

DINÁMICA POBLACIONAL, DISPERSIÓN Y COLONIZACIÓN DE LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei* EN COLOMBIA

Luis Miguel Constantino Chuaire *, José Raúl Rendón Sáenz **, Giovanny Cuesta Giraldo ***, Rubén Darío Medina Rivera ****, Pablo Benavides Machado *



Constantino, L. M., Rendón, J. R., Cuesta, G., Medina-Rivera, R., & Benavides Machado, P. (2021). Dinámica poblacional, dispersión y colonización de la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72102. <https://doi.org/10.38141/10778/72102>

Con el fin de describir la dinámica poblacional de la broca, en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), se seleccionaron dos lotes de café *Coffea arabica* var. Castillo®, uno a libre exposición y otro bajo sombrío, cada uno de una hectárea. A partir de la formación de los primeros frutos, mensualmente en cada lote, en 30 árboles seleccionados aleatoriamente, se determinó la población de broca por árbol, los vuelos de los adultos mediante capturas en 70 trampas de alcohol y se mapeó el movimiento del insecto dentro del lote, durante cuatro años; los datos obtenidos se relacionaron con los eventos climáticos. Se encontró una mayor densidad poblacional de broca en cultivos de café con sombrío durante los eventos El Niño y Neutro, con promedios por árbol de $2.674 \pm 213,9$ individuos y 1.675 ± 95 individuos de broca, respectivamente, en contraste con $1.326 \pm 105,2$ y 516 ± 23 a libre exposición para los dos eventos climáticos; durante La Niña, no se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas de producción, con bajos niveles de población. Los vuelos de la broca fueron mayores en el lote con sombrío en períodos El Niño, con capturas de 23.645 ± 1.352 adultos en contraste con períodos La Niña, con 997 ± 92 individuos. De acuerdo con los mapas, el movimiento de la broca dentro de los dos sistemas de producción se dio de manera agregada, según la Ley de poder de Taylor, siendo el coeficiente de regresión lineal (β) mayor que 1, según el estadístico de prueba t, al 5%.

Palabras clave: Densidad poblacional, *Coffea arabica*, clima, temperatura, control cultural.

POPULATION DYNAMICS, DISPERSAL AND COLONIZATION OF COFFEE BERRY BORER *Hypothenemus hampei* IN COLOMBIA

In order to describe the population dynamics of Coffee Berry Borer, two one-hectare plots of coffee *Coffea arabica* var. Castillo (sun vs. shade) were chosen at the Naranjal Central Station, Chinchiná, Caldas, Colombia. From the formation of the first fruits, the population of CBB per tree and the flights of the adults were determined through captures in 70 alcohol traps; also, the movements of the insect were mapped monthly in each plot, in 30 randomly selected trees during four years. The results obtained were related to climatic events. A higher population density of CBB was found in shade-grown coffee during El Niño and neutral events with averages of $2,674 \pm 213.9$ and $1,675 \pm 95$ individuals of CBB per tree respectively, in contrast to $1,326 \pm 105.2$ and 516 ± 23 exposed to full sunlight for both climatic events. During La Niña, no significant differences were observed between the two production systems and low population levels were obtained. The flights of the CBB were higher in shade-grown coffee during El Niño periods, with captures of $23,645 \pm 1,352$ adults in contrast to La Niña periods with 997 ± 92 individuals. According to the maps, the movement of CBB within the two production systems occurred in an aggregated pattern according to Taylor's Power Law, with a linear regression coefficient (β) greater than 1, according to the t-test statistic, at 5%.

Keywords: Population dynamics, *Coffea arabica*, climate, temperature, cultural control.

*Investigador Científico II e Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8117-5803> y <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

** Investigador Científico I. Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

*** I.A. MSc. Café Granja La Esperanza SA CI. <https://orcid.org/0000-0002-0573-7744>

**** Investigador Científico II. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>



La broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), es la plaga más importante del cultivo del café en Colombia y en el mundo. Su importancia radica en el hecho de que el adulto barrenas las almendras y se reproduce en el interior del endospermo, causando pérdida total o parcial del grano (Cárdenas, 1991 y Bustillo et al., 1998). A pesar de su importancia como plaga y los numerosos estudios en diferentes aspectos de la biología, manejo integrado del insecto y métodos de control, son pocos los trabajos de investigación acerca del efecto del sombrío en la dinámica poblacional y ecología del insecto en cultivos de café. Los estudios sobre el efecto del sombrío en la densidad poblacional de la broca del café, en diferentes sistemas agroforestales del mundo, son distintos y contradictorios. Por ejemplo, Jaramillo et al. (2013) reportan mayor infestación de broca en cultivos a libre exposición que bajo sombra; Atallah et al. (2018) sugieren que disminuyendo la temperatura puede mantener las poblaciones de broca en cultivos con sombra por debajo del nivel de aquellas encontradas en cultivos a libre exposición solar; Teodoro et al. (2008) indican que entre más complejos son los sistemas agroforestales del cultivo de café y mayor la diversidad de árboles de sombrío menor es la densidad poblacional de la broca.

Algunos autores reportan un incremento de las plagas y enfermedades con el incremento de la luz (Wrigley, 1988), mientras que otros reportan lo opuesto (Eskes, 1982). Parece que la luz es sólo uno de los factores que afectan la productividad de los sistemas de café, pero otros relacionados con la estructura física del sombrío y la diversidad de árboles ayudan a incrementar los enemigos naturales, afectando la dinámica poblacional de las plagas. Por ejemplo, la complejidad de la estructura física y la diversidad del dosel arbóreo en sistemas agroforestales de café puede reducir la abundancia de herbívoros y aumentar la

abundancia de los enemigos naturales (Altieri y Letorneau, 1982; Armbrrecht & Perfecto, 2001; Perfecto et al., 1996; Perfecto et al., 2005; Johnson et al., 2010). Por el contrario, Soto et al. (2002) en México, mencionan que no existe correlación entre los niveles de infestación de la broca y la densidad de luz-sombra en cultivos orgánicos, mientras que Alvarado (2018) indica que la distribución espacial de la broca del café está condicionada hacia los sectores de mayor vegetación y sombra, sin que se haya podido evidenciar una relación directa con la diversidad florística. Feliz-Matos et al. (2004) encontraron que el café bajo la sombra densa de pomarrosa *Eugenia jambos* L. (Alston) (Myrtaceae), presentó una mayor incidencia de la broca (17%-25% de infestación de frutos), pero entre la sombra de matarajón *Gliricidia sepium* (Jacq) (Fabaceae) y a pleno sol no hubo diferencias.

Otros estudios indican que la incidencia y los niveles de infestación y daño de la broca son mayores en cafetales con sombra que en cafetales expuestos al sol (Decazy, 1990; Feliz-Matos, 2003, 2004; Julca et al., 2016; Chinguel, 2017; Mariño et al., 2016). Una explicación de esto la plantea Feliz-Matos (2003) quien indica que la mayor incidencia de luz solar causa reducción de la humedad relativa del aire, por debajo de 70% en las horas de la tarde, en las calles de las plantaciones de café a pleno sol; esto se convierte en un factor limitante para las actividades de vuelo y oviposición de las hembras de la broca. Un ambiente de baja humedad causaría deshidratación y alta mortalidad a estas hembras, reduciendo así las poblaciones futuras; sin embargo, las altas humedades relativas en las calles con sombrío favorecen estas características, resultando en un aumento de las poblaciones en esta condición.

Otros autores reportan que, además del nivel de sombrío, la variabilidad climática es la que realmente muestra un marcado efecto en

la dinámica poblacional de la broca del café en el campo (Baker, 1986; Baker et al., 1992; Bustillo, 2002, 2006; Mendesil et al., 2004; Jaramillo, 2005), principalmente asociados a los eventos climáticos El Niño y La Niña (Constantino et al., 2011; Ramírez et al., 2014; Ramírez et al., 2015) y de acuerdo a la ubicación altitudinal (Constantino, 2010; Constantino et al., 2011). El desarrollo del insecto y el efecto sobre la acumulación de tiempo térmico, expresado en grados día, sirven para identificar épocas y regiones de crecimiento óptimo del insecto en el país (Ramírez et al., 2015; Giraldo et al., 2018). Mientras que Beer et al. (1997) y Atallaha et al. (2018) sugieren que los cafetales con árboles con sombrío pueden disminuir la temperatura alrededor de los frutos de café de 4 a 5°C.

Este planteamiento se fundamenta en estudios de laboratorio y modelación bajo condiciones ambientales controladas de temperatura, que ocasionan mayor incremento de la oviposición y mayor número de generaciones del insecto por año con el aumento de la temperatura, por lo tanto, los modelos climáticos, bioeconómicos y estadísticos en que se basan las predicciones futuras de incidencia de esta plaga sugieren un mayor incremento poblacional de la broca del café con las altas temperaturas relacionadas al cambio climático (Jaramillo et al., 2010; Agegnehu et al., 2015; Atallaha et al., 2018; Ziska et al., 2018). Sobre el particular, Jaramillo et al. (2009) predicen un índice intrínseco máximo de crecimiento de la población de la plaga del 8,5% por cada aumento de 1,0°C. Giraldo et al. (2018) estudiaron los requerimientos térmicos y el ciclo de vida de la broca en el laboratorio para determinar el número de generaciones por año, encontrando que el tiempo de desarrollo de *H. hampei* es afectado por la temperatura, completando su ciclo de vida más rápidamente, al aumentar las temperaturas hasta el umbral de 30°C y más lentamente por encima de esta temperatura. Sin

embargo, bajo condiciones naturales en el campo se conjugan muchos factores agroecológicos, biológicos, altitudinales y ambientales tales como las temperaturas máximas y mínimas que varían en el día y la noche, y el control de los enemigos naturales que influyen en el crecimiento o disminución de las poblaciones de la broca del café.

Por eso es importante entender el comportamiento reproductivo de la broca bajo diferentes condiciones ambientales y agroecológicas en el campo, tales como la lluvia, la humedad, la precipitación, la temperatura, la altitud y el nivel de luminosidad, ya que determina el número de generaciones por año. El número de generaciones que suceden en un medio natural es ante todo dependiente de las variaciones térmicas registradas durante el ciclo del fruto de café (Borbón-Martínez, 1991). Cuando hay disponibilidad de alimento durante todo el año, como sucede en la zona central cafetera de Colombia, la broca alcanza hasta ocho generaciones al año, con un tiempo generacional de 40 días a 22°C, y como estas se traslapan, en un momento dado pueden encontrarse todos los estados de desarrollo del insecto (Ruiz, 1996). Si se suma a esto el hecho de que la tasa reproductiva neta de una hembra puede ser de 25 a 150 individuos y que una hembra puede vivir hasta 150 días, el crecimiento poblacional del insecto es exponencial, llegando a incrementarse considerablemente si no se toman medidas de manejo y control oportunas (Bergamín, 1944; Cárdenas, 1991; Bustillo, 2008). Baker (1984) afirma que la temperatura y la humedad, generadas por la precipitación, juegan un papel importante en el inicio del ataque de la broca.

Se ha observado experimentalmente bajo condiciones de laboratorio, que al humedecer las cerezas secas caídas o dejadas de la cosecha anterior, un gran número de insectos emergen de las mismas (Baker, 1992). De hecho, las

lluvias están indirectamente relacionadas con el desarrollo del insecto, pues éste depende del fruto y este último a su vez, de las floraciones, las cuales están directamente relacionadas con los regímenes de lluvias.

Cuando los frutos sobremaduros y secos quedan en el suelo, la broca sigue reproduciéndose en ellos hasta alcanzar una descendencia numerosa (entre 30-150 adultos por fruto) (Bustillo, 2002). Los períodos prolongados de sequía favorecen el desarrollo del insecto en menor tiempo, beneficiando la reproducción dentro de los frutos (Ramírez et al., 2014). Si las condiciones ambientales son desfavorables, la broca permanece refugiada en los frutos secos en los sitios húmedos debajo de los árboles donde se crea un microambiente favorable para su supervivencia (Cárdenas, 1991). Con la llegada de las lluvias las brocas emergen entre los 45 y 60 días posteriores dispersándose por el cafetal y penetrando los frutos remanentes en el árbol (Baker, 1984; Castaño et al., 2005). Una de las razones que soportan esto es que la broca del café es susceptible a humedades bajas, por lo tanto, si sale del grano durante un período seco encontrará condiciones poco favorables y lo más probable es que muera deshidratada (Baker, 1986), mientras que si lo hace después de un aguacero, la humedad ambiental va a ser más alta y las condiciones más favorables para sobrevivir mientras encuentra un fruto para infestar. Si no encuentra condiciones favorables, su progenie puede permanecer dentro del fruto por varias generaciones; lo anterior convierte a esta población remanente en la principal fuente de infestación en la siguiente cosecha (Arcila et al., 1993).

Con estos antecedentes y entendiendo la relación de densidad poblacional que tiene el insecto con las diferentes variables ambientales y agroecosistemas, se podrían predecir y generar alertas tempranas para

orientar a los agricultores acerca de las medidas de manejo más apropiadas en una región y condición agroecológica específica, para el manejo oportuno de las poblaciones de esta plaga en la zona andina de nuestro país. El objetivo de esta investigación fue describir la dinámica poblacional de la broca del café en el campo bajo dos sistemas de producción (sol y sombra) a través del tiempo, en tres condiciones climáticas diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos lotes de café, en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), a 1.380 m de altitud, con una temperatura promedio de 21,4°C, precipitación anual de 3.435 mm y brillo solar de 1.723 horas/año en promedio (Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, 2018), donde nunca antes se había sembrado café. Ambos lotes con edades de un año, de 1,1 hectárea, con una densidad de siembra de 1,0 x 1,3 m, con 7.000 árboles cada uno.

El lote uno, fue un sistema de producción a libre exposición, tecnificado y sembrado con *Coffea arabica* L. var. Castillo[®], rodeado de cultivos de café al Norte, áreas de protección en bosque en regeneración al Sur, un gradual en la parte Nororiental y cultivos de café en el Oriente. El lote dos, fue sembrado con *C. arabica* var. Castillo[®] orgánico, bajo un sistema de producción con sombrío estratificado intercalado, compuesto de arbustos de *Tephrosia juncea* Benth (Fabaceae) de 3 m de altura sembrados entre los surcos, durante el levante del cultivo en el primer año, y además árboles de guamo *Inga edulis* Marth (Fabaceae), guamo macheto *Inga densiflora* Benth (Fabaceae), nogal cafetero *Cordia alliodora* (Boraginaceae), cámbulo *Erythrina fusca* Lour (Fabaceae), carbonero *Albizia carbonaria* Britton (Fabaceae) y písamo

Erythrina poeppigiana (Walp.) O.F.Cook (Fabaceae) de tres años de edad, establecidos a una distancia de siembras de 12,0 x 12,0 m, con un total de 70 árboles de sombra por hectárea. Este lote estuvo rodeado de áreas protectoras en guaduales en la parte Nororiental y en el Sur, y con café orgánico en la parte Suroriental y Occidental, con la misma edad y densidad de siembra.

Densidad poblacional de la broca del café en frutos del árbol

Para cada parcela, se seleccionaron 30 árboles de café (unidad de muestreo) de forma aleatoria cada mes, durante cuatro años. En cada uno de ellos se registró el número de ramas productivas; de ellas se tomaron al azar las dos ramas más productivas y se registró el número de frutos presentes y los que se encontraban perforados por broca. En las ramas seleccionadas para la estimación de la infestación, se recolectaron 100 frutos perforados por broca. A estos frutos se les hizo la disección para registrar el número de individuos de broca por estado de desarrollo (huevos, larvas, pupas y adultos). Con el registro del número promedio de ramas productivas de cada árbol, el promedio de frutos brocados por rama y el promedio de estados biológicos de broca en los frutos del árbol, se estimó la densidad de broca en cada fecha de evaluación a través del tiempo.

Densidad poblacional de la broca del café en frutos del suelo

Igualmente, en el suelo se estimó el total poblacional relacionando el número de frutos brocados caídos en el plato de cada uno de los 30 árboles seleccionados aleatoriamente, en cada sistema de producción (sol y sombra), contabilizando el número promedio de estados biológicos de broca al interior de dichos frutos en cada fecha de evaluación.

Porcentaje de infestación por broca del café en dos sistemas de producción

En cada uno de los sistemas de producción, en los mismos 30 árboles de café seleccionados aleatoriamente cada mes, para estimar la densidad poblacional, se tomaron las dos ramas más productivas y se registró el número de frutos presentes y los que se encontraban perforados por broca. Con esta información se estimó la infestación promedio de broca por árbol a través del tiempo.

Monitoreo de los vuelos y capturas de la broca del café con trampas de alcohol

Con el fin de monitorear los vuelos de la broca para explicar el movimiento del insecto, en el lote 2 con sombra, cuando los frutos de la primera cosecha tenían 120 días, se colocaron 70 trampas de embudo múltiple, cebadas con una mezcla de metanol:etanol (3:1), cada 10 m (Cárdenas, 2000), rodeando completamente el lote experimental, a una distancia de 7 m de los primeros árboles. Posterior y mensualmente, se hizo la lectura del número de brocas capturadas, durante cuatro ciclos productivos (4 años), para conocer las épocas de vuelo de la broca en la localidad de Naranjal.

Determinación de los grados día

Para la estimación de los grados día en el campo, se registraron las temperaturas extremas diarias (máximas y mínimas, en °C) de la estación meteorológica de Cenicafé ubicada en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), a 1.381 m donde se hizo el presente estudio. Para esto se calculó la relación lineal entre la temperatura y la tasa de desarrollo de la broca del café, tomando como referencia el estudio de Vargas (2009), realizado en el campo en la Estación Experimental Naranjal, donde determinó la constante térmica de desarrollo

del insecto, realizando infestaciones artificiales de broca con mangas entomológicas en ramas de café. El número de días que puede demorar en incubar un huevo, eclosionar una larva o emerger un adulto, se obtuvo mediante la acumulación de grados día, la cual se calculó restando a la temperatura media del día el valor de la temperatura del umbral inferior de la especie (Estay, 2009).

Efecto de las variables climáticas en la densidad poblacional de la broca

Con el fin de relacionar los eventos climáticos El Niño, La Niña y Neutro con la densidad poblacional y la infestación de la broca del café, en los dos sistemas de producción (sol y sombra), se llevaron los registros diarios de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura media (°C), brillo solar (h), humedad relativa (%HR) y precipitación (mm) provenientes de la estación meteorológica de Cenicafé ubicada en la Estación Experimental Naranjal.

Colonización y dispersión de la broca del café

Para determinar la llegada de la broca a los lotes experimentales, como medida de colonización, una vez establecidas las parcelas y delimitadas las áreas, se levantó un mapa de cada lote. Cada árbol de café fue georeferenciado usando el *software* con el programa ArcGis 9.3 para tener el posicionamiento espacial bajo un sistema de coordenadas. La ubicación de los árboles en los mapas se demarcó con un punto. Cada mes, durante cuatro años, se registró en cada uno de los árboles de las parcelas, la presencia o ausencia de frutos infestados por broca, en las ramas de la zona productiva. La presencia de broca en las ramas productivas fue demarcada en los mapas con un punto rojo y su ausencia con un punto blanco.

Análisis estadísticos

Para los análisis de infestación e incidencia de la broca del café para cada parcela de monitoreo y rango altitudinal, se obtuvieron los promedios y variación expresada en términos de error estándar (SE), por medio de un análisis de varianza (ANOVA), para cada uno de los parámetros de la dinámica de poblaciones: porcentaje de infestación de broca en los frutos del árbol y del suelo, densidad de broca por árbol y número de brocas capturadas en trampas de alcohol, para el modelo asociado al diseño experimental completamente aleatorio, al 5%, en cada fecha de evaluación, utilizando el programa estadístico SAS (SAS, 2014).

Posteriormente, se comparó la densidad de broca por árbol y por lote, entre los sistemas de producción de café: al sol y con sombrío. La comparación entre los dos sistemas de producción se realizó empleando pruebas de t-pareada o su equivalente no paramétrico, de acuerdo al comportamiento de los datos. Adicionalmente, se obtuvo el estimador de razón de la densidad poblacional de brocas en el lote y el número de brocas capturadas con trampas de alcohol, para lo cual se verificó previamente, la existencia de una relación lineal o no lineal, entre cada una de las variables de respuestas y con cada una de las variables de clima (temperatura máxima, media, mínima, precipitación y brillo solar).

Para el análisis estadístico con los mapas de dispersión de la broca del café, los datos de recuentos de insectos obtenidos en el campo se transformaron a $\log_{10}(x + 1)$. Para determinar si la broca presentaba agregación o no, se calculó el índice de dispersión del insecto por medio del método estadístico conocido como la ley de poder de Taylor o ley de la media, entendido como la relación entre la variancia muestral (S^2) y la media muestral (m) de

las densidades poblacionales, expresada por la siguiente fórmula: $S^2 = a m^b$ de la cual se deduce la regresión: $\log_{10}S^2 = \log_{10}a + b\log_{10}m$ que relaciona mediante una regresión, el logaritmo de la varianza y el logaritmo de la media. Se interpreta el valor de b como índice de agregación así: si $b > 1$ el índice de dispersión es agregado, si $b = 1$, la dispersión es al azar, y si $b < 1$ los datos se ajustan a un patrón de dispersión uniforme, según el estadístico de prueba t , al 5% (Taylor, 1984; Giraldo et al., 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad poblacional de la broca del café en frutos del árbol

Los resultados del estudio de dinámica poblacional de la broca del café en dos sistemas de cultivo, uno bajo sombrío y otro a libre exposición solar, se presentan en la Figura 1. La densidad poblacional de la broca del café

mostró un incremento mayor en cultivos de café con sombrío durante períodos climáticos El Niño ($F=20,7$; $df= 3$; $P < 0,0001$), con promedios máximos de densidad por árbol de $2.674 \pm 213,9$ individuos, en contraste con $1.326 \pm 105,2$ a libre exposición. Igual comportamiento se registró durante períodos Neutro, pero en menor cantidad ($F=33,8$; $df=3$; $P < 0,0001$), con promedios máximos de densidad por árbol de 1.675 ± 95 individuos de broca bajo sombra y 516 ± 23 a libre exposición; es decir, la densidad poblacional de la broca se duplicó en el lote con sombrío durante el período climático El Niño del año 2010 y en los períodos Neutros de los años 2011 y 2012. En períodos climáticos La Niña, con el incremento de las lluvias y la humedad del suelo, la densidad poblacional de la broca no mostró diferencias estadísticas significativas entre los dos sistemas de producción, con niveles bajos de población entre $15,8 \pm 0,6$ y $217 \pm 17,3$ individuos en promedio por árbol ($F=3,46$; $df=3$; $P=0,068$).

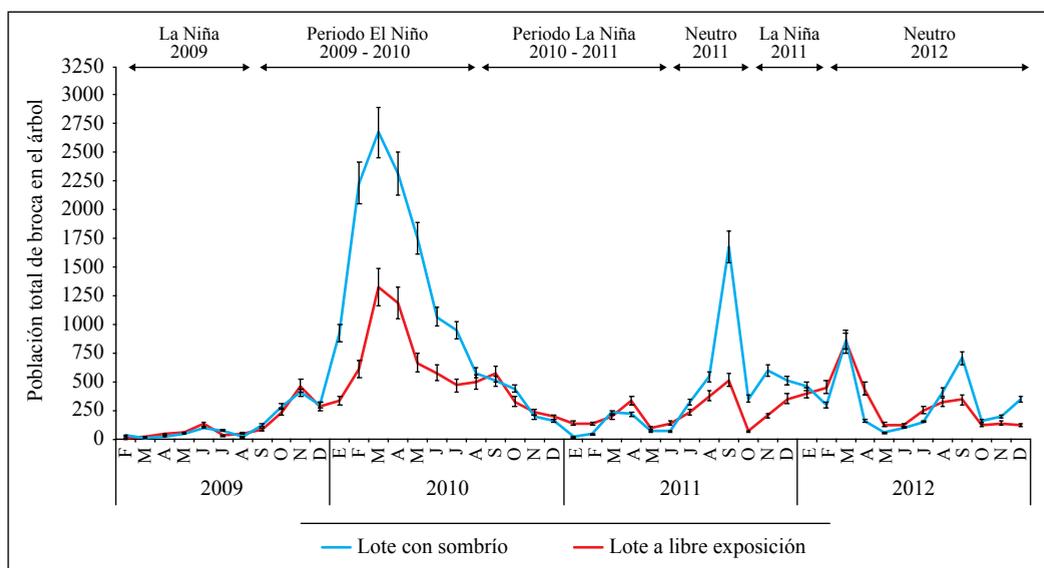


Figura 1. Densidad de población de broca en el árbol en dos sistemas de producción, durante cuatro ciclos productivos, en la localidad de Naranjal (Chinchiná, Caldas), en tres eventos climáticos.

El beneficio que da la sombra sobre la densidad de la broca durante períodos climáticos El Niño puede obedecer al mismo metabolismo de los insectos que está influenciado por las condiciones externas que lo rodean, como la temperatura, la humedad y el clima. Los insectos como en el caso de la broca del café, son organismos ectotermos, es decir, que no pueden regular su temperatura corporal y dependen de la temperatura ambiente para obtener el calor exponiéndose a la radiación solar (Feliz-Matos et al., 2004); sin embargo, en condiciones extremas de alta temperatura como acontece durante períodos climáticos El Niño (con temperaturas máximas de hasta 29°C para la zona de estudio y humedad relativa del aire por debajo del 70%), la broca puede perder agua por desecación por las altas temperaturas que se encuentran por encima de los umbrales máximos de tolerancia térmica de desarrollo para el insecto, cuando tiene que volar para colonizar nuevos frutos que resultarían perjudiciales para su vida, particularmente crítico para un insecto pequeño de apenas 1,8 mm de longitud.

Para el caso de la broca del café, el umbral de tolerancia térmica de desarrollo está entre 15 y 32°C, con una temperatura óptima de desarrollo a 27°C (Jaramillo et al., 2009; Giraldo et al., 2018). Para evitar las altas temperaturas y la deshidratación, la broca se refugia en los frutos de las ramas bajas y en los frutos del suelo que quedan después de las cosechas. Igualmente los lotes de café con sombrío le ofrecen las condiciones ambientales favorables, como son mayor humedad del suelo y menor temperatura del aire, 4 o 5°C menos a la sombra (Feliz-Matos, 2003; Jaramillo, 2005). Durante el evento El Niño en la zona central cafetera de Colombia, la precipitación anual puede reducirse hasta en un 60% y presentarse déficit hídrico en el suelo. Los estudios de Cenicafé muestran que los cultivos de sombra con guamo (*Inga spp.*) retienen la

humedad del suelo hasta en un 20% más que en un cultivo a libre exposición solar (Farfán y Jaramillo, 2004).

La presencia de adultos de broca durante todo el año, en las dos parcelas experimentales, puede explicarse por las características climáticas de la zona central cafetera colombiana, la cual presenta dos cosechas al año, una de mitaca durante el primer semestre y una principal durante el segundo semestre. Esto inducen floraciones múltiples a través del tiempo, lo que favorece la disponibilidad de frutos en diferentes etapas de desarrollo fisiológico, que garantizan la disponibilidad de alimento y permanencia de la broca durante todo el año en el lote.

Densidad poblacional de la broca del café en frutos del suelo

Los análisis de densidad poblacional de broca en frutos del suelo se presentan en la Figura 2, para los dos sistemas de producción (sol y sombra). Los resultados muestran que la densidad de población de broca en los frutos del suelo es mayor en el lote con sombrío durante los períodos El Niño y Neutro. La mayor cantidad de frutos caídos en el suelo se presenta después de finalizadas las cosechas de mitaca y principal, observándose un incremento en la población de broca un mes posterior a la caída de los frutos, es decir, a mayor cantidad de frutos brocados caídos en el suelo, la densidad poblacional de la broca en esos frutos es mayor ($F=31,2$; $df=3$; $P< 0,0001$) respecto al lote a libre exposición donde la densidad poblacional de broca es menor. Esto se debe a que con el incremento de la temperatura en períodos El Niño, el desarrollo de la broca en los frutos que quedan en el suelo es mayor y más rápido en comparación con temperaturas más bajas. Igualmente, en períodos lluviosos de La Niña, el aumento de la humedad del suelo

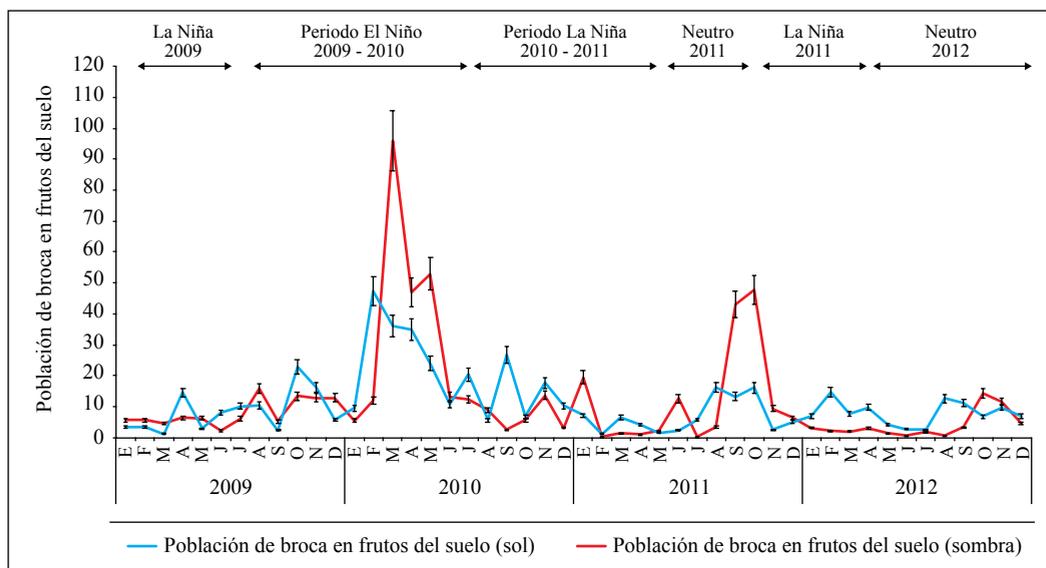
aceleraría los procesos de descomposición y germinación de las almendras que quedan en el suelo, ocasionando mayor mortalidad de estados biológicos de la broca, al no tener alimento para comer, lo cual se refleja en menor emergencia de adultos y en menor infestación y densidad de broca en los frutos del árbol (Constantino, 2010; Constantino et al., 2017). Se ha demostrado bajo condiciones controladas de alta humedad relativa (> 90%) que la broca presenta mayor mortalidad de los estados inmaduros en dieta artificial (Giraldo, 2018).

Porcentaje de infestación por broca del café

Las altas temperaturas, por encima de 21°C, incrementaron significativamente los porcentajes de infestación de la broca del café hasta un 36,4% durante un período El Niño en el lote con sombrío y hasta 18,9% en el lote a libre exposición ($F=32,5$; $df=3$; $P<0,0001$), mientras que a temperaturas bajas por

debajo de 21°C, durante los períodos La Niña, decrecieron los porcentajes de infestación de broca hasta un 2,9% y 2,5%, respectivamente; es decir, en períodos lluviosos no hubo diferencias estadísticas en el porcentaje de infestación entre el lote a libre exposición y el de sombra ($F=15,2$; $df=3$; $P=0,079$), como se presenta en la Figura 3.

La medición del número de frutos brocados caídos en el suelo y la infestación por broca en el árbol se presenta en la Figura 2. En el lote con sombrío, el número de frutos brocados caídos en el plato de un árbol de café osciló entre uno y diez, siendo mayor durante los picos de cosecha principal y al final de la cosecha de mitaca. Así se tiene que, un fruto brocado en promedio en el suelo incrementó hasta un 4,3% el porcentaje de infestación en el árbol durante el mes de febrero, en un período La Niña en el año 2009, mientras que tres frutos brocados incrementaron hasta un 36,4% el nivel de infestación en el árbol,



en el mismo mes, durante el período El Niño de 2010 (Figura 3).

Al año siguiente, en el mismo mes, el nivel de infestación de broca bajó hasta un 2,9% como consecuencia de las precipitaciones que se presentaron durante el período climático La Niña 2010. En el lote a libre exposición, un solo fruto brocado en el suelo incrementó hasta 2,3% el nivel de infestación en el árbol, durante el período climático La Niña 2009, y 3,6 frutos brocados incrementaron hasta un 18,9% el nivel de infestación en el árbol en el mes de marzo, durante el periodo climático El Niño 2010; al año siguiente, en el mismo mes, la infestación por broca bajó a 7,1%. En el mes de septiembre de 2011, como consecuencia de un verano corto de dos meses que se presentó en julio y en agosto durante un período Neutro, se propició el desarrollo de la broca en los frutos que quedaron en el árbol y en el suelo, mientras que con las primeras lluvias de septiembre se propició

la emergencia de gran número de adultos de broca, que incrementaron los niveles de infestación en el árbol hasta en un 36% en el lote con sombrío; sin embargo, el nivel de infestación en el lote a libre exposición solo se incrementó en un 8,8% (Figura 3).

Estos resultados muestran el efecto que tiene el clima en el desarrollo y reproducción de la broca en los frutos remanentes de café que se quedan después de la cosechas en los cultivos. Igualmente, se observa el efecto que tienen los frutos de café infestados por broca que se caen al suelo y que sirven de reservorio y refugio al insecto para reinfestaciones posteriores en el árbol, ya que continúa su desarrollo durante 140 días, produciendo nuevas generaciones de brocas que emergen de los frutos para iniciar nuevos ataques de frutos sanos del árbol o del suelo.

Los frutos brocados caídos son los que generan mayor impacto en la infestación en

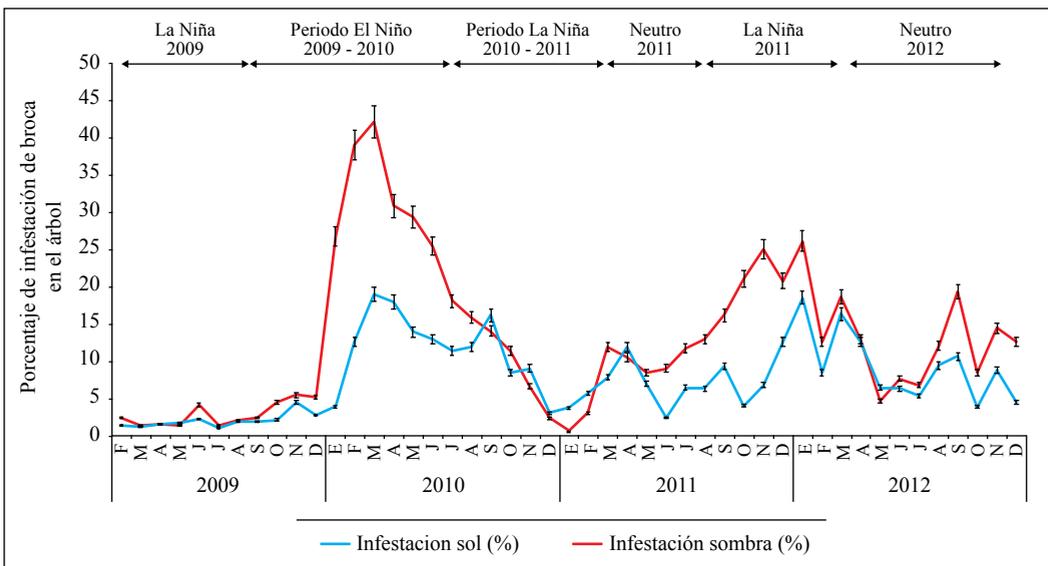


Figura 3. Porcentaje de infestación de broca en frutos del árbol en dos sistemas de producción de café, a través del tiempo bajo tres condiciones climáticas.

el árbol y son el principal problema en el manejo de esta plaga. Desempeñan un papel importante en la dinámica de reinfestación en el árbol, por consiguiente, el repase y la recolección oportuna de estos frutos después de finalizada la cosecha principal son fundamentales para mantener las poblaciones de broca por debajo del nivel de daño económico (<5%) en la cosecha siguiente (Constantino et al., 2017).

Monitoreo de los vuelos y capturas de broca del café con trampas de alcohol

El registro mensual del número de capturas de broca con trampas de alcohol en el lote con sombrío estuvo relacionado con el tamaño poblacional de la broca del café en el lote; es decir, a mayor densidad poblacional del insecto, mayor fue el número de vuelos y capturas de este escarabajo escolítido, a excepción del mes de noviembre de 2009, que correspondió a los vuelos de broca procedentes de un lote zoqueado cerca del lote experimental, el cual generó alta colonización de esta plaga.

El pico más importante de vuelos de broca durante el período El Niño se registró en el año 2010, relacionado con altas temperaturas de hasta 23,1 y 22,8°C, en los meses de febrero y marzo, respectivamente, que incrementaron el tamaño poblacional del insecto. Las capturas promedio oscilaron entre 18.356 y 23.645 adultos para estos dos meses. En períodos La Niña, por el contrario, los vuelos de broca fueron más bajos como consecuencia de las bajas temperaturas, las lluvias excesivas y la alta humedad del suelo que actúan como un factor de mortalidad natural, debido a que aceleran los procesos de descomposición que regulan las poblaciones del insecto al interior de dichos frutos del suelo. Durante el período La Niña de 2011 las capturas en febrero y marzo fueron de 1.118 y 2.034 adultos; es

decir, hubo una disminución del número de capturas del 93,9% y 91,3% con respecto a un período El Niño en los mismos meses (Figura 4).

Las trampas de embudos múltiples, cebadas con metanol:etanol, son útiles para monitorear las épocas de vuelo de la broca y para determinar el momento oportuno en que empiezan a emerger los adultos para colonizar nuevos frutos en el lote. Estos resultados del incremento de las infestaciones en el campo están relacionados con las capturas de adultos de la broca del café, tal como lo indican Mathieu et al. (1999). Aunque las trampas no sirven para el control de la broca del café, porque solo capturan un 10% de la población total de broca en el lote, debido a que su radio de acción es limitado (10 m aproximadamente), podrían dar una idea aproximada de la densidad poblacional del insecto en el lote en un momento determinado (Posada et al., 2003; Benavides et al., 2013). La broca responde a los estímulos del olfato y es atraída hacia los volátiles que se producen durante el proceso de maduración de los frutos de café (Ortiz et al., 2004), principalmente alcoholes, por eso las trampas sirven para monitorear y conocer las épocas de vuelo de la broca, por tal razón solo se hizo el monitoreo con trampas en el lote con sombrío, cercano al lote a libre exposición solar.

Lo anterior se corrobora con la construcción de un estimador de razón, el cual representa el número medio de unidades de Y por cada unidad de X, es decir, al estimar la proporción del promedio de brocas en el árbol (Y) respecto al total de brocas capturadas en las trampas ubicadas en el lote (X), se obtuvo un intervalo para la razón entre 0,074 y 0,106 con un coeficiente de confianza del 95%. Esto significa que, por cada 100 brocas capturadas en trampas, se esperan aproximadamente nueve brocas por árbol. En la Figura 5 se muestra que la relación

entre ambas variables, tienen una asociación lineal ($r=0,8892$; $p<0,0001$), lo cual permitió generar el estimador.

Efecto de los factores climáticos en la densidad poblacional de la broca del café

La dinámica de la densidad de población de la broca del café en el presente estudio estuvo influenciada por los factores climáticos El Niño y La Niña, en particular con las variables de temperatura, humedad relativa y precipitación, en el cual las temperaturas medias mensuales registraron valores de 2,0°C por encima del promedio histórico mensual en períodos El Niño y entre 1,0 y 2,0°C por debajo del promedio histórico mensual en períodos La Niña, con base en los registros climáticos proporcionados por la disciplina de Agroclimatología de Cenicafé, en la Estación Experimental Naranjal. El año 2010 se caracterizó por presentar los mayores niveles de precipitación de lluvias en toda la historia. La variabilidad climática estuvo asociada a tres períodos diferentes: un evento La Niña comprendido desde enero hasta junio de 2009, El Niño desde julio de 2009

hasta junio de 2010, seguido por un período La Niña intenso desde julio de 2010 hasta junio de 2011, finalizando con un tiempo Neutro con meses secos (julio-agosto) y un periodo La Niña moderado, que inició en el mes de septiembre de 2011. La densidad de población y los niveles de infestación más altos de broca en el árbol, para el lote con sombrío, se presentaron en los meses de enero, febrero y marzo de 2010, que coincidieron con los meses más calurosos en el período El Niño (con temperaturas medias de 22,1°C, 23,1°C y 22,8°C, respectivamente), esto es un incremento de 2,0°C en la temperatura media en comparación con un período La Niña. La temperatura máxima registrada para los mismos meses fue de 29,5°C, 29,3°C y 28,9°C (Figura 6).

En estos tres meses con altas temperaturas a causa del fenómeno climático El Niño, el desarrollo de la broca fue mayor con altas densidades poblacionales de hasta 2.233, 2.674 y 2.310 brocas por árbol en el lote con sombrío y de 609, 1.326 y 1.187 brocas en el lote a libre exposición. Con

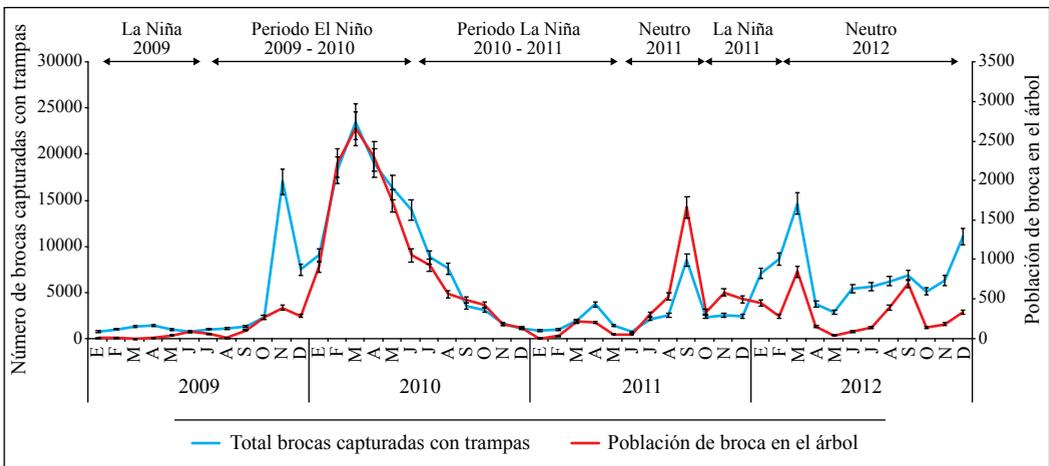


Figura 4. Registro mensual del número de capturas de broca con trampas de alcohol en el lote con sombrío, con relación al tamaño poblacional de la broca del café en el lote.

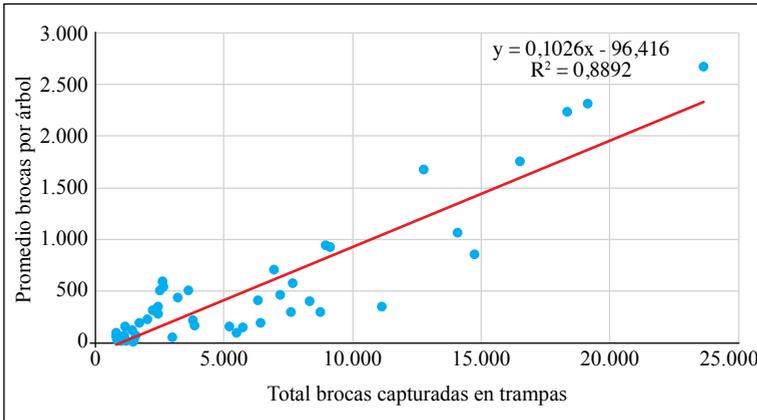


Figura 5. Número de brocas del café capturadas con trampas de alcohol y su relación con la densidad poblacional en el lote.

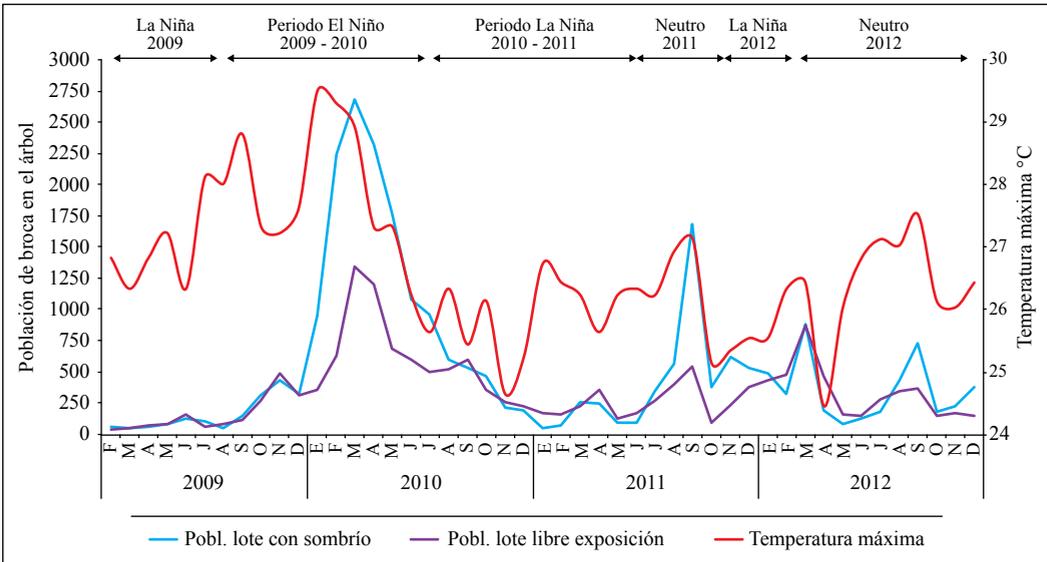


Figura 6. Registros de la temperatura máxima y la dinámica poblacional de la broca del café, en dos sistemas de producción a través del tiempo, bajo tres condiciones climáticas.

altas temperaturas, el desarrollo generacional del insecto se acelera, lo cual produce altas densidades de la población del insecto en corto tiempo. Las lluvias intermitentes y pequeñas que se produjeron durante estos períodos secos, estimularon la emergencia de las brocas que quedaron en los frutos del suelo de la cosecha principal del 2009, las cuales colonizaron y afectaron los frutos de

la cosecha de mitaca. Una vez la temperatura disminuyó en los meses de abril, mayo y junio, la población de broca también decreció (Figura 7). La temperatura máxima alcanzada durante el período El Niño 2009 y 2010 ha sido la más alta de los últimos 10 años, con temperaturas máximas de hasta 29,5°C, lo cual favoreció el desarrollo y crecimiento poblacional de la broca del café (Figura 6).

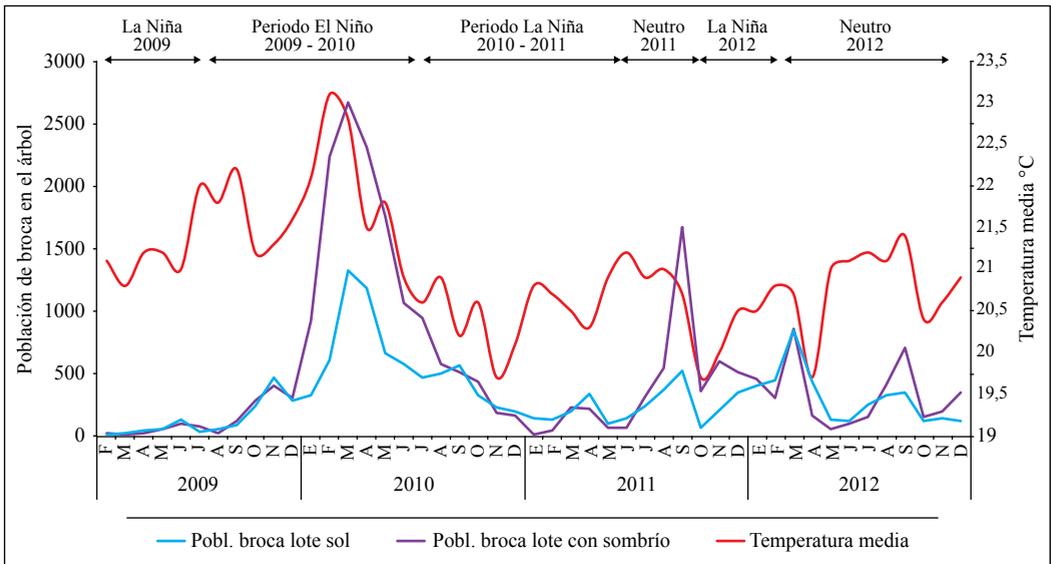


Figura 7. Registros de la temperatura media y la dinámica poblacional de la broca del café, en dos sistemas de producción a través del tiempo, bajo tres condiciones climáticas.

La condición climática La Niña, caracterizada con un incremento de las lluvias, tuvo un efecto sobre la densidad poblacional de la broca y el comportamiento de vuelo de los adultos. Las mayores poblaciones de broca se relacionaron con precipitaciones mensuales de menos de 200 mm, durante eventos El Niño con mayores temperaturas (Figura 8) y la llegada de las lluvias después de un período seco de dos meses estimuló los vuelos de broca.

La mayor actividad de vuelos de broca y la mayor infestación se presentaron en los períodos secos con mayor brillo solar. La broca del café es un organismo ectotermo y depende de la temperatura y la radiación solar para volar, en este caso existe una relación directa entre el brillo solar y las altas temperaturas producto de los períodos secos, donde la nubosidad es baja, con mayor cantidad de horas sol/día (Figura 9).

La mayoría de los insectos tienen una tasa de desarrollo gobernada principalmente por las temperaturas ambientales. Esto se mide por tiempo fisiológico, expresado en grados día, más que por tiempo calendario. Toda especie de insecto presenta una temperatura base o umbral inferior, bajo la cual no sigue desarrollándose. Así mismo, se da una temperatura base o umbral superior sobre la cual el desarrollo se frena. Para el caso de la broca del café se ha estimado en 16,6°C la temperatura base inferior y en 32°C la temperatura base superior (Ruiz, 1996; Jaramillo et al., 2011). Este rango térmico óptimo de temperatura tan amplio para la broca del café indica que este insecto puede adaptarse bien en todo el rango altitudinal favorable para el cultivo de café en Colombia. En los períodos de permanencia del fenómeno El Niño, las temperaturas medias mensuales, en la mayor parte de la zona Andina del país, registran aumentos entre 1,0 y 2,0°C por encima de los promedios históricos.

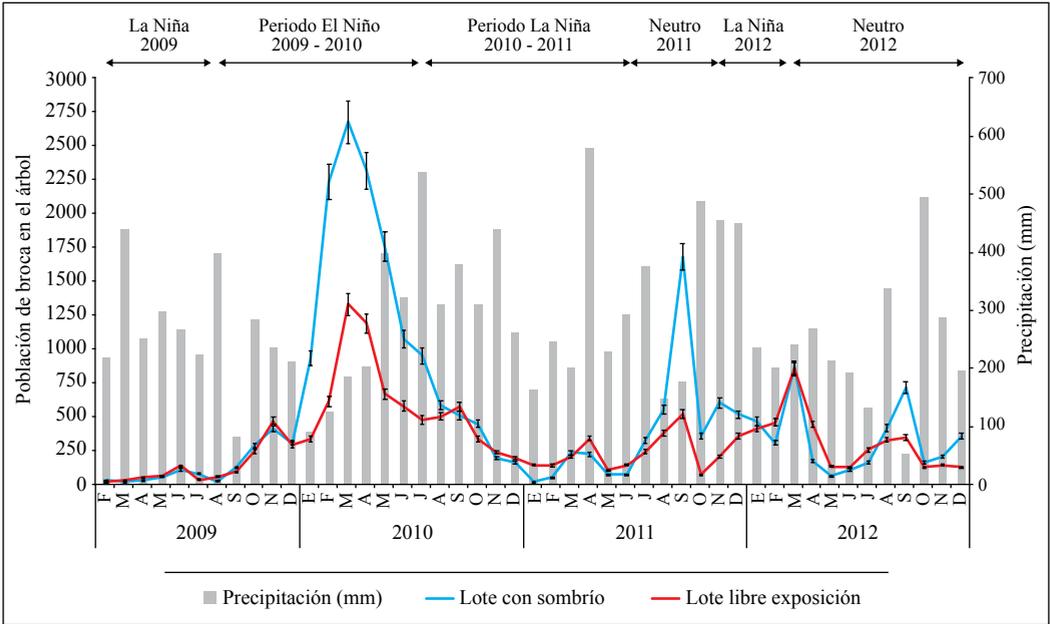


Figura 8. Registros de precipitación en (mm) con relación a la densidad poblacional de broca del café, en dos sistemas de producción a través del tiempo.

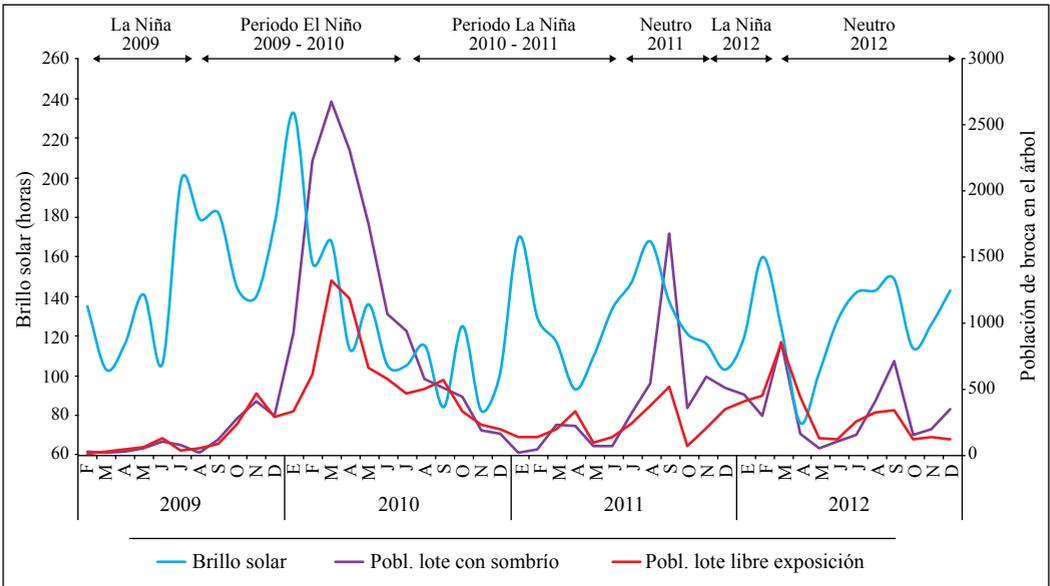


Figura 9. Registro del brillo solar y la dinámica poblacional de la broca en dos sistemas de producción de café.

El uso de grados días es una herramienta eficaz como modelo de predicción en la prevención de plagas y se ha aplicado en el campo para varias especies de insectos plaga, como la polilla de la manzana *Cydia pomonella* Linnaeus (Lepidoptera: Tortricidae), la polilla oriental de la fruta *Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae), la polilla del racimo de la uva *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera: Tortricidae), la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae), entre muchos otros (Estay, 2009). Hay varios métodos disponibles para la estimación de los grados día a temperaturas variables o de campo, a partir de las temperaturas extremas diarias (máximas y mínimas) y se basan en la relación lineal entre la temperatura y la tasa de desarrollo. El número de días que puede demorar en incubar un huevo, eclosionar una larva o emerger un adulto se obtiene mediante la acumulación de grados día, la cual se calcula restando a la temperatura media del día el valor de la temperatura del umbral inferior de la especie (Estay, 2009). Para el caso de la broca del café se tomó como referencia el estudio de Vargas (2006) realizado en el campo en la Estación Experimental Naranjal, a 1.381 m, donde determinó la constante térmica de desarrollo del insecto con una temperatura media de 21,4°C donde obtuvo un acumulado de 265°D y un ciclo de vida de 36 días de duración.

En el análisis realizado con los datos experimentales de la parcela de Variedad Castillo® orgánico las curvas de vuelo y desarrollo de la broca muestran una relación entre los grados-día calculados con un total de 262°D acumulados y la mayor población de broca capturada (23.645 adultos) con densidades de 2.674 brocas/árbol durante un período El Niño, en contraste con un período La Niña con 814 capturas y una densidad de 65,6 brocas

/árbol, en el lote con sombrío con un total de 182°D acumulados.

Colonización y dispersión de la broca del café en los lotes experimentales

De acuerdo con los mapas de dispersión de la broca y la relación lineal entre la varianza y la media, para la variable porcentaje de frutos perforados por broca en cada lote, la dispersión del insecto se dio de manera agregada en los primeros seis meses del estudio, según la ley de poder de Taylor, mediante transformación de los datos el coeficiente de regresión lineal (β) fue mayor que 1, según el estadístico de prueba t, al 5%.

Los mapas de cada parcela experimental muestran que el insecto coloniza primero los bordes de cada parcela, favorecida por las corrientes de aire. Una vez se establece la broca en el lote, de los árboles infestados se empieza a dispersar de árbol en árbol, formando pequeñas agregaciones en los bordes, para luego empezar a desplazarse gradualmente, formando agregaciones en el interior del lote durante los primeros cuatro meses. Después de la cuarta evaluación, los frutos perforados se distribuyeron en toda la superficie de la parcela, con ciertas áreas presentando agregaciones hasta finalmente colonizar más del 80% del lote (Figura 10).

Para el manejo de la broca del café es necesario entender los modelos de dispersión del insecto, mirar la dinámica poblacional en su desarrollo en el tiempo y en el espacio, el cual está determinado por los factores que actúan en el organismo, en la población y en el medio ambiente. Estos factores incluyen: 1) la dinámica de dispersión o sea los movimientos dentro de la población y la migración; 2) la dinámica de densidad, entendida como la oscilación en la concentración de los individuos de

una población en el área; 3) la dinámica del crecimiento poblacional, es decir, la tasa de crecimiento o aumento de la población en el tiempo, descontando la mortalidad (Rabinovich, 1980; Southwood, 1978).

Los resultados de este estudio mostraron mayor densidad poblacional de la broca en cultivos de café con sombrero durante períodos climáticos El Niño y Neutro, casi el doble de lo obtenido en el lote a libre exposición solar. En contraste, con períodos climáticos La Niña, la broca del café no mostró diferencias significativas entre los dos sistemas de producción. Esto se debió al exceso de humedad en el suelo y a la descomposición rápida de los frutos sobremaduros y secos

en el árbol y en el suelo, que causan alta mortalidad de los estados biológicos de la broca. Es importante tener en cuenta que, aunque la broca es un insecto adaptado a las condiciones de sombra, según Bustillo (2006), no necesariamente es más abundante en estos ecosistemas, considerando que la producción de café bajo sombra es menor que a libre exposición solar. Además, a plena exposición solar el auto sombrero y la alta producción de las variedades comerciales a altas densidades de siembra, favorece el ataque por broca.

La dispersión de la broca del café se dio de manera agregada en los primeros seis meses del estudio según la ley de poder de Taylor y el estadístico de prueba t, al 5%.

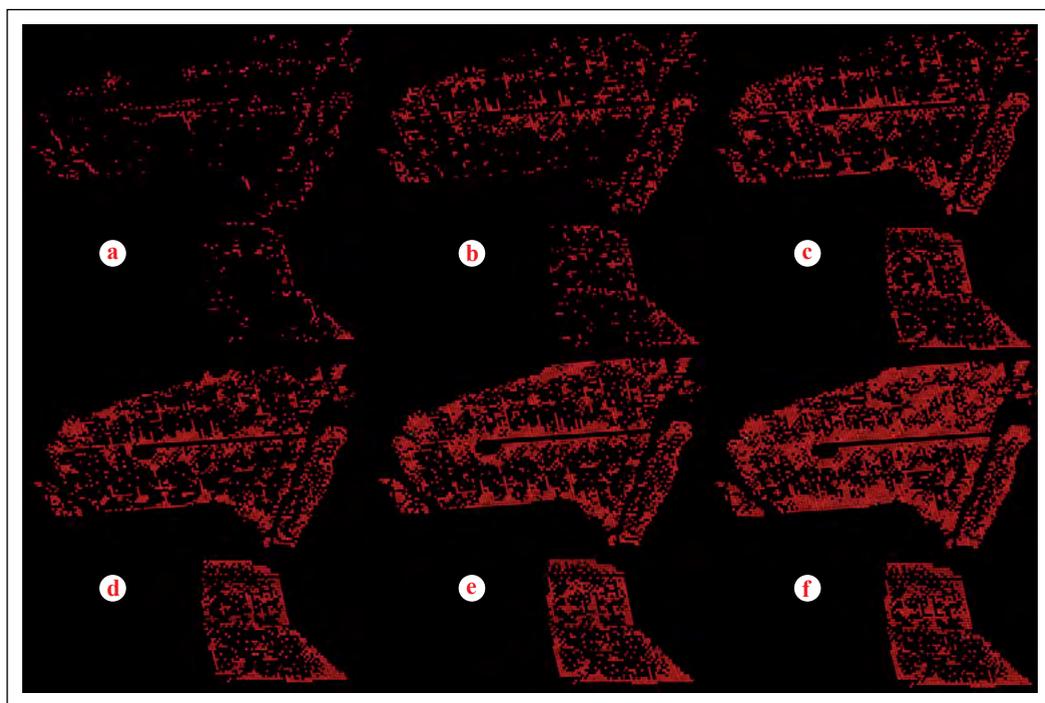


Figura 10. Colonización y dispersión natural de la broca del café durante seis meses consecutivos. A. enero. B. febrero. C. marzo. D. abril. E. mayo. F. junio. La dispersión se inicia desde los bordes del lote y los caminos hacia el interior de la parcela de forma agregada.

El aumento poblacional de la broca del café en este estudio y para esta localidad estuvo relacionado con el evento climático El Niño caracterizado por temperaturas altas (> 21°C), baja humedad del suelo (< 30%), baja precipitación (< 200 mm), déficit hídrico de al menos dos meses continuos, alto brillo solar (230 h/mes) y un requerimiento de 260°C-día acumulados, comprobado con el conteo del número de estados biológicos de la broca dentro de los frutos de café infestados, el número de frutos brocados por rama y el número de ramas productivas por árbol.

Las capturas de adultos de broca en trampas de alcohol estuvieron fuertemente influenciadas por los fenómenos climáticos El Niño, con vuelos masivos posteriores a un aguacero fuerte después de un período seco prolongado de dos meses, con el mayor número de capturas (23.600 brocas) en el mes de abril, y muchas de esas capturas coincidieron en épocas donde

el número de frutos por árbol fue bajo en época de travesía.

Los resultados de este estudio mostraron que la broca del café es sensible a los cambios de temperatura ambiente y baja humedad, viéndose favorecida por temperaturas altas y por periodos prolongados de déficit hídrico durante periodos climáticos El Niño, aumentando su tasa de desarrollo en los frutos remanentes que quedan en el suelo y en el árbol después de las cosechas, lo que conlleva a mayores niveles de infestación y daño en los frutos de café de la siguiente cosecha.

Por consiguiente, los estudios de dinámica poblacional de una plaga en condiciones de campo son importantes para obtener la información necesaria acerca de los efectos del clima sobre el desarrollo de una especie clave o primaria como es el caso de la broca del café, para poder establecer sus riesgos, los métodos y el momento oportuno de su control.

LITERATURA CITADA

- Agegnehu, E., Thakur, A., & Mulalem, T. (2015). Potential Impact of Climate Change on Dynamics of Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in Ethiopia. *Open Access Library Journal*, 2(1), Article e1127. <https://doi.org/10.4236/oalib.1101127>
- Armbrecht, I., & Perfecto, I. (2001). Diversidad de artrópodos en los agroecosistemas cafeteros. *Revista Protección Vegetal*, 12 (2), 11–16.
- Atallah, S. S., Gómez, M. I., & Jaramillo, J. (2018). A Bioeconomic Model of Ecosystem Services Provision: Coffee Berry Borer and Shade-grown Coffee in Colombia. *Ecological Economics*, 144, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.002>
- Altieri, M. A., & Letourneau, D. K. (1982). Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1(4), 405–430. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(82\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0261-2194(82)90023-0)
- Arcila, J., Jaramillo, A., Baldión, V., & Bustillo, A. E. (1993). La floración del café y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 193, 1–6. <http://hdl.handle.net/10778/1044>
- Baker, P. S. (1984). Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera: Scolytidae). *Folia Entomológica Mexicana*, 61, 9–24.
- Baker, P. S. (1986, julio 21-26). Biología, ecología y hábitos de la broca. En N. Urbina (Ed.), *II Curso Regional sobre manejo integrado de plagas del café con énfasis en broca del fruto*. San Pedro Sula, Honduras. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8541e/A8541e.pdf>
- Baker, P. S., Ley, C., Balbuena, R., & Barrera, J. F. (1992). Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries.

- Bulletin of Entomological Research*, 82(2), 145–150. <https://doi.org/10.1017/S000748530005166X>
- Bergamin, J. (1944). Sombreamiento e broca. *Revista do Departamento Nacional do Café*, 12(138), 1009–1014.
- Benavides Machado, P., Gil Palacio, Z. N., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo Jaramillo, M. (2013). Plagas del café. Broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y monalónion. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215–260). Cenicafe.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1997). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38(1-3), 139–164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- Borbón-Martínez, O. (1991). *La broca del fruto del café Hypothenemus hampei*, (Ferrari, 1867). Instituto del Café de Costa Rica.
- Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Villalba, D. A., Benavides Machado, P., Orozco, J., Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/848>
- Bustillo, A. E. (2002). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe*, 24, 1–40. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Bustillo, A. E. (2006). Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 32(2), 101–116.
- Bustillo, A. E. (2008). Aspectos sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* en Colombia En A. E. Bustillo (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 388–418). Cenicafe.
- Cárdenas, R. (1988). *La broca del café Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867). *Agronomía*, 2(2), 08–11.
- Cárdenas, R. (2000, octubre, 2-6). Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café. *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). *XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura*. San José, Costa Rica.
- Castaño, A., Benavides Machado, P., & Baker, P. S. (2005). Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Revista Cenicafe*, 56(2), 142–150. <http://hdl.handle.net/10778/147>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). *Anuario meteorológico cafetero 2018*. Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/660>
- Chinguel, D. (2017). *Efecto de la sombra y variedad de café en la incidencia de la broca Hypothenemus hampei (Ferrari), en el distrito de Omía, Rodríguez de Mendoza – Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1484>
- Constantino, L. M. (2010). La broca del café, un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. *Brocarta*, 39, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc039.pdf>
- Constantino, L. M., Gil, Z., Jaramillo, A., Benavides, P., & Bustillo, A. (2011, julio 27–29). Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en la zona cafetera de Colombia. 38° Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Manizales, Colombia.
- Constantino, L. M., Oliveros, C., Benavides, P., Serna, C. A., Ramírez, C. A., Medina, R. & Arcila, A. (2017). Dispositivo recolector de frutos de café del suelo para el manejo integrado de la broca. *Revista Cenicafe*, 68(1), 22–37. <http://hdl.handle.net/10778/813>
- Decazy, B. (1990). Descripción, biología, ecología y control de la broca del fruto del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). En Federación Nacional de Cafeteros & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *50 años de Cenicafe 1938-1988. Conferencias conmemorativas* (pp. 133–139). Cenicafe.
- Estay, P. (2009). *Uso de grados día, eficaz herramienta en la prevención de plagas*. INIA.
- Esques, A. B. (1982). The effect of flight intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 88(5), 191–202. <https://doi.org/10.1007/BF02140882>
- Farfán, F., & Jaramillo, A. (2004). Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en sistemas agroforestales con café. *Revista Cenicafe*, 59(1), 39–54. <http://hdl.handle.net/10778/162>
- Feliz-Matos, D. A. (2003). *Incidencia de la broca (Hypothenemus hampei Ferrari, 1867) y sus controladores naturales en plantas de café bajo diferentes tipos de sombra en San Marcos, Nicaragua*.

[Tesis de Maestría, CATIE]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0307e/A0307e.pdf>

- Feliz-Matos, D. A., Guharay, F., & Beer, J. (2004). Incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*) en plantas de café a pleno sol y bajo sombra de *Eugenia jambos* y *Gliricidia sepium* en San Marcos, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 41, 56–61. <http://hdl.handle.net/11554/6380>
- Giraldo, M. (2018). Efecto de la humedad relativa sobre la duración y sobrevivencia de *Hypothenemus hampei* en dieta artificial Cenibroca. *Revista Cenicafé*, 69(1), 32–39. <http://hdl.handle.net/10778/1090>
- Giraldo, M., García, A., & Parra, J.R. (2018). Biology, thermal requirements, and estimation of the number of generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the state of São Paulo, Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 111(5), 2192–2200. <https://doi.org/10.1093/jee/toy162>
- Giraldo, A., Véliz, C., Arellano, G., & Sánchez, E. (2002). El uso de la Ley de Taylor en el establecimiento de patrones de variación espacio-temporal en poblaciones animales: dos ejemplos de aplicación. *Ecología Aplicada*, 1(1), 71–74. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v1i1-2.232>
- Jaramillo, A. (2005). La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica*). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 29(112), 371–382. http://www.accefyn.com/revista/Vol_29/112/112_371_382.pdf
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/859>
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F. E., Poehling, H.-M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *PLoS ONE*, 4(8), e6487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- Jaramillo, J., Chabi-olay, A., & Borgemeister, C. (2010). Temperature-Dependent Development and Emergence Pattern of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) From Coffee Berries. *Journal of Economic Entomology*, 103(4), 1159–1165. <https://doi.org/10.1603/EC09408>
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F. E., Davis, A., Borgemeister, C., & Chabi-Olaye, A. (2011). Some Like It Hot: The Influence and Implications of Climate Change on Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) and Coffee Production in East Africa. *PLoS ONE*, 6(9), e24528. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024528>
- Jaramillo, J., Setamou, M., Muchugu, E., Chabi-Olaye, A., Jaramillo, A., Mukabana, J., Maina, J., Gathara, S., & Borgemeister, C. (2013). Climate Change or Urbanization? Impacts on a Traditional Coffee Production System in East Africa over the Last 80 Years. *PLoS ONE*, 8(1), e51815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051815>
- Johnson, M. D., Kellermann, J. L., & Stercho, A. M. (2010). Pest reduction services by birds in shade and sun coffee in Jamaica. *Animal Conservation*, 13(2), 140–147. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2009.00310.x>
- Julca, A., Carhuallanqui, R., Julca, N., Bello, S., Crespo, R., Echevarria, C., & Borjas, R. (2016). *Efecto de la sombra y la fertilización sobre las principales plagas del café var. "Catimor" en Villa Rica, Pasco, Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/EfectoFencafe.pdf>
- Mariño, Y. A., Pérez, M., Gallardo, F., Trifilio, M., Cruz, M., & Bayman, P. (2016). Sun vs. Shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.031>
- Mathieu, F., Brun, L.O., Frerot, B., Suckling, M., & Frampton, C. (1999). Progression in field infestation is linked with trapping of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 123(9), 535–540. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.1999.00400.x>
- Mendesil, E., Jember, B., & Seyoum, E. (2004). Population dynamics and distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) on *Coffea arabica* L. in Southwestern Ethiopia. *SINET: Ethiopian Journal of Science*, 27(2), 127–134. <https://doi.org/10.4314/sinet.v27i2.18240>
- Ortiz, A., Ortiz, A., Vega, F. E., & Posada, F. (2004). Volatile Composition of Coffee Berries at Different Stages of Ripeness and Their Possible Attraction to the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(19), 5914–5918. <https://doi.org/10.1021/jf049537c>
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (1996). Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity: Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598–608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Mas, A., & Pinto, L. S. (2005). Biodiversity, yield, and shade coffee certification.

- Ecological Economics*, 54(4), 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2004.10.009>
- Posada, F. J., Bustillo, A. E., & Jiménez, M. (2003). Seguimiento y captura de brocas usando trampas en cafetales. *Cenicafé. Brocarta*, 35, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc035.pdf>
- Rabinovich, J. (1980). *Introducción a la ecología de poblaciones animales*. Editorial continental.
- Ramírez, V. H., Gaitán, A., Benavides, P., Constantino, L. M., Gil, Z. N., Sadeghian, S., & González, H. (2014). Recomendaciones para la reducción del riesgo en la caficultura de Colombia ante un evento climático de El Niño. *Avances Técnicos Cenicafé*, 445, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/475>
- Ramírez, C., Daza, J., & Peña, A. (2015). Tendencia anual de los grados día café y los grados día broca en la región andina ecuatorial de Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 51–63. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:379
- Ruiz, R. (1996). *Efecto de la fenología del fruto del café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café; Hypothenemus hampei (Ferrari)*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Caldas].
- SAS Institute. (2014). *SAS® OnDemand for Academics: User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Soto, L., Perfecto, I., & Caballero-Nieto, J. (2002). Shade over coffee: Its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 55(1), 37–45. <https://doi.org/10.1023/A:1020266709570>
- Southwood, T. R. (1978). *Ecological Methods: With Particular Reference to the Study of Insect Populations* (2a ed.). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1225-0>
- Teodoro, A., Klein, A.-M., & Tschardt, T. (2008). Environmentally mediated coffee pest densities in relation to agroforestry management, using hierarchical partitioning analyses. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 125(1), 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.12.004>
- Taylor, L. R. (1984). Assessing and Interpreting the Spatial Distributions of Insect Populations. *Annual Review of Entomology*, 29(1), 321–357. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.29.010184.001541>
- Vargas, B. I. (2006). *Evaluación de germoplasma de café etíope (Coffea arabica) por resistencia a Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en campo en condiciones controladas*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Alvarado, V. (2018). Distribución espacial de *Hypothenemus hampei* Ferrari en agroecosistemas cafetaleros de la selva central del Perú. *Bosques Latitud Cero*, 8(1), 57–69. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/413>
- Wrigley, G. (1988). *Coffee*. Longman Scientific and Technical.
- Ziska, L. H., Bradley, B. A., Wallace, R. D., Barger, C. T., LaForest, J. H., Choudhury, R. A., Garrett, K. A., & Vega, F. E. (2018). Climate Change, Carbon Dioxide, and Pest Biology, Managing the Future: Coffee as a Case Study. *Agronomy*, 8(8), 152. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080152>