *et al.*, 1998). En Colombia se registró por primera vez en 1988 en el municipio de Tumaco (Nariño) cerca a la frontera con Ecuador, desde donde se ha venido distribuyendo en más de 350 municipios de los departamentos de: Antioquia, Boyacá, Caldas, Caquetá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca, infestando en la actualidad cerca de 800.000 has. y constituyéndose en una de las principales limitantes de la producción de café en nuestro país (Bustillo, 1990; Bustillo *et al.*, 1998; Benavides, 2003).

Después de la aparición de la broca del café en Colombia, el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, desarrolló un programa de manejo integrado de la broca del café, enmarcado dentro del concepto de Manejo Integrado de Plagas. El desarrollo de esta estrategia de control en las condiciones ecológicas de Colombia hizo necesario contemplar el desarrollo del cultivo, la biología del insecto plaga, el conocimiento de sus enemigos naturales, las condiciones agroecológicas del cultivo y el tipo de agricultores. De acuerdo con lo anterior, el esquema del manejo integrado de la broca diseñado por Cenicafé, comprende el control manual, biológico y el uso racional de insecticidas de moderada toxicidad (Bustillo *et al.*, 1998; Benavides *et al.*, 2002; Bustillo, 2005; Bustillo, 2007).

Actualmente, el uso de enemigos naturales contra las plagas ha experimentado mayor aceptación debido, principalmente, a los problemas que conlleva el uso de agroquímicos y las fuertes presiones por parte de los consumidores, quienes escogen productos que no tengan efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente (Muñoz y Ulloa,

1999). La broca en su sitio de origen África, tiene numerosos enemigos naturales, siendo los más importantes los parasitoides himenópteros *Prorops nasuta* Waterston (Bethyridae), *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Bethyridae), *Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht (Braconidae) y *Phymastichus coffea* La Salle (Eulophidae) (Bustillo, 1990; Bustillo *et al.*, 1996).

Prorops nasuta, conocida como la avispa de Uganda, es una especie de parasitoide originario de África ecuatorial y fue descrito por Waterston en 1923. Este parasitoide fue introducido al Brasil en 1929, y a pesar de que su introducción fue considerada exitosa, el programa de control biológico con *P. nasuta* fue abandonado en la década del 40 con el surgimiento de los insecticidas clorados en el mercado, usados para el control de la broca. En 1978 se recuperó *P. nasuta* en el Brasil, en cafetales de la zona de Mata, Minas Gerais, observándose niveles de parasitismo entre el 27 y 33.2% (Cisneros y Tandazo, 1990; Bustillo *et al.*, 1998; Fanton *et al.*, 2002). Según Brun y Decazy (1992), la toxicidad del endosulfan (insecticida organoclorado) en la entomofauna parasitaria de la broca, bajo condiciones de laboratorio, es más baja para los parasitoides que para la broca; sin embargo, Guzmán (1996) y Mejía *et al.*, (2000) demostraron que la formulación de endosulfan no es selectiva a los parasitoides de la broca usando las dosis comerciales recomendadas para el control de este insecto.

En Colombia, las primeras liberaciones de *P. nasuta* y *C. stephanoderis* se realizaron entre 1990 y 1993 en la zona cafetera del suroccidente del departamento de Nariño (Quintero *et al.*, 1998). Se encontró, cinco años más tarde, que *P. nasuta* presentaba una mejor adaptación y distribución con relación a *C. stephanoderis*. A pesar de las pequeñas cantidades liberadas de *P. nasuta*, el parasitoide se recuperó, registrándose un parasitismo que osciló entre 1.5 y 3.8% en altitudes entre 1.380 y 1.750 msnm (Quintero *et al.*, 1998). Entre 1994 y 2000 se liberaron cerca de 500 millones de *P. nasuta* en cafetales colombianos, mostrando una gran capacidad de adaptación, siete años después, en las distintas zonas cafeteras donde se liberó. El parasitoide fue encontrado en el 65% de 80 fincas evaluadas en 17 municipios cafeteros localizados a diferentes altitudes entre 1200 y 1800 m.s.n.m causando parasitismos hasta del 50% (Maldonado y Benavides, 2007).

Bacca (1999), demostró que el parasitoide *P. nasuta* disminuye las poblaciones de broca en forma inmediata, ya que causa la muerte a todos los estados de broca, debido a su efecto depredador y parasítico. Además, concluyó que la diferencia altitudinal entre 1.160 msnm y 1620 msnm, con temperaturas anuales promedio de 23,6 y 19,7 °C respectivamente, no influyó en el efecto del parasitoide sobre las poblaciones de broca del café. Esta especie sin lugar a dudas se encuentra adaptada a las condiciones de Colombia y se convierte en el parasitoide más promisorio para ser utilizado como controlador natural de la broca del café (Maldonado y Benavides, 2007).

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el desarrollo de *P. nasuta* y la longevidad de los adultos en condiciones de campo en diferentes temperaturas en tres ecosistemas cafeteros. Igualmente se evaluó la tolerancia de este parasitoide a insecticidas usados en el manejo de la broca. Los resultados de esta investigación permitieron identificar las temperaturas a las cuales el parasitoide tuvo mejor adaptación y desarrollo, lo cual explica las razones por las cuales éste se ha adaptado a las condiciones agroecológicas de la caficultura colombiana. Esta información será considerada en esfuerzos futuros de establecimiento en condiciones de campo.

METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó en tres sitios (fincas), correspondientes a los Ecotopos Cafeteros 211A, 210A y 209A (CENICAFÉ, 2008), y en condiciones de laboratorio, entre septiembre de 2007 y septiembre de 2008. Las características de los sitios, en cuanto a las variables de clima, se presentan en la Tab. 1. En cada sitio se seleccionó un lote de café de segunda a tercera cosecha.

Tabla 1. Descripción de las fincas

Sitio	Departamento	Municipio	msnm	Temperatura (°C)	Lluvia (mm/año)	HR%
A. Paraguaicito	Quindío	Buena Vista	1218	21.6	2142	78
B. La Bella	Quindío	Calarcá	1450	20.3	2146	78

C. Sta. Cruz	Risaralda	Sta. Rosa de Cabal	1700	19.4	2590	81
--------------	-----------	-----------------------	------	------	------	----

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizaron tres actividades, de tal manera que en la primera se evaluó en cada sitio el comportamiento de la infestación por broca y las variables asociadas al parasitoide, en la segunda se estimó la longevidad del adulto de *P. nasuta* y en la tercera se estableció la tolerancia de *P. nasuta* a los insecticidas usados actualmente para el control de broca.

Actividad 1: Evaluación del comportamiento de la infestación por broca y las variables asociadas al parasitoide *P. nasuta*.

En cada uno de los sitios se seleccionaron aleatoriamente 200 árboles y en cada árbol se escogió una rama productiva del tercio medio con frutos sanos de 150 días de desarrollo fisiológico (unidad de muestreo).

Las unidades de muestreo fueron acondicionadas con una estructura metálica de alambre calibre 10, de 50 cm de longitud por 25 cm de diámetro, cubierta con una manga entomológica de muselina (Villalba *et al.*, 1995), para luego proceder a infestarlas con broca en proporción de 4:1. Las brocas se obtuvieron de la unidad de cría de Biocafé y fueron transportadas en frascos de rollos fotográficos de 5 cm de alto por 3 cm de diámetro con papel picado, con el fin de evitar la mutilación entre ellas.

En el lote del sitio A (Paraguaicito), a los 35 días después de la infestación, se seleccionaron aleatoriamente 10 unidades de muestreo de las 200. De cada una de ellas se desprendieron todos los frutos perforados por broca, se depositaron en un recipiente plástico y se transportaron a Cenicafé para ser disecados. Se contabilizaron los estados biológicos de la broca para asegurar un promedio mayor a seis estados por fruto según prueba de *t* al 5%. Posteriormente, a los seis y doce días, se procedió de igual manera en los sitios B y C; posterior a cumplir con este requisito, se continuó con el siguiente procedimiento.

En las unidades de muestreo restantes, de cada sitio, se retiraron las mangas entomológicas y se depositaron avispa adultas de *P. nasuta* sobre los granos brocados en una proporción de 2:1 (dos avispas por grano brocado), para garantizar que cada fruto tuviese una avispa madre o colonizadora. Luego se colocó la manga entomológica. Cada tres días, posterior a la liberación de los parasitoides y hasta completar 15 evaluaciones, se seleccionaron aleatoriamente 10 unidades de muestreo, y en cada una de ellas se desprendieron todos los granos, los cuales fueron transportados en recipientes plásticos hasta el laboratorio de entomología de Cenicafé donde se disecaron para hacer el registro de la siguiente información:

- Número total de frutos, frutos perforados por broca, frutos infestados parasitados por *P. nasuta* y el número de estados biológicos del parasitoide y de la broca, dentro de cada fruto.
- En cada tiempo de evaluación se determinaron las unidades térmicas acumuladas (acumulados de grados-día), con base en los registros de temperatura media y la temperatura base para el insecto, la cual fue estimada por Infante (2000) en 11,4°C.

Con la información registrada se establecieron las siguientes variables: porcentaje de frutos perforados por broca (infestación), porcentaje de frutos parasitados por *P. nasuta* (parasitismo), número de estados de *P. nasuta*, número de adultos de *P. nasuta* y número de estados de broca. Se estimó para cada sitio y en cada fecha de muestreo el promedio por unidad de muestreo de la infestación, el parasitismo, el número de estados de *P. nasuta*, el número de adultos de *P. nasuta* y el número de estados de broca, además se evaluó el comportamiento de cada una de estas variables a través de las unidades térmicas acumuladas.

Actividad 2. Estimación de la longevidad del adulto de *P. nasuta* en condiciones de campo

En cada sitio se seleccionaron aleatoriamente diez árboles en el lote de la actividad 1. En cada uno de los árboles se colgó una estructura metálica conteniendo 100 hembras adultas de *P. nasuta* y 100 granos de café pergamino seco de agua con 47% de humedad, con 22

días de infestados con broca, obtenidos de la unidad de cría de Biocafé. A partir de la instalación de la estructura en el árbol (unidad de muestreo), cada 10 días (fechas de muestreo), se retiraron y se contaron las avispas vivas y muertas. Las avispas vivas se colocaron en nuevos frutos brocados. El tiempo de longevidad (variable de interés) se determinó cuando en la unidad de muestreo se observó que todas las avispas estuvieran muertas.

Con la variable de interés tiempo de longevidad, se estimó el promedio y variación para cada sitio por unidad de muestreo y se realizó un análisis de varianza de una vía para evaluar el efecto de la temperatura media del sitio en la variable de interés.

Actividad 3. Tolerancia de *P. nasuta* a insecticidas usados actualmente para el control de broca.

Para determinar la tolerancia de *P. nasuta* a los insecticidas clorpirifos y endosulfan, se realizó un experimento en condiciones de laboratorio. Los insecticidas se aplicaron en dosis de 200, 400, 600 y 800 ppm de ingrediente activo (tratamientos), utilizando la torre de Potter (Burkard Manufacturing Co) como equipo de aspersión experimental, calibrada a 10 libras de presión y dosificada en 2 cc de solución.

La unidad experimental estuvo conformada por 100 avispas colocadas en una caja petri, y por cada insecticida y dosis (tratamientos) se tuvieron seis unidades experimentales. Como testigo se realizaron aplicaciones con agua estéril, para estimar la mortalidad natural y corregir la mortalidad de los tratamientos.

A las 24 horas de haber aplicado los tratamientos se registró el número de avispas vivas para obtener el porcentaje de sobrevivencia. Con esta variable se estimó el promedio y variación por insecticida y dosis. En cada insecticida, se verificó que el promedio de cada dosis fuera diferente de cero, estadísticamente, según prueba t al 5%, lo que indicaría que la avispa es tolerante a la dosis de ese insecticida. Aquella dosis a partir de la cual el porcentaje de sobrevivencia fue cero, implicaría que ésta sería la dosis en la cual no habría tolerancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad 1: Evaluación del comportamiento de la infestación por broca y las variables asociadas al parasitoide *P. nasuta*.

Para el sitio con una temperatura media por día de 19,4°C (C), el promedio de infestación fluctuó entre 51,6 y 78,5% y el parasitismo entre 29,4 y 51,2% (Tab. 2). El sitio con una temperatura de 20,3°C (B) presentó una infestación superior al 90,6% y el parasitismo fluctuó entre 53 y 82,4%. El sitio con una temperatura de 21,6°C (A) presentó una infestación promedio entre 68,6 y 100% y el parasitismo entre el 43,6 y 75,8%.

El porcentaje de infestación en los tres sitios fue constante a través de las unidades térmicas acumuladas (Tab. 2), de acuerdo con el coeficiente de regresión lineal ($b = 0$ según prueba t al 5%), de tal manera que para el sitio con una temperatura de 19,4°C la infestación promedio fluctuó entre $61,9 \pm 4,36\%$; en la temperatura de 20,3°C esta fluctuó entre $96,4 \pm 2,02$; y para la temperatura promedio de 21,6 °C la infestación promedio estuvo entre $91,7 \pm 4,97$. Como se puede observar, el sitio con menor infestación fue aquel que presentó la menor temperatura promedio por día, según prueba t al 5%. La infestación en las otras dos temperaturas promedio día fue igual estadísticamente.

El comportamiento del parasitismo a través de las unidades térmicas acumuladas fue constante; de tal manera, que para el sitio con una temperatura promedio de 19,4°C el parasitismo promedio estuvo entre $44,8 \pm 2,9\%$; en el sitio con una temperatura promedio de 20,3°C fluctuó entre $67,2 \pm 4,8\%$ y en el sitio con una temperatura promedio de 21,6°C fluctuó entre $69,9 \pm 5,2\%$ de parasitismo. Igual que en el comportamiento de la infestación, el promedio menor de parasitismo se presentó en el sitio con una temperatura de 19,4°C de acuerdo con la prueba t al 5% y en los otros dos sitios fueron iguales estadísticamente.

Para el sitio con una temperatura media por día de 19,4°C, el número de huevos, larvas y pupas de *P. nasuta* fluctuó entre 0 y 81 y el número de adultos fluctuó entre 23 y 70 (Fig. 1 y 4). El sitio con una temperatura de 20,3°C presentó un número de huevos, larvas y pupas

de *P. nasuta* entre 2 y 168 y el número de adultos entre 48 y 90 (Fig. 2 y 5). Para el sitio con una temperatura de 21,6°C el número de huevos, larvas y pupas de *P. nasuta* fluctuó entre 0 y 148 y el número de adultos entre 37 y 68 (Fig. 3 y 6). Estos resultados sugieren que el parasitoide *P. nasuta* posee una capacidad reproductiva mayor en estas mayores temperaturas promedio.

Para una temperatura promedio de 19,4°C (Fig. 1), se observó un máximo de estados de huevos, larvas y pupas de 81 en 242,3 UTA; mientras que en la temperatura de 20,3°C se observó un máximo de 170 estados de huevos, larvas y pupas a las 188,6 UTA (Fig. 2); y el sitio con una temperatura promedio de 21,6°C (Fig. 3) el número máximo de estados de huevos, larvas y pupas de *P. nasuta* fue de 140 en 257,6 UTA. Este resultado indica que hay sitios en los cuales las mayores poblaciones de *P. nasuta* ocurren en menor tiempo cronológico, pero se requieren las misma UTA para que ellas ocurran en las temperaturas medias de 20,3°C y 21,6°C

Tabla 2. Unidades Térmicas Acumuladas (UTA), porcentaje de infestación por broca y parasitismo de *P. nasuta* y sus errores estándar (EE), por cada temperatura promedio de los sitios experimentales.

Temperatura de cada sitio	UTA	Infestación (%)		Parasitismo (%)	
		X	EE	X	EE
19,4	25,7	58,0	15,9	35,8	9,9
	51,8	64,4	3,1	48,2	3,0
	77,9	64,4	4,0	43,6	3,6
	101,2	73,2	8,2	51,2	5,7
	127,7	53,0	6,4	39,0	5,1
	150,2	69,6	6,7	44,6	3,6
	170,8	61,6	5,9	41,4	4,8
	193,7	64,2	4,2	46,0	3,0
	218,5	71,4	6,7	45,8	4,4
	242,3	51,8	6,9	38,4	6,1
	262,4	66,2	5,6	44,0	6,7
	282,3	51,6	8,4	34,6	7,6

	305,8	57,0	7,0	29,8	5,5
	332,2	70,2	4,9	36,0	4,2
	355,6	53,8	6,5	29,4	5,0
	382,3	76,2	5,7	39,4	6,3
	408,4	78,5	5,9	45,2	4,5
	436,2	57,6	3,6	41,6	3,2
	25,3	100,0	0,0	68,8	2,9
	50,4	91,6	4,3	65,0	4,0
	77,6	98,6	0,7	65,2	0,7
	104,3	99,6	0,3	57,2	3,0
	133,7	99,8	0,2	65,0	4,2
20,3	158,3	90,6	3,7	69,8	1,3
	188,6	99,8	0,2	82,4	2,6
	216,9	99,2	0,6	70,5	3,0
	241,0	100,0	0,0	63,2	3,1
	265,4	99,6	0,3	53,0	2,8
	292,3	99,6	0,3	59,6	5,4
	317,4	98,8	0,8	69,2	6,2
	30,4	100,0	0,0	65,6	2,3
	66,1	68,6	6,8	48,4	5,5
	99,8	98,0	1,1	63,9	2,0
	127,2	100,0	0,0	63,4	4,0
	161,1	99,6	0,3	56,8	3,3
	194,1	96,4	1,8	56,8	5,6
21,6	226,7	100,0	0,0	75,8	2,6
	257,6	100,0	0,0	71,0	3,3
	290,4	100,0	0,0	60,8	3,6
	325,3	100,0	0,0	49,8	2,3
	356,7	99,2	0,3	52,9	4,6
	388,8	98,6	0,8	45,3	6,6
	422,2	94,8	4,6	43,6	5,9

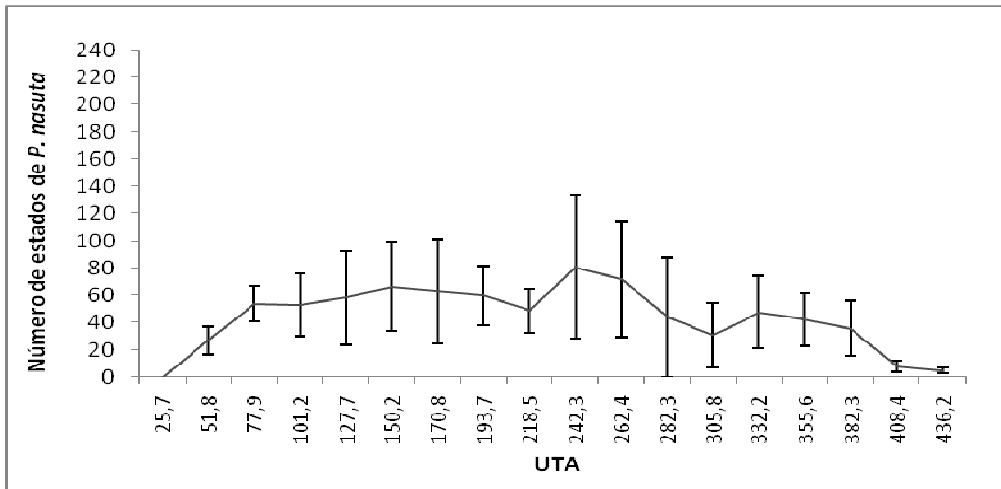


Figura 1. Comportamiento del número de huevos, larvas y pupas de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 19,4°C.

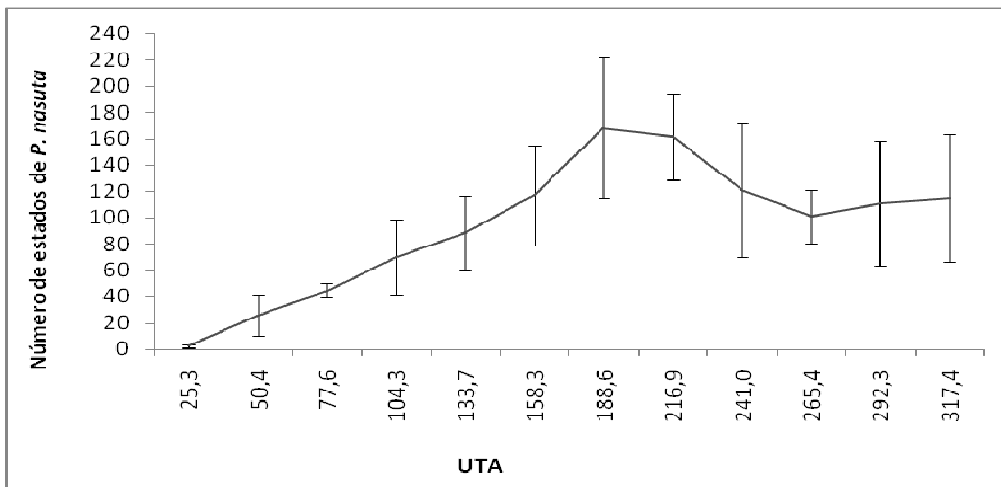


Figura 2. Comportamiento del número de huevos, larvas y pupas de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 20,3°C.

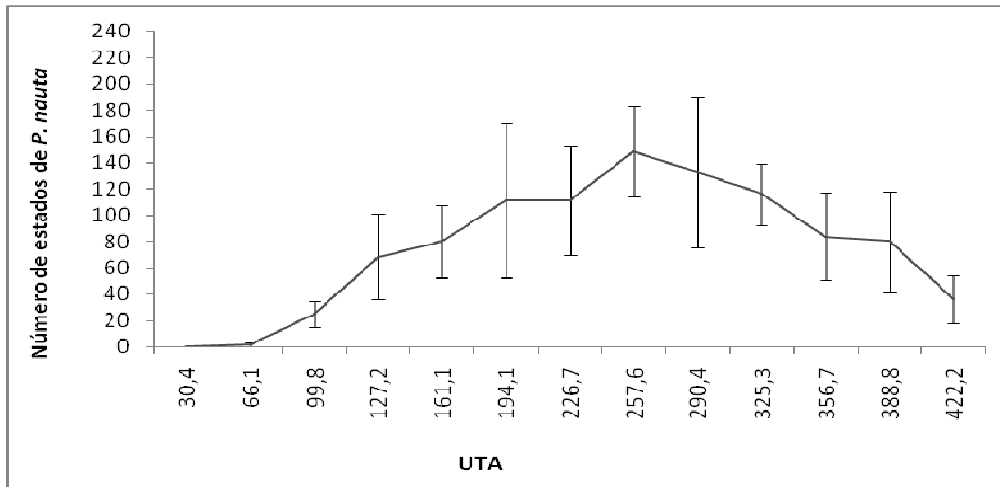


Figura 3. Comportamiento del número de huevos, larvas y pupas de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 21,6°C.

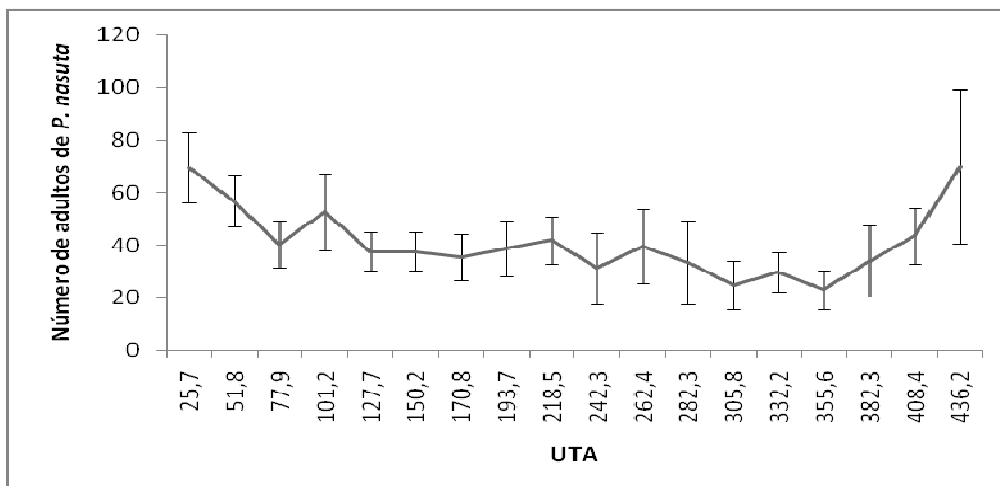


Figura 4. Comportamiento del número de adultos de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 19,4°C.

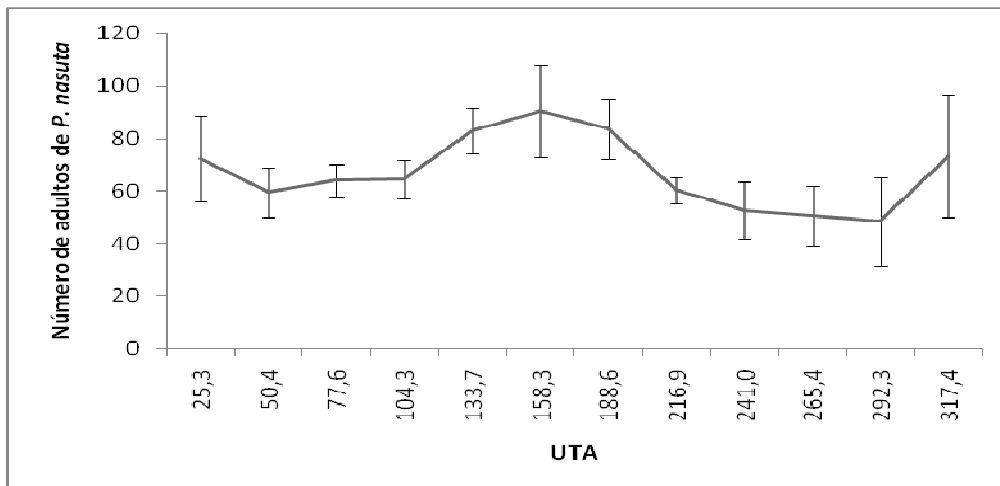


Figura 5. Comportamiento del número de adultos de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 20,3°C.

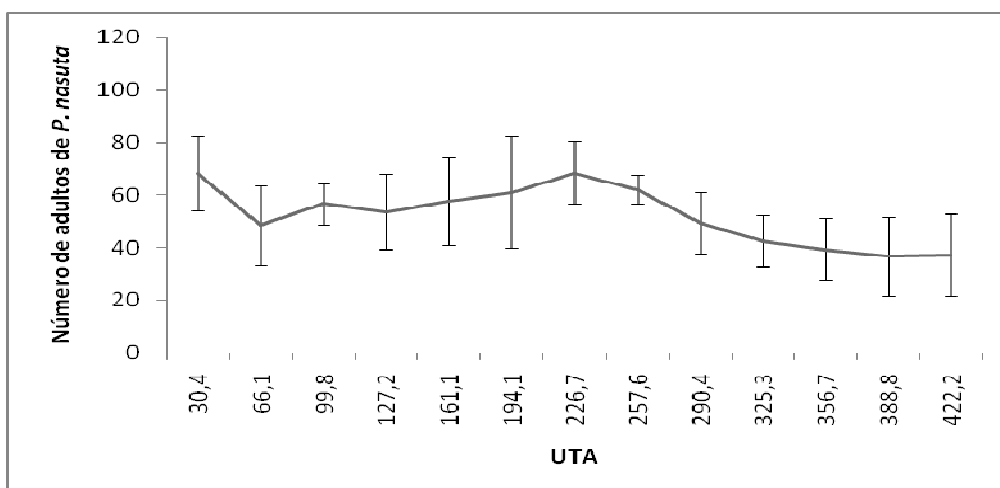


Figura 6. Comportamiento del número de adultos de *Prorops nasuta* de acuerdo con las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA). Sitio con una temperatura de 21,6°C.

Para el sitio con una temperatura media por día de 19,4°C el número de estados de broca fluctuó entre 32 y 466 (Fig. 7); para el sitio con una temperatura de 20,3°C el número de estados de broca fluctuó entre 116 y 444 (Fig. 8); para el sitio con una temperatura de 21,6°C el número de estados de broca fluctuó entre 80 y 434 (Fig. 9).

El número de estados de broca en el sitio con una temperatura de 19,4°C mostró una disminución gradual a través de las unidades térmicas acumuladas; a partir de 150,2 UTA el número de estados de broca mostró un comportamiento constante. Para el sitio con una temperatura de 20,3°C, a los 265,4 UTA se dio una disminución drástica del número de estados de broca (Fig. 8), mientras que a 21,6°C esta disminución ocurrió a los 388,8 UTA. Estos resultados, de manera descriptiva, muestran relación entre el número de estados del parasitoide generados a partir de las brocas presentes en los frutos infestados. De esta manera, en menores temperaturas el desarrollo de la broca en los frutos infestados es más lento, razón por la cual el parasitoide utiliza el recurso (huésped broca) de manera temprana y produce un menor número de estados del parasitoide. En correspondencia con las otras temperaturas, el desarrollo del huésped (broca) es más rápido, proporcionándole mejor alimento al parasitoide, el cual responde con una producción mayor de progenie.

Los resultados de esta actividad permiten concluir que la disminución de los estados de la broca puede ser atribuible al efecto depredador y parasítico del parasitoide dentro de los frutos, que la cantidad de estados del parasitoide producidos en su primera progenie dependen de la cantidad de broca presente en los frutos infestados, y que la reproducción de ambas especies puede ser influenciada por la temperatura promedio del sitio de liberación.

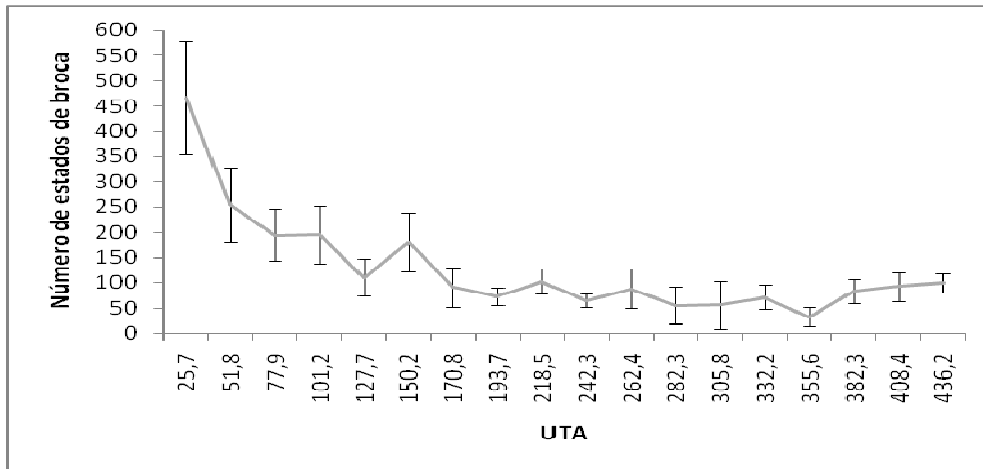


Figura 7. Número de estados de broca en el sitio con una temperatura de 19,4°C en promedio día.

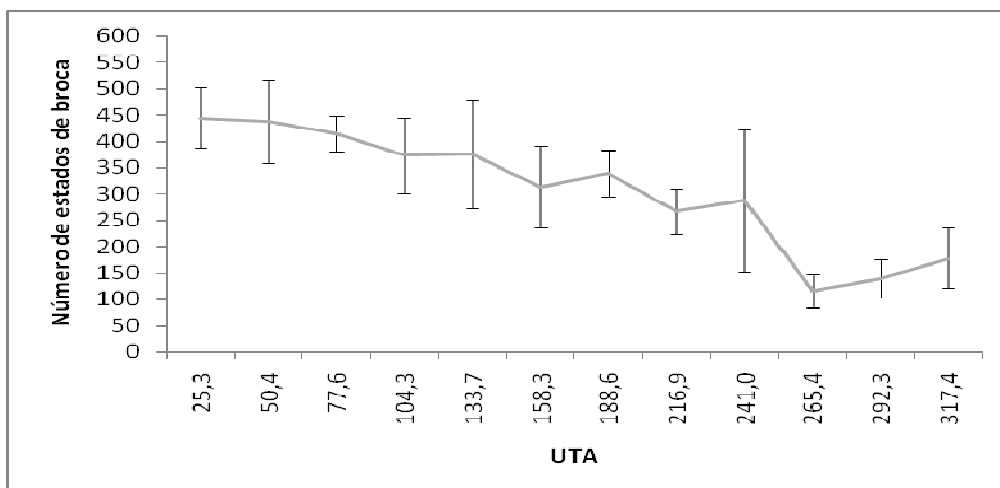


Figura 8. Número de estados de broca en el sitio con una temperatura de 20,3°C en promedio día.

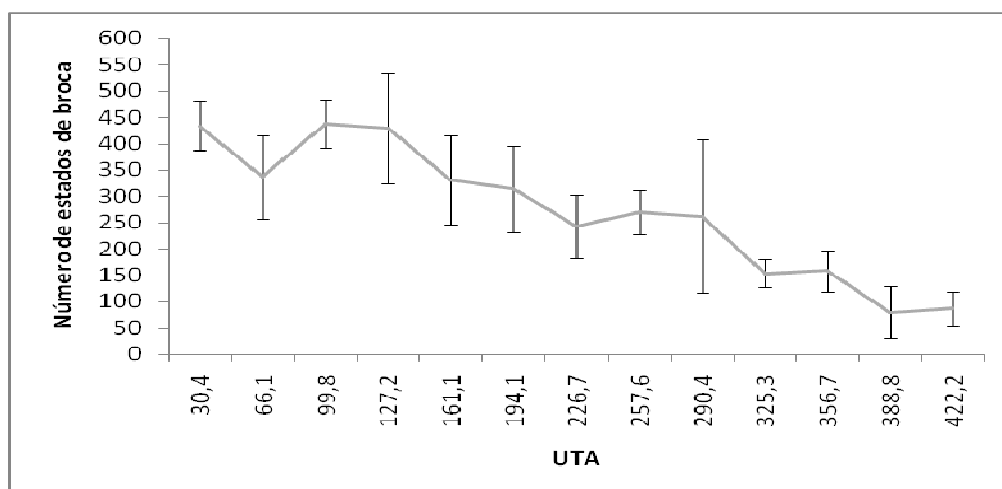


Figura 9. Número de estados de broca en el sitio con una temperatura de 21,6°C en promedio día.

Actividad 2. Estimación de la longevidad del adulto de *P. nasuta* en condiciones de campo

Para el sitio con una temperatura de 19,4°C en promedio día, el tiempo de longevidad fluctuó entre $66 \pm 1,63$ días en promedio por unidad de muestreo; para el sitio con una temperatura de 20,3°C en promedio día, el tiempo de longevidad fluctuó entre $74 \pm 1,63$ días por unidad de muestreo y para el sitio con una temperatura de 21,6 en promedio día, el tiempo de longevidad fluctuó entre $73 \pm 1,53$ días por unidad de muestreo (Tab. 3). El sitio con menor tiempo de longevidad fue aquel con menor temperatura promedio por día, siendo igual estadísticamente en los otros dos sitios (Tab. 3).

Tabla 3. Longevidad del adulto de *P. nasuta* a diferentes temperaturas

Altitud	Temperatura	Tiempo de longevidad	
		X	E.E
1700	19,4	66a	1,63
1450	20,3	74b	1,63
1218	21,6	73b	1,53

Letras no comunes implican diferencias entre promedios de acuerdo a la prueba de Duncan al 5%.

En la temperatura 20,3 y 21,6 °C, se observó un máximo de 80 días de tiempo de longevidad, mientras que en la temperatura de 19,4 °C se observó el mínimo de 60 días. Los valores encontrados en este estudio con respecto a esta variable fueron iguales a los obtenidos por Maldonado (2007) en condiciones de laboratorio, quienes encontraron una longevidad de 77 ± 2 días a una temperatura de 22°C. Estos resultados son superiores a los encontrados por Infante *et al.* (2005) quienes reportaron una longevidad promedio de 27,7 días y un máximo de 57 en estudios desarrollados en México. Teóricamente, esta longevidad de *P. nasuta* podría estar involucrada en la depredación y parasitismo de hasta tres ciclos de broca en condiciones de campo, y ofrece algunas razones del éxito de su establecimiento en Colombia (Maldonado y Benavides, 2007).

Se observó que el tiempo de longevidad del adulto de *P. nasuta* disminuyó en el sitio con la temperatura más baja (temperatura media por día de 19,4°C). Sin embargo, resultados obtenidos por Infante (Infante, 2000) mostraron que a menor temperatura la longevidad del adulto fue mayor. En este estudio se sugiere que la temperatura no fue el único factor que influyó en la disminución de la longevidad de *P. nasuta*, otros factores ambientales (humedad, brillo solar, evapotranspiración, nubosidad, entre otros) pudieron haber tenido un efecto sobre la longevidad del adulto del parasitoide.

Los resultados obtenidos durante esta actividad permiten concluir que la temperatura tuvo un efecto en la longevidad del parasitoide, que las hembras de *P. nasuta* pueden durar hasta 77 días en condiciones de campo y que su capacidad depredadora y parasítica fue observada durante toda la duración del estado adulto.

Actividad 3. Tolerancia de *Prorops nasuta* a los insecticidas usados actualmente para el control de broca.

En la Tab. 4 se presentan los promedios de mortalidad y sobrevivencia de *P. nasuta* por insecticida y dosis. Según prueba t al 5%, *P. nasuta* fue susceptible a la menor dosis del insecticida clorpirifos, dado que todas las avispas murieron (porcentaje de mortalidad). Sin embargo, en las aplicaciones de endosulfan se observaron sobrevivencias de 1.3 ± 0.56 ,

0.55 ± 0.24 y 0.54 ± 0.24 a 200, 400 y 600 ppm del ingrediente activo. Estos valores indican que técnicamente no hubo sobrevivencia de las avispas cuando se aplicaron todas las dosis de endosulfan. Por lo tanto, este parasitoide no ha desarrollado resistencia a estos productos, en las condiciones experimentales de esta investigación. Estudios realizados por Brun y Decazy (Brun y Decazy, 1992) en condiciones de laboratorio, indicaron que *P. nasuta* pudo resistir concentraciones altas de endosulfan, resultado que no fue corroborado experimentalmente para las condiciones de este estudio.

Tabla 4. Porcentaje de mortalidad y sobrevivencia corregidos de *P. nasuta*

Insecticida	Dosis	Porcentaje de mortalidad corregida		Porcentaje de sobrevivencia corregida	
		X	E.E	X	E.E
Clorpirifos	200	100.00	0.000	0.000	0.000
Endosulfan	200	98.614	0.567	1.386	0.567
Endosulfan	400	99.442	0.249	0.557	0.249
Endosulfan	600	99.454	0.244	0.546	0.244
Endosulfan	800	100.00	0.000	0.000	0.000

Los resultados de este experimento permitieron sugerir los factores que han podido contribuir al establecimiento del parasitoide *P. nasuta* en Colombia. Primero, una alta longevidad de los adultos liberados en condiciones de campo le permiten al parasitoide desarrollar todo su potencial depredador y parasítico durante varias generaciones de la broca, lo cual se refleja en la disminución de los estados de la broca en los frutos infestados a través del tiempo; y segundo, una buena capacidad del parasitoide de producir progenie viable en todas las temperaturas evaluadas en este estudio, el cual a su vez es representativo de las altitudes en las cuales se encuentra la mayoría de las fincas cafeteras de Colombia. Igualmente no se corrobora la hipótesis de que el parasitoide presente resistencia a insecticidas usados en los últimos años en la caficultura colombiana, de tal manera que la presencia del parasitoide en regiones donde se hace uso extensivo de esta práctica de control químico, obedece posiblemente a que el parasitoide escapa a las aspersiones por

poseer hábitos crípticos.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten recomendar el uso de este parasitoide en todas las altitudes en las cuales se encuentra la caficultura colombiana, igualmente se sugiere adelantar estudios sobre el potencial depredador, parasítico y de reproducción de los adultos hembra de *P. nasuta* en relación con su edad.

CONCLUSIONES

Se determinó que la disminución de los estados de la broca puede ser atribuible al efecto depredador y parasítico del parasitoide dentro de los frutos, además, la cantidad de estados de *Prorops nasuta* producidos en su primera progenie dependen de la cantidad de broca presente en los frutos infestados.

Al evaluar el comportamiento de la temperatura en la longevidad del parasitoide, se encontró que las hembras de *P. nasuta* pueden durar hasta 77 días en condiciones de campo y que su capacidad depredadora y parasítica fue observada durante toda la duración del estado adulto.

La hipótesis de que el parasitoide presente resistencia a insecticidas usados en los últimos años en la caficultura colombiana, no fue corroborado, de tal manera que la presencia del parasitoide en regiones donde se hace uso extensivo de esta práctica de control químico, obedece posiblemente a que el parasitoide escapa a las aspersiones por poseer hábitos crípticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Federación Nacional de Cafeteros y a Cenicafé por la financiación de esta investigación. Al profesor Tito Bacca por sus aportes en la planeación del experimento. A Diana Rodríguez y Jhon Jairo García por su ayuda en la toma de la

información, a todo el personal de la Subestación Experimental Paraguaicito y al Comité de Cafeteros del Quindío.

LITERATURA CITADA

Bacca I., R.T. 1999. Efecto del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston (Himenóptera: Bethyilidae) sobre poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). Tesis Maestría en Ciencias Agrarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 186p.

Benavides M., P., Bustillo P., A.E., Portilla, M., Orozco, J. 2002. Classical Biological Control of Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia with African Parasitoids. p.430-434. In: International Symposium on Biological Control of Arthropods.

Benavides M., P. 2003. Genetic variability and global distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Thesis: Doctor of Philosophy, West Lafayette, Purdue University. 95p.

Brun, L. O.; Decazy, B. 1992. Étude de la toxicité de l'endosulfan sur l'entomofaune parasitaire du scolyte des fruits de caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae). p.121-128. En: Café Cacao Thé. Vol. 36, No. 2 (abril-junio, 1992).

Bustillo P., A.E. 1990. Perspectivas de un manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. Miscelánea. Sociedad Colombiana de Entomología. No 18, p.106-118.

Bustillo P., A.E.; Orozco H., J.; Benavides M., P.; Portilla R., M. 1996. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé. 47: 215-230.

- Bustillo P., A.E.; Cárdenas M., R; Villalba G., D.A.; Benavides M., P.; Orozco H., J.; Posada F., F.J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Cenicafé, Chinchiná, (Colombia). 134 p.
- Bustillo P., A.E. 2005. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. 29 (110): 55-68.
- Bustillo P., A.E. 2007. Parasitoides para el control biológico clásico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en Colombia. Asiava. 78:26-29.
- Cárdenas M., R. 1991. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867). Miscelánea. Sociedad Colombiana de Entomología. No 18, p.1-13.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Chinchiná. Colombia. 2008 Anuario meteorológico cafetero 2005. Chinchiná, Cenicafé. 550 p.
- Cisneros, P.; Tandazo, A. 1990. Evidencias sobre el establecimiento y adaptación del parasitoide *Prorops nasuta* en el sur del Ecuador. Miscelánea. Sociedad Colombiana de Entomología. No 18, p. 50-57.
- Fanton, J.C.; Ferreira V., E.; De Sousa F.F. 2002. Biología e controle da broca do café: situação actual e perspectivas. O estado da arte de tecnologías na produção de café. Vicosa, Minas Gerais. 451-469 pp.
- Guzmán E., D.B. 1996. Efecto de varios insecticidas sobre el parasitoide de la broca del café *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae). Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 131p.
- Infante, F. 2000. Development and population growth rates of *Prorops nasuta* (Hym., Bethyridae) at constant temperatures. Journal of Applied Entomology (Alemania) 194: 343 – 348.

Infante, F.; Mumford, J.; Baker, P. 2005. Life history studies of *Prorops nasuta*, a parasitoid of the coffee berry borer. *BioControl*, 50: 259–270.

Maldonado, C.E.; Benavides M., P. 2007. Evaluación del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, controladores de *Hypothenemus hampei*, en Colombia. *Cenicafé (Colombia)*. 58(4):333-339.

Maldonado L., C.E. 2007. Variabilidad genética y evaluación biológica del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston en Colombia. Tesis: Magíster en Biología Molecular y Biotecnología, Universidad de Pamplona. Pamplona. 73 p.

Mejía M., J.W., Bustillo P., A.E., Orozco H., J.; Cháves C., B. 2000. Efecto de cuatro insecticidas y de *Beauveria bassiana* sobre *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae), parasitoide de la broca del café, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 26 (3-4): 117-123.

Muñoz H., R.; Ulloa, M.A. 1999. Metodología de cría de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* enemigos naturales de la broca del cafeto *Hypothenemus hampei*. pp. 226-238. In: memoria del VI seminario nacional de investigación y transferencia en caficultura. IHCAFE, Tegucigalpa M.D.C., Honduras.

Quintero H, C; Bustillo P, A; Benavides M, P; Chaves C, B. 1998. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Himenóptera: Bethylidae) en cafetales del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 24 (3-4): 141-147.

Villalba G., D.A.; Bustillo P., A.E.; Chaves C., B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. *Cenicafé (Colombia)*. 46(3): 152-163.