

Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis

Review on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), with emphasis on resistance by antibiosis and antixenosis

 DIANA MOLINA ^{1*}

¹ Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Manizales, Colombia. Diana.molina@cafedecolombia.com

* Autor de correspondencia

Diana Molina, Cenicafé, Plan Alto Km. 4 – vía antigua a Manizales, Manizales, Caldas, Colombia.

Citación sugerida

MOLINA, D. 2022. Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. Revista Colombiana de Entomología 48 (2): e11172. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11172>

Recibido: 19-Abr-2021

Aceptado: 20-May-2022

Publicado: 19-Sep-2022

Revista Colombiana de Entomología

ISSN (Print): 0120-0488

ISSN (On Line): 2665-4385

<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

Open access



BY-NC-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)

<https://www.socolen.org.co>

Universidad del Valle (Cali, Colombia)

<https://www.univalle.edu.co>

© 2021 Sociedad Colombiana de Entomología -
SOCOLEN y Universidad del Valle - Univalle

Resumen: El control genético como método de control que puede combinarse con otros métodos, ha sido poco estudiado como alternativa económicamente viable y de fácil adopción en el caso de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), plaga que ocasiona las mayores pérdidas económicas al cultivo de café en Colombia. Los esfuerzos por reducir estas pérdidas económicas se han enfocado principalmente en el manejo integrado de la plaga a través de prácticas culturales, químicas y biológicas, que han logrado mantener su infestación por debajo del 5% que representa alrededor del 7% de los costos de producción del café. El empleo de variedades resistentes aumenta la eficiencia del manejo integrado debido a que permite reducir el número de individuos por generación y prolonga su periodo de desarrollo. Esto disminuye el crecimiento de la población y mantiene los insectos por debajo de los niveles de daño económico. Esta revisión presenta información del origen de la broca del café, su dispersión, biología y ciclo de vida, y las pérdidas económicas ocasionadas por la plaga. Se hizo énfasis en los estudios de resistencia de la planta de café contra la broca mediante antibiosis y antixenosis. En el caso de antibiosis, se recopiló la identificación de las fuentes de resistencia del género *Coffea*, así como la utilización de introducciones etíopes de *Coffea arabica* y de accesiones de *C. liberica* de la Colección Colombiana de Café (CCC) como progenitores masculinos para el desarrollo de una variedad con efecto de antibiosis contra la broca. En el caso de antixenosis, se compilaron los estudios pertinentes realizados en especies y variedades de café respecto a *H. hampei*.

Palabras clave: broca del café, *Coffea arabica*, *Coffea liberica*, control genético, mejoramiento de café, variedades de café resistentes.

Abstract: Genetic control as a control method that can be combined with other methods, has been little studied as an economically viable and easy-to-adopt alternative in the case of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), the pest that causes the greatest economic losses to coffee crop in Colombia. Efforts to reduce these economic losses have been mainly focused on the integrated pest management of the pest through cultural, chemical, and biological practices, which have managed to maintain its infestation below 5%, which represents around 7% of coffee production costs. Genetic control can be successfully combined with the other control methods currently being used. The use of resistant varieties increases the efficiency of integrated pest management because it reduces the number of individuals per generation and prolongs their development period. This reduces population growth and keeps insects below economic injury levels. This review presents information on the origin of the coffee berry borer, its dispersal, biology and life cycle, and the economic losses caused by this pest. Emphasis was placed on studies of coffee plant resistance to CBB through antibiosis and antixenosis. In the case of antibiosis, the identification of sources of resistance in the genus *Coffea* is compiled, as well as the use of Ethiopian introductions of *Coffea arabica* and accessions of *C. liberica* from the Colombian Coffee Collection (CCC) as male progenitors for the development of a coffee variety with antibiosis effect against the CBB. In the case of antixenosis, the relevant studies carried out on coffee species and varieties with respect to *H. hampei* are compiled.

Keywords: *Coffea arabica*, *Coffea liberica*, coffee berry borer, coffee plant breeding, coffee resistant varieties, genetic control.

Introducción

El café es una de las materias primas más comercializada en el mundo; se cultiva en 11 millones de hectáreas en 82 países en desarrollo (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2022). Aunque, en el género *Coffea* se han identificado 130 especies (Davis y Rakotonasolo 2021), únicamente se comercializan *Coffea arabica* L., representando el 70% de la producción global y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, el 30% restante. En Colombia, solo se cultiva la especie *C. arabica*, y su importancia para la economía radica en que este cultivo ocupa la mayor área sembrada del país, 837.341 ha, con un valor de la cosecha en 2021 de \$10.768.530 (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2022).

C. arabica, además, de poseer excelentes características agronómicas, es susceptible a la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Cortina *et al.* 2013). Esta plaga ocasiona las mayores pérdidas económicas al cultivo de café en el mundo, debido a que la hembra se alimenta del endospermo y se reproduce en el interior del fruto, provocando su daño total (Ticheler 1961), y en muchos casos la caída prematura de las cerezas (Bustillo *et al.* 1998; Infante *et al.* 2009). Adicionalmente, los frutos brocados que alcanzan su maduración disminuyen el peso del café pergamino en 18% (Bustillo 2006) y reducen la calidad organoléptica de la bebida (Puerta 2015). Sin un manejo del insecto habría al menos 25% de granos dañados, lo cual equivale a una pérdida de US\$180 millones anuales en Colombia (Duque y Baker 2003).

Para reducir estas pérdidas, en Colombia se ha diseñado un programa de Manejo Integrado de la Broca del café (MIB), constituido por el control cultural, biológico y químico. El primero consiste en la recolección manual de frutos maduros y sobre maduros en el árbol y en el suelo, actividad denominada 'Re-Re' para 'Recolección' y 'Repase', después de la cosecha y entre cosechas (Federación Nacional de Cafeteros 2004). Una investigación participativa con pequeños caficultores demostró que el control cultural es la práctica más eficiente para el control de la broca dentro del MIB, adoptada por el 98% de los caficultores (Aristizábal *et al.* 2002). Dicha información fue confirmada por Cure *et al.* (2020), siendo el método más eficiente y económicamente viable para reducir la infestación de este coleóptero en Colombia.

El segundo método de control, basado en la aplicación de hongos entomopatógenos y la liberación de parasitoides, ha mostrado que los niveles de control de la broca con *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin varían desde 20% hasta 75%, debido a que la eficiencia de este hongo en campo depende de la concentración, virulencia y cepa, así como de las condiciones del clima junto con la eficacia de la aplicación (Benavides *et al.* 2012); con una inversión que corresponde alrededor del 2,8% de los costos de producción de café (Posada *et al.* 2004). Adicionalmente, muestreos realizados varios años después de la liberación de los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, *Prorops nasuta* Waterston y *Phymastichus coffea* La Salle (Benavides *et al.* 1994; Quintero *et al.* 1998; Baker 1999; Aristizábal *et al.* 2004; Jaramillo *et al.* 2005), solo confirmaron el establecimiento de *P. nasuta* en Colombia; pero las poblaciones de estos enemigos naturales disminuyeron en ausencia de liberaciones frecuentes y el alto costo de su producción es un factor limitante para su adopción (Bustillo *et al.* 1996; Baker 1999; Bustillo 2006; Maldonado y Benavides 2007; Benavides *et al.* 2012). Adicionalmente, se modelo la

biología de los parasitoides *C. stephanoderis*, *Cephalonomia hyalinipennis* Ashmead y *P. nasuta* encontrando que debido a su baja capacidad reproductiva en relación a la broca, fueron ineficaces para su control biológico (Rodríguez *et al.* 2017).

El tercer método de control, mediante la aplicación de insecticidas se realiza cuando las hembras vuelan en la búsqueda de nuevos frutos o en el proceso de penetración, para prevenir el daño de los frutos sanos y para que las hembras estén directamente expuestas a los insecticidas y mueran sin alcanzar la semilla (Villalba *et al.* 1995). En Colombia, la frecuencia de las floraciones hace posible la presencia de las diferentes fases de la fructificación durante todo el año (Arcila *et al.* 1993), lo que dificulta el control químico porque se necesitarían aspersiones frecuentes. Adicionalmente, los insecticidas ocasionan daño al ambiente y a los operarios, así como desequilibrios ecológicos que provocan la aparición de otras plagas y también fenómenos de resistencia genética (Villalba *et al.* 1995). El endosulfan fue el insecticida más ampliamente usado y efectivo para el control de la broca en muchos países. Sin embargo, este insecticida fue prohibido en al menos 70 países (incluido Colombia) debido a su alta toxicidad para los humanos y el ambiente (Lubick 2010); así como la resistencia de *H. hampei* al endosulfan demostrada en Nueva Caledonia (Brun *et al.* 1989) y en Colombia (Navarro *et al.* 2010). Por consiguiente, en Colombia se recomendó el uso de productos alternativos, menos tóxicos que el endosulfan, tales como el pirimifos metil, el fenitrothion, el clorpirifos y el fenthion, (Villalba *et al.* 1995). En este sentido, la combinación de clorantraniliprol y tiametoxam resultó efectiva (Arcila *et al.* 2013) y también, se recomendó que el clorantraniliprol solo se utilizara de forma rotatoria en el MIB (Plata-Rueda *et al.* 2019).

El control genético es otro componente dentro del manejo integrado de plagas en donde se emplean variedades resistentes que reducen el número de individuos por generación y el número de generaciones por año. Dicha reducción, disminuye el crecimiento de la población y mantiene los insectos por debajo de los niveles de daño económico, a un bajo costo, aumentando la eficiencia del manejo integrado (Adkinsson y Dyck 1984; Smith 2021). En el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), desde 1988, se inició la evaluación de genotipos de la Colección Colombiana de Café (CCC) en búsqueda de accesiones resistentes a *H. hampei*. A pesar de que no se encontraron genotipos resistentes dentro del género *Coffea* (Cortina y Moncada 1997; Romero 2003; Romero y Cortina 2004a; Bustamante 2006; Romero y Cortina 2007), se identificaron algunas introducciones silvestres en las que este coleóptero presentó un menor número de estados, al igual que una menor tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y una menor tasa reproductiva neta (R_0), en comparación con la variedad 'Caturra', testigo susceptible (Romero y Cortina 2007); demostrando que cuando el insecto se cria en estas introducciones disminuye su reproducción. Estos resultados han sido la base para desarrollar variedades de café con efecto de antibiosis contra este escolítido (Romero *et al.* 2012; Molina *et al.* 2022).

Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo es presentar una revisión del origen geográfico de la broca del café junto con su dispersión, biología, ciclo de vida, las pérdidas ocasionadas por *H. hampei* a la caficultura en Colombia, y los estudios de resistencia a la broca mediante antibiosis y antixenosis. En antibiosis se hizo énfasis en la identificación de introducciones etíopes de *C. arabica* y de accesiones de

Coffea liberica Bull ex Hiern (i.e., ‘Abeokutae’, ‘Aruwimien-sis’, ‘Dewevrei’, ‘Dyowski’, ‘Excelsa’, ‘Laurentii’, y ‘Paspigore’) que presentan menor infestación por *H. hampei* y se están utilizando como progenitores para el desarrollo de variedades con efecto de antibiosis contra este insecto. Y en antixenosis se enfatizó en los métodos empleados para identificar accesiones con este efecto contra la broca.

Origen y dispersión de la broca del café

Se conocen varios estudios sobre el origen geográfico de *H. hampei*, que incluyen las primeras observaciones realizadas por Hargreaves (1926) y Tothill (1940) quienes sugirieron que este insecto es originario de Uganda en África ecuatorial. Allí abunda en los bosques más húmedos donde *Coffea canephora* ‘Robusta’ predomina en la capa de árboles pequeños del bosque, un área donde la altitud varía desde el nivel del mar hasta 1.200 m. Esta zona coincide con el centro de origen de *C. canephora*, cuyo cultivo se extiende por un territorio más amplio (zona intertropical) que, según Davis *et al.* (2006) abarca desde el occidente, el centro occidente, el norte y sur oriente. De acuerdo con Baker (1984), dada la ubicación geográfica, esta especie constituye el más probable huésped original de esta plaga, sumado a que la temperatura promedio entre 24 a 26°C en esta región, favorece el desarrollo de este escolítido.

Trabajos subsecuentes concuerdan con la opinión de la mayoría de los investigadores al sugerir que la planta huésped original de *H. hampei* es *C. canephora* (Jaramillo *et al.* 2009a; Jaramillo *et al.* 2011; Johnson *et al.* 2020). Así, en especímenes de herbarios colectados en cafés silvestres y colecciones de museos principalmente de África, Madagascar y Asia en la búsqueda de la broca del café, se encontraron 72 infestaciones, todas en especies de *Coffea* provenientes de África, 32 de estas se detectaron en plantas silvestres, de las cuales 30 se observaron en *C. canephora*, una en *C. liberica* y una en *C. arabica*. Lo anterior establece que este insecto es autóctono del bosque más húmedo Guineo-Congolense y las especies de café, particularmente *C. canephora* son huéspedes importantes de este escolítido (Vega *et al.* 2019). Estos hallazgos corroboran que *C. canephora* y la broca del café son nativos de la misma región con un clima que favorece su desarrollo y reproducción. Desde la región Guineo-Congolense, esta plaga se dispersó con facilidad al resto de regiones del continente africano donde se cultiva café, debido a la cercanía con las otras especies principalmente *C. arabica* y *C. liberica* (White 1983).

Por otra parte, en los años 50, durante las colectas de genotipos de interés para los programas de mejoramiento genético llevadas a cabo por Wellman y Cowgill (1953), Sylvain (1955) y Meyer (1968), no se identificó a este insecto en Etiopía, tampoco en el cinturón de la selva tropical del drenaje del río Congo en la cuenca de África central, ni en la selva tropical de África occidental, ni en el sur oriente de Sudán y norte de Kenia. Estas regiones ubicadas entre los 950 y 1.950 msnm, y más frecuentemente por encima de 1.200 m (Davis *et al.* 2006), con una temperatura promedio entre 18 y 21°C (Alègre 1959), corresponden con el centro de origen de *C. arabica* en África tropical (Meyer 1965), que conforme a Davis *et al.* (2006) comprende el nor-oriente [sur occidente de Etiopía (occidente del gran valle del Rift), el sur oriente de Sudán (meseta de Boma), y el oriente (Kenia, Mt. de Marsabit)]. Probablemente por efecto de las bajas temperaturas, la broca del café no se desarrolló en esta área, hasta que en 1967

se encontró en unos pocos frutos en cafetales de la provincia de Kaffa (Etiopía) entre 1.200 a 1.600 msnm, al igual que en cerezas dañadas por este escolítido en secadores de café (Davidson 1967).

Del mismo modo, los análisis climáticos de 32 años en Jimma mostraron que antes de 1984 la temperatura era muy baja para que esta plaga completará al menos una generación por año, a partir de entonces el incremento de la temperatura permitió que se produjeran 1 a 2 generaciones por año (Jaramillo *et al.* 2009a). En consecuencia, Abebe (1998) en la década del 90 encontró a este coleóptero en granos secos colectados en varias localidades de Etiopía desde altitudes bajas a 1.000 m hasta zonas altas a 1.900 msnm, en las principales regiones cafeteras en el sur y sur occidente de África, con mayor infestación a bajas altitudes. También, Mendesil *et al.* (2003) del año 2.000 a 2.001 ubicaron a la broca en plantaciones de *C. arabica* en Jimma (Etiopía) desde 1.200 a 1.770 msnm (Mendesil *et al.* 2004a). Lo anterior indicaría según Damon (2000) la reciente introducción de *H. hampei* en Etiopía, y en las zonas altas de África, favorecida por la cercanía geográfica entre ambas especies del género *Coffea*. Por otro lado, acorde a Sylvain (1958) la ausencia de *H. hampei* en Etiopía antes de los años noventa podría deberse a su efectivo control por enemigos naturales, o la resistencia de los genotipos etíopes de *C. arabica* a este insecto plaga. Esto muestra que la caracterización del germoplasma por resistencia a este insecto es una alternativa que se debería explorar para el desarrollo de variedades con menor infestación de este escolítido que contribuyan al MIB.

Johann Angelo Ferrari describió a *H. hampei* por primera vez en 1867, como *Cryphalus hampei*, en granos de café exportados a Francia (Ferrari 1867). Posteriormente, la broca del café se dispersó desde África a todos los países productores de café en el mundo (Tabla 1). A la fecha las únicas excepciones son Nepal (Infante *et al.* 2009) y Australia (Bottrill *et al.* 2018).

El análisis de la distribución de la broca del café en el mundo a partir de muestras de 17 países basados en los polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados (AFLP) evidenció que una población originaria del occidente de África invadió primero Asia y luego América, llegando inicialmente a Brasil desde donde dos introducciones se dispersaron a Centro América y una tercera se dispersó a Perú y Colombia (Benavides *et al.* 2005). La variabilidad genética fue baja entre especímenes, como se esperaba de una especie con una extrema endogamia (Andreev *et al.* 1998). En contraste, mediante la técnica de PCR se analizaron secuencias de ADN de especímenes de *H. hampei* de 37 localidades en 18 países, y se encontró una baja variabilidad genética dentro de los países, en cambio una considerable variación entre grupos de especímenes de *H. hampei*, lo cual sugiere la existencia de un complejo de especies de este escolítido (Gauthier 2010).

Biología de la broca del café

La infestación por broca sucede tras la emergencia, donde cada joven hembra fecunda, conocida como fundadora, se dirige hacia un fruto de café, lo perfora, haciendo un orificio circular así como forma túneles y galerías al alimentarse del endospermo (Le Pelley 1968). Es importante resaltar que la broca se puede refugiar en frutos de otras especies, pero solo se alimenta y reproduce en frutos de café (Ticheler 1961; Vega *et al.* 2020), dentro de la semilla, *H. hampei* pone los huevos

Tabla 1. Detección de la broca del café y su registro en territorios y países productores de café en el mundo

País	Año	Referencias
Liberia (<i>Stephanoderes cooki</i>)	1897	Hopkins (1914)
República Democrática de El Congo	1901	Fleutiaux (1901)
Gabón	1901	Beille (1925)
República centroafricana y República de Chad	1901-1904	Chevalier (1947), Le Pelley (1968)
Java (Indonesia)	1908	Hagedorn (1910)
Uganda	1908	Hagedorn (1910), Hargreaves (1926)
Angola	1912	Morstatt (1912)
Estado de San Paulo (Brasil)	1913	Berthet (1913)
Sumatra, Bali, Flores, Kalimantan, Sulawesi, Papúa (Indonesia)	1919	Corporaal (1921), Corbett (1933)
Costa de Marfil	1922	Beille (1925)
Camerún	1924	Mbondji (1988)
Tanzania	1924-1925	Ritchie (1925)
Benín	1925	Hesse (1925)
Kenia	1928	Wilkinson (1928)
Malasia	1928	Corbett (1933)
República Democrática de Santo Tomas y Príncipe	1929	Kaden (1930)
Togo	1930	Wegbe (2012)
Sri Lanka	1935	Hutson (1936)
Islas Marianas (Micronesia)	1945	Wood (1960)
Nueva Caledonia (Territorio francés)	1948	Cohic (1958)
Surinam	1951	van Dinther (1960)
Ponapé (Micronesia)	1953	Wood (1960)
Perú	1962	de Ingunza (1964)
Tahití (Polinesia Francesa)	1963	Johnston (1963)
Filipinas	1963	Gandia y Boncato (1964)
Etiopía	1967	Davidson (1967)
Guatemala	1971	Hernández y Sánchez (1972)
Honduras	1977	Muñoz (1985)
Jamaica	1978	Reid (1983)
México	1978	Baker (1984)
Bolivia	1978	Rogg (1997)
Fiji	1979	Anonymous (1979)
El Salvador	1981	Vega Rosales y Romero (1985)
Ecuador	1981	Klein-Koch (1990)
Colombia	1988	Cárdenas y Bustillo (1991)
Nicaragua	1988	Monterrey (1991)
India	1990	Kumar <i>et al.</i> (1990)
República Dominicana	1994	Serra (2006)
Cuba	1994	Hernández (2002)
Venezuela	1995	Rosales Mondragón <i>et al.</i> (1998)
Costa Rica	2000	Staver <i>et al.</i> (2001)
República Democrática Popular de Lao	2004	Cabi (2008)
Panamá	2005	Inwood (2005)
Puerto Rico	2007	Osorio (2007); Mariño <i>et al.</i> (2017a)
Vietnam	2007	Beaver y Liu (2010)
Hawái	2010	Burbano <i>et al.</i> (2011), Chapman <i>et al.</i> (2015)
Martinica (Antillas francesas)	2012	Dufour (2013)
Cerrado Brasileño - Distrito Federal (Brasil)	2014	Oliveira <i>et al.</i> (2018)
Papúa Nueva Guinea	2017	Johnson <i>et al.</i> (2020)
Isla de Hainan (China)	2020	Sun <i>et al.</i> (2020)
Guadalupe (Antillas francesas)	2022	Dufour <i>et al.</i> (2022)

que dan origen a su progenie con una relación de sexos a favor de las hembras de 10:1 (Hargreaves 1926; Bergamin 1943; Baker *et al.* 1992; Mendesil *et al.* 2004b), a pesar de que diversos estudios muestran una relación desproporcionada de sexos entre 5:1 a 494:1 revisado por Vega *et al.* (2015), la mayoría de las hembras colectadas, tanto en laboratorio como en campo son fecundas, es decir que un macho copula en promedio con 10 hembras hermanas, lo que además supone reproducción de *H. hampei* con alta endogamia (Bergamin 1943). Esta relación sesgada de sexos a favor de las hembras podría atribuirse en primer lugar, a las bacterias endosimbióticas del género *Wolbachia* que infestan a la broca, debido a que estas bacterias se heredan citoplasmáticamente, y pueden causar distorsión de la relación de sexos, por lo que se conocen como parásitos reproductivos (Werren 1997). Este género de bacteria solo se aisló de las hembras de broca recolectadas en Benín, Colombia, Ecuador, Brasil, El Salvador, Honduras, India, Kenia (África oriental), México, Nicaragua y Uganda. En cambio, no se encontraron en las brocas de Camerún (África central), República dominicana, Indonesia, Jamaica y Perú (Vega *et al.* 2002), lo cual podría indicar que *Wolbachia* no fue la responsable de esta relación porque debería haberse encontrado en todas las hembras analizadas. Por consiguiente, hasta la fecha, no se ha elucidado por completo el rol de *Wolbachia* en la reproducción de *H. hampei*, aun cuando la disminución significativa de esta bacteria en la microbiota de las hembras alimentadas con tetraciclina redujo su fecundidad (Mariño *et al.* 2017b). También, la menor proporción de hembras entre 5:1 a 7,4:1 en dietas artificiales (Pérez *et al.* 1995; Borsa y Kjellberg 1996, Portilla y Street 2006; López-Pazos *et al.* 2009), podría deberse al efecto inhibitorio de los agentes antimicrobianos que contiene la dieta en *Wolbachia* (Vega *et al.* 2015). Además, este es el único endosimbionte detectado en la microbiota de la broca con capacidad conocida para manipular la reproducción del huésped (Mariño *et al.* 2018).

En segundo lugar, contrario a lo anterior, la relación sesgada de sexos a favor de las hembras se atribuye a la haplodiploidía funcional de este escolítido cuya reproducción es pseudoarrenotoquia, en la que los machos son diploides dado que se desarrollan a partir de huevos fértiles y tienen el mismo número de cromosomas que el de las hembras. Sin embargo, expresan únicamente los cromosomas maternos a la descendencia, debido a que los cromosomas paternos se condensan en una masa de cromatina y no se incorporan al semen durante la espermatogénesis o se inactivan en las células somáticas (Brun *et al.* 1995a). Evidencia adicional que los machos son diploides fue la heterocigosis de machos y hembras para el locus de resistencia a ciclodieno (*Rdl*) (Borsa y Coustau 1996), y los análisis citogenéticos que revelaron la heterocromatización facultativa del conjunto de cromosomas paternos en los machos (Constantino *et al.* 2011). Mientras, que las hembras son diploides con un juego de cromosomas de la madre y otro del padre, deben copular con el macho para hacerse fecundas y producir huevos viables (Brun *et al.* 1995b). Esto se comprobó realizando crías de hembras vírgenes en tubos individuales alimentadas con granos de *C. canephora* sanos que generaron unos pocos huevos que nunca se desarrollaron. La completa esterilidad de las hembras confirmó que su apareamiento era necesario para su exitosa reproducción y que la partenogénesis no era concebible (Barrera *et al.* 1995); lo cual se confirmó en estudios posteriores en los que solo las hembras fecundas produjeron descendencia (Álvarez y Cortina 2004; Constantino *et al.* 2011). Recientemente, se identifica-

ron los genes que se expresan en los machos, sugiriendo que el cromosoma Y puede estar involucrado en el mecanismo de haplodiploidía de la broca (Navarro *et al.* 2021).

Ciclo de vida de la broca del café

El ciclo de vida completo de la broca del café consiste en huevo, larva (dos instares en la hembra), pupa (con un breve estado de pre-pupa) y adulto (Bergamin 1943; Damon 2000). La información sobre la duración de los estados biológicos difiere entre 20 y 63 días, dependiendo de las condiciones del ambiente, especialmente de la temperatura, los métodos empleados en los distintos ensayos y de la humedad de los frutos (Leefmans 1923; Bergamin 1943; Ticheler 1961; Ticheler y Quiceno 1963; Muñoz 1989; Ruiz 1996; Mendesil *et al.* 2004b; Jaramillo *et al.* 2009a; Jaramillo *et al.* 2010; Hamilton *et al.* 2019).

Recientemente, se estableció que el tiempo de desarrollo total es alrededor de 18 días a 30°C y de 63 días a 18°C (Azrag *et al.* 2019). Similar al encontrado por Bergamin (1943) de 63 días a 19,2°C. El promedio de duración de los estados de *H. hampei* en días es de 4 (huevo), 15 (larva) y 7 (pupa) a 27°C (Damon 2000), con un promedio de duración de 27,5 días a una temperatura media de 24,5°C (Bergamin 1943). El tiempo generacional en campo es de 45 días a 22°C (Ruiz 1996). En dietas artificiales la duración del ciclo de vida es de 23,3 a 24,1 días a 26 ± 1°C, con una humedad relativa entre 70 a 80% (Ruiz *et al.* 1996).

El comportamiento de apareamiento de la broca ha sido poco documentado. Sin embargo, lo más probable es que las hembras y los machos tarden menos de dos días para alcanzar su madurez sexual, debido a que inician su apareamiento a las pocas horas de la emergencia (Baker *et al.* 1992; Dias Silva *et al.* 2012). En contraste, con la observación de que una hembra adulta una vez emerge se demora aproximadamente de tres a cuatro días para aparearse con los machos, que completan primero su desarrollo (Le Pelley 1968). El periodo de oviposición de la hembra varía entre 7 a 50 días; en promedio las hembras ponen entre 20 a 288 huevos durante toda su vida (Friederichs 1924; Leefmans 1923; Corbett 1933; Bergamin 1943; Mendesil *et al.* 2004b; Jaramillo *et al.* 2009b). Dado el prolongado periodo de oviposición, todos los estados de vida de *H. hampei* pueden encontrarse en el fruto al mismo tiempo (Baker *et al.* 1992; Damon 2000; Ruiz-Cárdenas y Baker 2010; Azrag *et al.* 2019). La longevidad de la hembra varía ampliamente entre 55 a 282 días (Friederichs 1924; Corbett 1933; Leefmans 1923; Muñoz 1989), con un promedio de 156 días (Bergamin 1943).

La primera descripción de los órganos del sistema reproductor femenino y masculino de *H. hampei* mostró que las hembras tienen una espermateca esclerotizada en forma de bastón (Rubio *et al.* 2007), que es usada para almacenar el esperma desde que es inseminada hasta que los huevos son fertilizados (Chapman 2003), por esto la hembra solo necesita ser fertilizada una vez (Corbett 1933). El macho presentó un aedeago esclerotizado por donde el esperma se expulsa durante el apareamiento, que difiere con respecto a otros miembros de la familia Curculionidae (Rubio *et al.* 2008). Las nuevas hembras después de aparearse con sus hermanos machos dentro del fruto, lo abandonan para buscar nuevos frutos con un mínimo de 20% de materia seca, 120 a 150 días después de la floración (Baker 1984; Baker *et al.* 1992; Baker 1999). Así la acumulación de materia seca en el fruto es el factor más importante que determina el ataque por *H. hampei* (Montoya

y Cárdenas 1994; Guevara *et al.* 1995; Baker 1999; Ruiz-Cárdenas y Baker 2010; Vega *et al.* 2015) e influye directamente en la velocidad con que la hembra penetra el fruto hasta el inicio de su reproducción, desde solo tres a cuatro días en frutos de 210 días de desarrollo después de la floración hasta nueve semanas en frutos de 60 días de desarrollo (Wrigley 1988; Ruiz 1996).

En promedio una hembra tarda entre 2,5 y 5,5 horas para perforar el fruto maduro (Wrigley 1988; Mendesil *et al.* 2004b), 7,97 horas en frutos verdes y 3,91 horas en frutos secos (Mendesil *et al.* 2004b). Después de 24 horas el insecto ya no se observa en el orificio de entrada. Además, la hembra emplea al menos 2 días para comenzar a construir galerías en la semilla (Wrigley 1988). Usualmente, solo se presenta un único orificio de entrada por fruto, pero si la infestación es muy alta y la disponibilidad de frutos es escasa, varias hembras pueden perforar un único fruto, cada una con su propia entrada (Wrigley 1988). También, se observaron entre 2 y 3 orificios de entrada de la broca por fruto. Mientras que solo algunos frutos tenían entre 5 y 6 orificios de entrada (Mendesil *et al.* 2004b). Algunos estudios sugieren que la hembra que ha iniciado una infestación en un fruto puede volar a otros durante su periodo de oviposición (Waterhouse y Norris 1989), o permanecer en el interior del fruto hasta que sus primeros descendientes emergen como adultos (Bergamin 1943). No obstante, lo más probable es que la hembra fundadora no abandone el fruto, quedándose con la cría en desarrollo (Baker *et al.* 1992); porque los músculos de sus alas se atrofian, desapareciendo casi por completo cuando ha puesto entre 10 y 15 huevos, lo que le impide volar (Ticheler 1961; Ticheler y Quiceno 1963; Mathieu *et al.* 1997; López-Guillén *et al.* 2011). Ferrari describió que el macho era más pequeño que la hembra (Van Der Weele 1910) y permanecía en el fruto hasta su muerte, debido a su incapacidad para volar (Bergamin 1943).

El número de generaciones de la broca del café por año en Colombia fue de dos a tres (Montoya y Cárdenas 1994; Ruiz 1996; Baker 1999), sin embargo, cuando los frutos no se cosechan y se secan en el árbol, se pueden producir hasta cuatro generaciones (Ruiz 1996). En un estudio posterior, se encontró que el número promedio de generaciones de *H. hampei* por año en Colombia fue de 3,4 y en Kenia de 3,1; el cual fue mayor al promedio de generaciones de la broca producidas por año en Tanzania y en Etiopía de 1,3 (Jaramillo *et al.* 2009a). En Hawái, se halló una relación predictiva entre la altitud y el número de generaciones de broca producidas por mes, que correspondió a 2,11 y 3,27 generaciones para fincas entre 600 a 780 m, y entre 4,13 y 4,96 generaciones para fincas entre 200 a 300 m, esta relación se podría utilizar para predecir la dinámica de la población del insecto en el cultivo (Hamilton *et al.* 2019). En contraste, en el estado de San Pablo (Brasil) la broca produjo un número mayor de generaciones por año entre 5,09 y 10,53 (Giraldo-Jaramillo *et al.* 2018). Esto corrobora que la temperatura es el factor más importante para el desarrollo de este escolitido y determina el número de generaciones que se producen por año (Baker *et al.* 1992; Ruiz 1996; Jaramillo *et al.* 2010; Giraldo-Jaramillo *et al.* 2018; Mariño *et al.* 2021).

Pérdidas ocasionadas por la broca del café y consecuencias económicas

Los daños producidos por *H. hampei* ocasionan al menos tres tipos de pérdidas a la caficultura: reducción del rendimiento por el daño parcial o total del café pergamino, caída de frutos

inmaduros y disminución de la calidad (Alonzo 1984; Duque *et al.* 2002; Infante *et al.* 2009). En la primera pérdida, la infestación de la broca causa una disminución del peso del café pergamino entre 10,82 y 45,12% (Montoya 1999). En la segunda pérdida, los frecuentes intentos de la hembra para penetrar los frutos con menos de 90 días afectan su desarrollo, lo cual conduce a su descomposición y abscisión prematura (Le Pelley 1968; Damon 2000; Infante *et al.* 2009). Y en la tercera pérdida, el daño físico de los frutos infestados los vuelve vulnerables al ataque de hongos, bacterias y otras plagas (Leefmans 1923; Alonzo 1984; Alves da Silva *et al.* 2020). Estos frutos brocados contaminados por microorganismos que se benefician junto con cerezas sanas afectan los atributos sensoriales de la bebida (Puerta 2013).

La naturaleza criptica de la broca le permite pasar su ciclo de vida completo escondida dentro del fruto (Infante *et al.* 2009; Jaramillo *et al.* 2010). De igual manera, la disponibilidad de frutos en el árbol y en el suelo, favorece la supervivencia de este insecto de una generación a la siguiente (Baker 1999; Mendesil *et al.* 2004a; Infante 2018), lo cual combinado con una relación sesgada de sexos a favor de las hembras (Hargreaves 1926; Bergamin 1943; Baker *et al.* 1992; Mendesil *et al.* 2004b) y el apareamiento entre hermanos dentro del fruto (Baker *et al.* 1992); le dan una extraordinaria capacidad de adaptación que dificulta tanto el control químico como el cultural o biológico de esta plaga (Vega *et al.* 2002, 2015; Infante *et al.* 2009). Por esto, en Colombia la aplicación de insecticidas para el control de la broca dentro del MIB debe hacerse cuando las hembras adultas estén penetrando el fruto de café o en el canal de penetración, lo cual le permite al insecticida entrar en contacto con las hembras (Bustillo 2007; Benavides *et al.* 2013), y el nivel de infestación sea igual o mayor al 2% (Benavides *et al.* 2003).

La conversión de café cereza sano a pergamino seco es de 5:1, no obstante, cuando los frutos tienen una alta infestación por *H. hampei* se reduce esta conversión, en donde se necesitan de 6 hasta 8 kilos de cerezas maduras para obtener 1 kilo de café pergamino; esta cantidad cuando no se controla la broca se puede incrementar hasta requerir 17 kilos de frutos maduros para obtener 1 kilo de café pergamino (Saldarriaga 1994). A esta disminución se suman las sanciones al precio de compra que se pueden aplicar por mala calidad del café (Duque y Baker 2003). Según Puerta (2013), más del 30% de las tazas de café preparadas con granos brocados dañados en más del 25%, se pierden por defectos que incluyen aromas y sabores a fenol, rancio, sucio e imbebible. Así, los caficultores podrían perder casi la mitad de su producción en ataques severos de la broca (Lambot *et al.* 2017).

En Colombia, en el año 2001, el costo del manejo para que el nivel de infestación por broca no supere el 5,0% fue de US\$100/ha, el cual ascendió a US\$50 millones en las 500.000 ha en las cuales se hizo MIB. Si a este valor se suman las pérdidas ocasionadas por la disminución de peso y la calidad del grano, el costo total alcanzó en esta área US\$75 millones por año (Duque y Baker 2003). Estos costos representaron entre el 5,5 y el 11% del total de los costos de producción de café para las 800.000 ha infestadas con broca en 2002. Aproximadamente el 90% de estos costos se debieron al incremento de la mano de obra (Duque *et al.* 2002). El análisis económico de la adopción del MIB en Colombia demostró que era posible disminuir la infestación de *H. hampei* con una mayor inversión económica que se compensaba con el incremento de los ingresos económicos por mayor producción de café de

calidad exportable con menos de 5% de infestación (Benavides *et al.* 2003). También, en el caso de un control absoluto de la broca, el precio de compra del café era mayor debido a un sobre precio por buena calidad (Duque y Baker 2003). La revisión de los costos del control de la broca mostró que las pérdidas por la infestación de broca son similares a los previamente publicados (Benavides *et al.* 2021). En consecuencia, la broca sigue siendo el insecto plaga más limitante para la caficultura en Colombia.

Resistencia a insectos

La resistencia a insectos es la suma de características heredables poseídas por la planta que le permiten obtener mayor producción de buena calidad, que otras variedades en condiciones iguales, respecto al ataque de una plaga determinada (Painter 1951). Este autor clasificó la resistencia en tres tipos: no preferencia, antibiosis y tolerancia. Por su parte, Kogan y Ortman (1978) propusieron la sustitución del término no preferencia por antixenosis, que explica la resistencia como una propiedad de la planta y no como una reacción del insecto. El nuevo término es más congruente con el término antibiosis, ampliamente aceptado. La antixenosis se presenta cuando un genotipo es menos utilizado por un insecto para alimentación, oviposición o abrigo, que otro en igualdad de condiciones; p.ej., *Coffea racemosa* Lour. mostró entre 40 a 60% menor preferencia de oviposición para *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) que las variedades de *C. arabica* 'Icatu Precoce IAC 3282', 'Catuai Amarillo IAC 62' y 'Mundo novo IAC 515-20' (De Matos *et al.* 2011). Por otro lado, la antibiosis se produce cuando un insecto se alimenta de la planta y esta ejerce un efecto adverso sobre la biología del mismo; p.ej., *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Arachnida: Acari: Tetranychidae), uno de los más importantes ácaros fitófagos en plantas de café, redujo su tasa reproductiva cuando se alimentó en nueve genotipos de la variedad 'Vitória' de *C. canephora* (Da Silva *et al.* 2019), estos genotipos poseen compuestos orgánicos, como ácidos clorogénicos y alcaloides, que podrían actuar como factores de defensa (Da Silva *et al.* 2019). Por último, una planta es tolerante cuando sufre pocos daños con relación a otras plantas bajo el mismo nivel de infestación de una especie de insecto, sin afectar su comportamiento y biología.

Búsqueda de fuentes de resistencia en el género *Coffea* a *H. hampei* mediante antixenosis y antibiosis

En los primeros estudios de búsqueda de fuentes de resistencia mediante antixenosis, se evidenció que *H. hampei* dependía de las cerezas para su supervivencia pero que todas las especies de café eran infestadas por esta plaga en diferente proporción (Leefmans 1923; Chevalier 1947; Le Pelley 1968). Las observaciones del ataque de la broca en especies de café sembradas en el jardín experimental de Bogor (Indonesia), mostraron que los frutos de *C. liberica*, *C. liberica* 'Excelsa', y *C. liberica* 'Abeokutae' tuvieron poco ataque y penetración; en tanto las cerezas de *C. liberica* 'Aruwimiensis', *C. liberica* 'Dybowski', *C. stenophylla* G.Don, *C. liberica* 'Laurentii' y el híbrido de *C. liberica* x *C. arabica* presentaron poca afectación, aunque exhibieron muy buenas condiciones para su reproducción; asimismo los frutos de *C. canephora* 'Robusta' y *Coffea congensis* A.Froehner tuvieron un daño moderado y poca penetración. En contraste, las cerezas de *C. canephora* 'Quillou', *C. canephora* 'Uganda' y *C. canephora* 'Quilouensis' evidenciaron alta susceptibilidad tanto al ataque como a la

penetración de la broca (Leefmans 1923). En Java se encontró que el número promedio de estados de este escoltido después de una generación fue menor para *C. liberica* 'Abeokutae' y *C. liberica* 'Excelsa' con 5,6 y 7,8 respectivamente, mientras que *C. canephora* 'Quillou' y *C. canephora* 'Robusta' registraron el mayor número de estados 22,5, y 24,5, respectivamente (Frappa 1924). De acuerdo con Chevalier (1947) el orden de atractividad de las especies de café a la broca clasificó a las formas *C. liberica* 'Excelsa', *C. liberica* 'Dybowski' y *C. liberica* 'Dewevrei', con poca infestación; en cambio *C. canephora* y *C. arabica* altamente susceptibles. De la misma forma, Le Pelley (1968) clasificó a *C. arabica* como la más susceptible seguida por *C. canephora*, mientras que *C. liberica* 'Excelsa' mostró menos ataque por este insecto. Aunque, los resultados de los estudios pioneros son variables y el comportamiento de los genotipos frente a esta plaga difiere dependiendo de las condiciones ambientales, existe acuerdo en categorizar a *C. liberica* 'Excelsa', *C. liberica* 'Dybowski' y *C. liberica* 'Dewevrei' con menor ataque; en contraste a las especies *C. canephora* y *C. arabica* como susceptibles (Leefmans 1923; Chevalier 1947; Le Pelley 1968).

En el marco de un estudio sobre la reproducción de la broca, Villagran (1991) registró el número de huevos, larvas, pupas y adultos en condiciones controladas, en frutos de cuatro variedades de *C. arabica* ('Borbón', 'Pacas', 'Goiaba' y 'Mundo novo') y de las especies diploides (*C. canephora* 'Robusta', *C. liberica*, *C. liberica* 'Passipagore' y *Coffea kapakata* (A.Chev.) Bridson), con un contenido de materia seca mayor a 20% en peso, infestados artificialmente en una relación 2:1 (2 hembras/fruto). Las accesiones *C. liberica*, *C. liberica* 'Passipagore' y *C. kapakata* presentaron un menor número de estados de *H. hampei*, lo cual sugirió un efecto de antibiosis en *C. kapakata* para el desarrollo de este coleóptero, mientras que en *C. liberica* y *C. liberica* 'Passipagore', la reducción de la reproducción se atribuyó a la dificultad mecánica a la penetración de este insecto, por la pulpa gruesa y el mucilago denso de sus frutos. Del mismo modo, la dificultad para penetrar frutos de *C. liberica* se ha atribuido a su grueso endocarpio, lo que justifica su bajo nivel de infestación (Fazuoli 2004). Sin embargo, estudios posteriores mostraron que la estructura histológica, los componentes principales de la pared celular y la ultraestructura del endospermo de genotipos de *C. arabica* y *C. liberica* eran similares. Estos hallazgos confirmaron que las características físicas de *C. liberica* no impedían la infestación de este insecto, lo que ratificó que la reducción de la oviposición en esta especie diploide se debía a factores de antibiosis. Las variedades 'Borbón', 'Pacas' y 'Goiaba' tuvieron un número de estados de la broca significativamente similar a los de *C. canephora* 'Robusta' que presentó la mayor infestación, resultado que coincidía con los hallazgos previos de su alta susceptibilidad a este escoltido (Leefmans 1923; Chevalier 1947; Le Pelley 1968).

En la búsqueda de fuentes de resistencia a *H. hampei*, los estudios pioneros mostraron ninguna resistencia genética total contra este escoltido (Leefmans 1923; Chevalier 1947; Le Pelley 1968). Del mismo modo, desde 1992, se observó en Cenicafé que los frutos de todas las introducciones silvestres de la CCC (Fig. 1) eran infestadas por la broca (Cortina y Moncada 1997; Vargas 2006). No obstante, se encontró que un alto número de introducciones silvestres de *C. arabica* de las provincias etíopes de Kaffa, Gojjan e Illubabor, presentaban menor infestación por la broca (% de frutos brocados) en comparación con la variedad 'Caturra', susceptible a esta

plaga (Fig. 1). Este fenómeno podría deberse a que las plantas de café recolectadas en las provincias de Kaffa, Gojjam e Illubabor, al sur occidente del Gran Valle del Rift en la selva tropical de Etiopía, no habían participado en la domesticación de *C. arabica* debido a que estuvieron casi completamente aisladas hasta finales del siglo XIX (Meyer 1965), siendo muy valiosas para enriquecer la base genética del germoplasma cultivado de *C. arabica* (Montagnon y Bouharmont 1996; Anthony *et al.* 2001), por resistencia a la broca. En contraste, las variedades de *C. arabica* cultivadas en América presentan una infestación por broca igual o mayor a la variedad ‘Caturra’ (Fig. 2), estos genotipos se recolectaron al oriente del Gran Valle del Rift de plantas domesticadas por los árabes en el siglo XIV, lo cual se facilitó por su cercanía a Yemen (Montagnon y Bouharmont 1996); probablemente su domesticación influyó en la ausencia de resistencia a *H. hampei*.

Métodos de evaluación de antibiosis en el género *Coffea* a *H. hampei*

En los años 2000, Álvarez *et al.* (2001) emplearon tres métodos para la evaluación de antibiosis usando seis introducciones etíopes de *C. arabica* recolectadas en la provincia de Kaffa por Meyer (1968) y además se utilizó la variedad ‘Caturra’ como testigo susceptible a la broca. En los tres métodos se registró el número de estados 28 días después de la infestación artificial en condiciones controladas.

En el primer método, 200 granos de cada introducción, recién recolectados y beneficiados con una humedad de 45%, se incubaron en cajas plásticas rectangulares de 17x12x7 cm, cuatro repeticiones se infestaron con hembras adultas en una relación de dos insectos por grano.

En el segundo método, la dieta artificial reportada por Ruiz (1996) con café molido de cada una de las introducciones evaluadas se vertió sobre un molde de acrílico para formar cilindros de 0,8 cm de diámetro y 1,0 cm de altura, con un peso de 0,8 g que corresponde al peso aproximado de un grano de café pergamino. Los moldes se liofilizaron hasta la humedad relativa óptima para el desarrollo de este insecto (60%), y los cilindros se introdujeron en viales de borosilicato de 0,9 cm de diámetro x 3,4 cm de alto, se infestaron con una hembra adulta y se cerraron con una tapa plástica con un orificio de 1 mm, 40 viales por introducción se colocaron en un portaviales y se incubaron a 25°C. El último método, empleó un vial del mismo tamaño de los del segundo método, en el cual se introdujo un grano de café pergamino y una hembra adulta, bajo una humedad relativa de 37%, 40 viales por introducción se colocaron en un portaviales y se incubaron a 25°C.

El mejor método para evaluar antibiosis fue un vial con un grano de café pergamino y una hembra adulta, ya que se obtuvo un mayor número de descendientes que en los métodos con cajas y viales con dieta artificial (Fig. 3).

Con el método con viales y granos pergamino, se evaluó la antibiosis de dieciocho introducciones etíopes de *C. arabica*, una de *C. liberica* (CCC1025) y la variedad ‘Caturra’ como testigo susceptible. Cada cuatro días se contaron los estados biológicos de este coleóptero en 10 unidades experimentales por introducción, hasta completar 10 evaluaciones. El ciclo de vida de huevo a adulto fue de 20 días para la mayoría de las introducciones y la oviposición de la hembra fundadora duró 28 días aproximadamente, el número de huevos acumulados en los granos de las introducciones CCC1025, CCC534, CCC359 y CCC363, fue de 21, 28, 26 y 25, respectivamente,

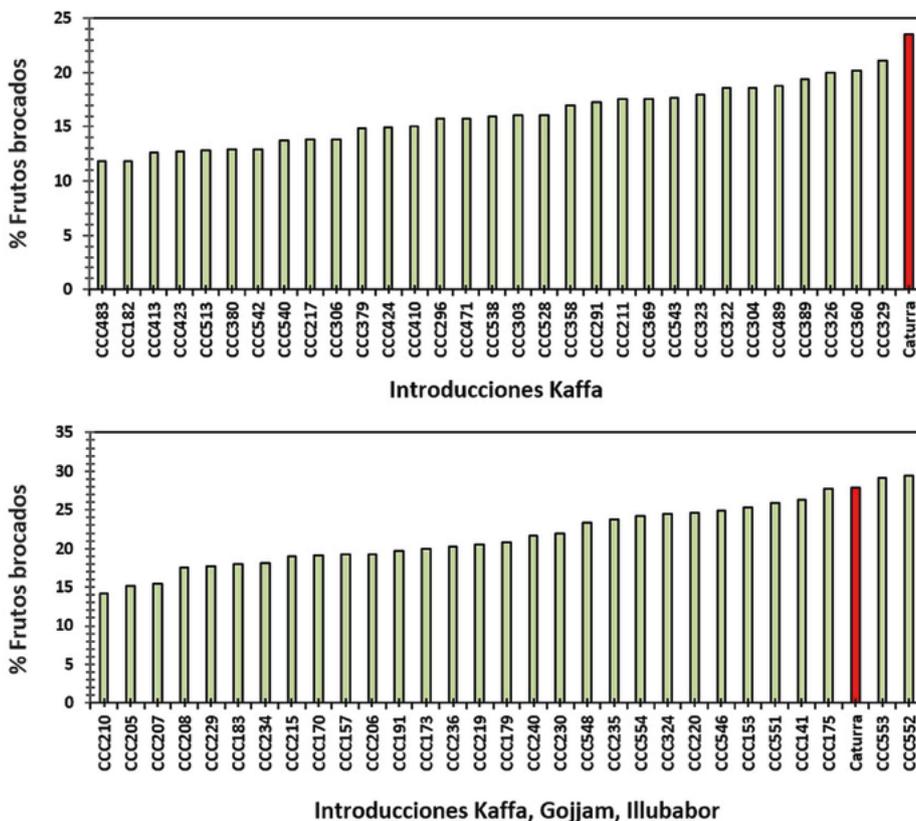


Figura 1. Porcentaje de frutos brocados A. Introducciones de *C. arabica* de la provincia de Kaffa (Etiopía). B. Introducciones de *C. arabica* de Kaffa, Gojjam e Illubabor (Etiopía) (Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca (*Hypothenemus hampei*) en germoplasma de café, Cortina 2000).

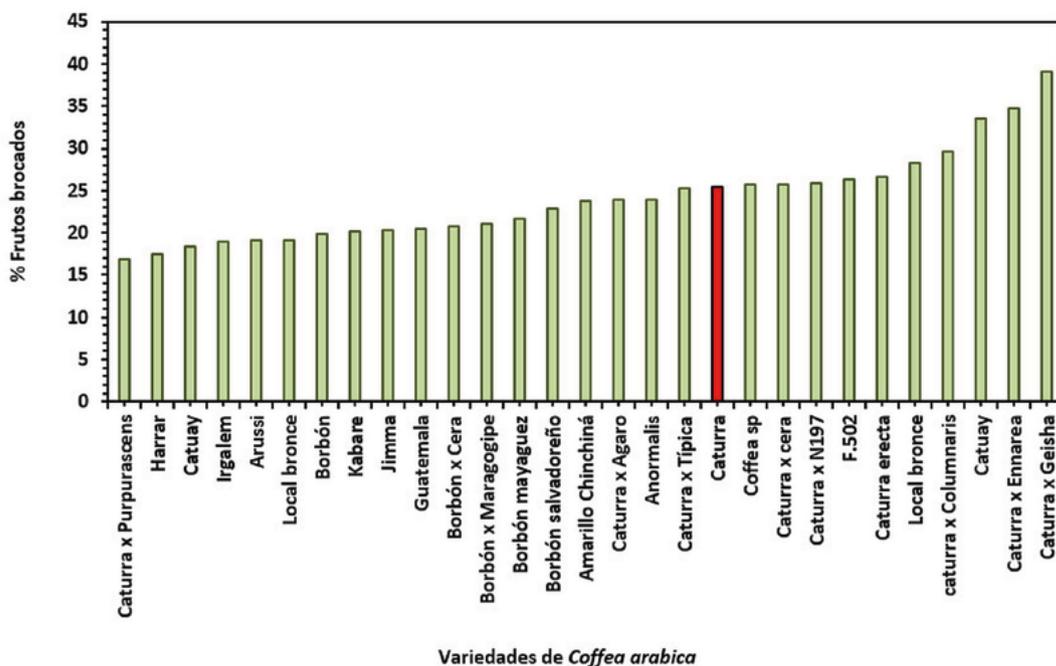


Figura 2. Porcentaje de frutos brocados de variedades de *Coffea arabica* cultivadas en América (Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca (*Hypothenemus hampei*) en germoplasma de café, Cortina 2000).

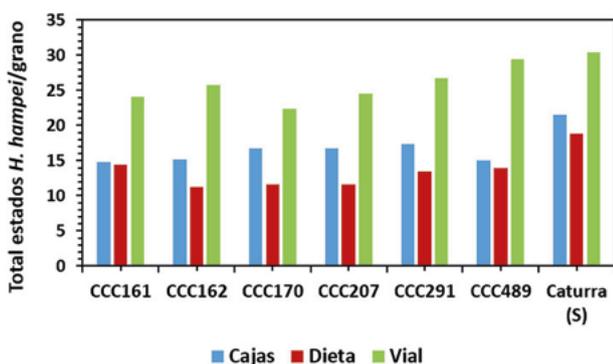


Figura 3. Promedio del total de estados biológicos de *H. hampei* (huevos, larvas, prepupas, pupas y adultos) en introducciones etíopes de *C. arabica* y la variedad ‘Caturra’, susceptible a la broca (S), en tres métodos de evaluación de antibiosis: cajas con 200 granos de café pergamino infestadas con broca en relación 2:1; viales con dieta y viales con granos de café pergamino infestados en relación 1:1 (Adaptado de Álvarez *et al.* 2001).

o sea menos que en los granos de ‘Caturra’ donde la broca puso 36 huevos. El análisis de varianza mostró que la introducción CCC1025 de *C. liberica* y tres accesiones etíopes de *C. arabica* (CCC534, CCC359 y CCC363) tuvieron entre un 30 a 40% menos huevos de *H. hampei* y difieren estadísticamente de la variedad ‘Caturra’. Del mismo modo, estos genotipos presentaron un menor número de adultos de este insecto con respecto a los del testigo susceptible (Romero 2003; Romero y Cortina 2004a). Adicionalmente, se construyeron tablas de vida de la broca del café criada en la introducción CCC534 de *C. arabica*, CCC1025 de *C. liberica* y de la variedad ‘Caturra’ testigo susceptible, se elaboraron las tablas de fecundidad de cada población y se calcularon los parámetros demográficos: la tasa reproductiva neta (R_0), la tasa intrínseca de crecimiento (r_m), el tiempo generacional (TG) y el tiempo

de duplicación (TD). Las introducciones CCC534 y CCC1025 presentaron una R_0 (número de hembras producidas por cada hembra) y una r_m (número de hembras producidas por hembra por unidad de tiempo) menor significativamente ($P < 0,05$) que la variedad ‘Caturra’ (Tabla 2), mientras que en estas accesiones se halló un TD estadísticamente mayor con relación a ‘Caturra’ (Tabla 2). Así como, solo para CCC1025 se registró un TG mayor significativamente con respecto de la variedad ‘Caturra’ (Romero y Cortina 2007). Resultados similares a los obtenidos por Romero (2003) en los que las introducciones CCC534 y CCC1025 presentaron una r_m (0,066 y 0,058) y una R_0 (20 y 16 huevos), significativamente menores ($P < 0,05$) con respecto de la variedad ‘Caturra’ que presentó una r_m de 0,071 y una R_0 de 25 huevos.

Tabla 2. Parámetros demográficos de *H. hampei* en una introducción etíope de *C. arabica*, una accesión de *C. liberica* y la variedad ‘Caturra’ (Adaptado de Romero y Cortina 2007). R_0 = tasa reproductiva neta; r_m = tasa intrínseca de crecimiento, TG = tiempo generacional, TD = tiempo de duplicación.

Introducción	R_0	r_m	TG	TD
Caturra	25 ± 1	0,073 ± 0,001	45 ± 0,4	10 ± 0,2
CCC534	18 ± 2	0,065 ± 0,002	44 ± 0,4	11 ± 0,4
CCC1025	15 ± 2	0,057 ± 0,003	47 ± 0,8	12 ± 0,6

Estos resultados demuestran que en las introducciones CCC534 y CCC1025, la oviposición de la broca del café es menor e incide en una menor tasa reproductiva neta e intrínseca, mientras que el tiempo de duplicación es mayor, lo cual disminuye la población de esta plaga por generación, prolonga la duración del ciclo de vida del insecto y la aparición de nuevas generaciones. Estas introducciones no pueden comercializarse debido a su baja producción y baja proporción de grano supremo, por esto son de utilidad como progenitores

masculinos en programas de hibridación con variedades comerciales de alta producción (578@.ha-año c.p.s), café supremo mayor a 80% y calidad de la bebida igual a las variedades ‘Caturra’ y ‘Borbón’, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica* (Cortina *et al.* 2013; Flórez *et al.* 2018), que serán los progenitores femeninos.

En 2010, Sera y colaboradores evaluaron bajo condiciones de campo la resistencia a *H. hampei* de los frutos de *Coffea eugenioides* S.Moore, *C. eugenioides* x *C. liberica* ‘Dewevrei’, *C. eugenioides* x ‘Mundo novo’, *C. kapakata* y *Psilanthus bengalensis* (Roxb. Ex Schult). Estas accesiones expresaron resistencia con un porcentaje de infestación entre 0,00 a 7,29% en comparación con los genotipos *C. canephora* variedad ‘Nemaya’, *C. congensis* y *C. liberica* ‘Dewevrei’ que mostraron un porcentaje de infestación entre 12 y 25%. Asimismo, *C. arabica* x *C. canephora* exhibió la mayor susceptibilidad a la broca con una infestación de 55,83%. Los genotipos resistentes probados en campo y los susceptibles a esta plaga, se evaluaron en experimentos de laboratorio de única elección bajo condiciones controladas en un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones. Así, 12 frutos maduros de cada genotipo fueron colocados en cajas de Petri e infestados artificialmente con una hembra por fruto. Quince días después de la infestación se encontró que los mismos genotipos resistentes en campo tuvieron un porcentaje de frutos no brocados entre 100 y 90,39% clasificándose como resistentes, mientras que los genotipos con un porcentaje de frutos brocados entre 48,01 y 75,24% como susceptibles (‘Catuaí semperflorens’, *C. congensis*, *C. liberica* ‘Dewevrei’ x *C. arabica*, ‘Mundo novo’, *C. canephora* variedad ‘Nemaya’ y ‘Pacas’ x ‘Maragogipe’).

A continuación, en Cenicafé con la finalidad de obtener variedades resistentes a la broca con excelentes características agronómicas, se cruzó la variedad ‘Caturra’ de *C. arabica* por las introducciones etíopes CCC363 y CCC534 que presentaron un menor número de descendientes cuando eran infestadas por *H. hampei*. Las poblaciones F1 y F2 obtenidas se evaluaron en condiciones de laboratorio, en viales con granos de café pergamino, según el método reportado por Álvarez *et al.* (2001) y en campo mediante mangas entomológicas de acuerdo con lo descrito por Vargas (2006). En ambas condiciones se utilizó a la variedad ‘Caturra’ como testigo susceptible. En condiciones controladas el promedio de estados por grano en ‘Caturra’ fue de $38,9 \pm 5,5$, mayor estadísticamente al promedio de estados en CCC363 de $31,8 \pm 4,1$ y en CCC534 de $31,9 \pm 4,2$, con una reducción de la oviposición de 18%. En las poblaciones F1 se presentó un promedio de estados intermedios a los de sus progenitores, ‘Caturra’ x CCC363 con $35,7 \pm 5,2$ y ‘Caturra’ x CCC534 con $36,3 \pm 5,4$. Las plantas F2 mostraron una distribución normal, segregación típica de un carácter cuantitativo. No obstante, la alta variación de las evaluaciones en campo no permitió detectar diferencias (Romero *et al.* 2012).

Recientemente, en la empresa de investigación agropecuaria de Minas Gerais (EPAMIG) se evaluó la resistencia de accesiones de *C. arabica* del banco de germoplasma para desarrollar una variedad resistente a la broca del café (Manrique 2017). En primer lugar, se evaluaron en campo 100 accesiones de café usando como testigo a la variedad ‘Catuaí amarillo IAC 99’, y se encontró que 27 accesiones de *C. arabica* tuvieron un menor porcentaje de frutos brocados entre 21 a 43%, mientras que Catuaí amarillo presentaba $79 \pm 0,4\%$. En segundo lugar, en condiciones controladas, en

viales con granos de café pergamino, según el método desarrollado por Álvarez *et al.* (2001), se estimó el número de estados biológicos y la tasa de crecimiento poblacional (r_m) en las 10 accesiones más resistentes seleccionadas previamente y en el testigo ‘Catuaí amarillo IAC 99’. Aunque en la primera generación se registró un menor número de huevos y larvas, al igual que la r_m en las accesiones MG0004 (‘Borbón amarillo’), MG0175 (‘Caturra’ x Híbrido de ‘Timor IAC 2012’), MG0205 (‘Guatenano’) y MG0230 (‘Catuaí Erecta’), en las siguientes generaciones la r_m no difirió entre los genotipos probados. Estos resultados indican que estos genotipos eran susceptibles a *H. hampei* y explica porque en las generaciones siguientes no se mantuvo la disminución de la r_m ; lo que confirma los resultados de la evaluación de la CCC y de Anacafé, en los cuales estas accesiones son susceptibles a *H. hampei* (Cortina y Moncada 1997; Villagran 1991).

Por otro lado, se avanzó en el desarrollo de una variedad del cruce de cinco líneas de la variedad Castillo®, con resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) y características agronómicas deseables (Cortina *et al.* 2013; Flórez *et al.* 2018), por tres introducciones etíopes. Los híbridos F1 se llevaron a la generación F2 y se evaluó el número de estados de la broca del café en condiciones controladas y en campo. En el primer caso se identificaron 68 plantas F2 cuya infestación fue menor de 18,67 a 37,7% ($P < 0,001$) con relación a los testigos susceptibles. En el segundo caso, la infestación por este coleóptero de las 68 plantas F2 fue menor de 29,05 a 73,10% ($P < 0,001$) con respecto de los testigos. Estas 68 plantas F2 mostraron efecto de antibiosis contra *H. hampei*. Se demostró que la selección de las progenies resistentes en las generaciones en segregación permitirá obtener una variedad con menor infestación por esta plaga (Molina *et al.* 2022).

Métodos de evaluación de antixenosis en el género *Coffea* a *H. hampei*

La antixenosis o no preferencia mide el grado de atraktividad hacia la planta huésped (Mahob *et al.* 2021). En la mayoría de los estudios, la atraktividad de una planta huésped es el conjunto de rasgos químicos (específicamente compuestos orgánicos volátiles) y también morfológicos que son detectados a distancia por un insecto, que pueden promover la elección de la planta huésped para alimentación y reproducción (Morrison *et al.* 2019).

En los años 90, en el laboratorio de Entomología de Anacafé y en el Instituto Salvadoreño de Investigaciones de Café (ISIC), se evaluó la atraktividad de frutos de las variedades de *C. arabica* y de especies diploides, utilizando olfatómetros en forma de T dentro de los cuales se hacen correr los olores, comparando frutos de dos variedades o especies de café, para que lleguen al insecto y provoquen un estímulo que lo conduzca hacia el olor que prefiere (Duarte *et al.* 1990). Las variedades comerciales de *C. arabica* fueron las más atractivas para la broca del café, entre las cuales Pacas mostró la mayor preferencia, mientras que la especie diploide *C. kapakata* presentó la menor atracción seguida por *C. liberica*. Por otro lado, no se detectó relación entre la morfología del fruto y la atraktividad de *H. hampei*, pero al parecer, el sentido del olfato fue el más implicado en la selección del hospedero (Duarte *et al.* 1990). En 2007, López y Marroquín compararon la atracción de la broca a frutos de especies y variedades del género *Coffea*, mediante un olfatómetro de caída de vidrio con dos pozos, utilizando a ‘Borbón Santa Ana’ y ‘Borbón

elite 33' como referencia. La variedad 'Pacas' presentó la mayor atracción, similar a los resultados de Duarte *et al.* (1990), mientras que la especie *C. canephora* fue la menos preferida por la broca en comparación con las variedades de referencia.

En 2004, Romero y Cortina (2004b) evaluaron la antixenosis de frutos de diez introducciones etíopes de *C. arabica*, una de *C. liberica* (CCC1025) y la variedad 'Caturra' como testigo susceptible, según un método de tipo "selección libre" desarrollado por Álvarez *et al.* (2002). Este método consistió en utilizar una jaula entomológica de 1,7 m x 1,7 m de base x 1,8 m de altura, cubierta con muselina blanca, en la cual los insectos podían captar el olor y percibir el color, el tamaño y la forma de los frutos, volando. Cincuenta frutos maduros de cada introducción de café (unidad experimental) se colocaron en una bandeja de malla metálica de 20 x 15 cm, suspendida a 55; 85; 115 y 145 cm del suelo, es decir un total de 12 bandejas distribuidas al azar, en cada nivel. Las hembras adultas se liberaron en el piso en relación 1:1. Ocho días después, se contaron los frutos perforados en cada unidad experimental (Fig. 4). No hubo diferencia significativa entre los promedios de infestación de las diferentes introducciones (Fig. 4). Romero y Cortina (2004b) evaluaron también la antixenosis con un método "sin selección" utilizando jaulas cilíndricas (1,2 m de alto x 0,4 m de diámetro), con 50 frutos por introducción y 50 hembras adultas por jaula, todo repetido tres veces en el tiempo. Igualmente, no hubo diferencia significativa entre los promedios de infestación de las diferentes introducciones (Fig. 4).

En la comparación de los resultados de los métodos por olfatometría y el uso de jaulas entomológicas, no se puede negar la existencia de una forma de preferencia de la broca hacia diferentes genotipos de café. Esto puede sugerir que el espacio proporcionado por las jaulas entomológicas es demasiado restringido para permitir a la broca orientarse hacia los diferentes genotipos según su potencial atractivo. Por lo tanto, sería conveniente mejorar el rendimiento de los métodos olfatométricos para poder afinar los resultados ya obtenidos.

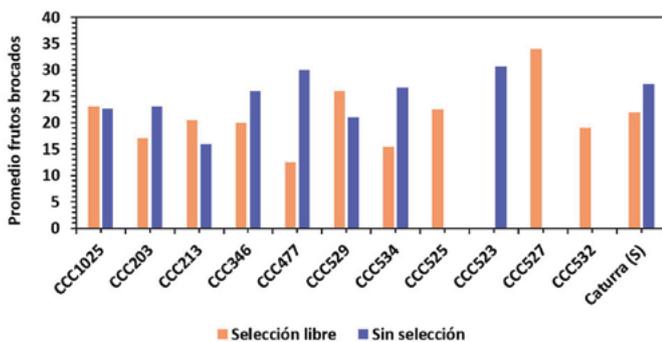


Figura 4. Promedio de frutos brocados de introducciones etíopes de *C. arabica* (CCC203, CCC213, CCC346, CCC477, CCC529, CCC534, CCC525, CCC523, CCC527, CCC532), de *C. liberica* (CCC1025) y la variedad 'Caturra', en ensayos de antixenosis con selección libre y sin selección (Adaptado de Romero y Cortina 2004b).

Consideraciones finales

En Colombia, la implementación de las prácticas del MIB basadas en estrategias de control cultural, biológico y químico ha sido exitosa para reducir los niveles de infestación de *H. hampei* por debajo del umbral de daño económico (Aristizábal *et al.* 2012). Entre estas prácticas, el control cultural mediante la recolección de frutos maduros y secos en el árbol y en el suelo, ha sido el método de mayor adopción por parte de los

caficultores (Duque y Chaves 2000; Aristizábal *et al.* 2002, 2006). Además, el empleo de insecticidas se ha reducido y las aplicaciones se realizan en focos, previa evaluación de la infestación de la broca en campo (Aristizábal *et al.* 2002).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático Global (IPCC, 2021) los trópicos y sub trópicos serán más vulnerables al cambio climático, por esto se estima que en escenarios de calentamiento global, las regiones cafeteras con mayores temperaturas a bajas altitudes serán altamente vulnerables a las infestaciones de *H. hampei* (Giraldo-Jaramillo *et al.* 2019; Asfaw *et al.* 2019; Azrag *et al.* 2019; Constantino *et al.* 2021); se incrementarán hasta en un 24% las pérdidas por plagas como la broca (Jaramillo *et al.* 2009a, 2011; Magrach y Ghazoul 2015); y se expandirá el rango geográfico de este insecto, actualmente se encuentra a altitudes mayores a 1.800 msnm en África oriental (Kyamanywa *et al.* 2009). De igual forma, las poblaciones silvestres del género *Coffea* serán más sensibles a la extinción (Davis *et al.* 2019), debido a que entre el 39 al 59% del área de cultivo actual podría volverse inadecuada para el cultivo de café en Etiopía (Moat *et al.* 2017), y se estima que el área total adecuada para el cultivo de café disminuirá entre 73% a 88% en 2050 (Imbach *et al.* 2017).

De acuerdo con lo anterior, una alternativa prometedora dentro del MIB es el control genético. Este debería contribuir a la sostenibilidad de la caficultura por medio del desarrollo de variedades resistentes a la broca, mediante el cruzamiento de variedades comerciales con excelentes características agronómicas por introducciones etíopes de *C. arabica* y de accesiones de *C. liberica* con efecto de antibiosis contra *H. hampei*. Dado que el mecanismo de resistencia que se expresa como menor número de estados de la broca es cuantitativo y heredable de los padres a las poblaciones en segregación, estas poblaciones de café se avanzarán hasta la generación F₅, en la que se alcanzara un alto porcentaje de homocigosis; para seleccionar de las generaciones en segregación, las progenies con menor infestación por broca y características agronómicas deseables. Adicionalmente, es necesario continuar con la búsqueda de introducciones con efecto de antixenosis contra este coleóptero, mecanismo de resistencia que no ha sido suficientemente estudiado.

Otras estrategias de resistencia de la planta de café contra *H. hampei* involucran el uso de inhibidores de las α -amilasas (Martínez *et al.* 2000), enzimas digestivas que descomponen los polisacáridos en el intestino medio de la broca. Es así como, Valencia *et al.* (2000) han conseguido reducir la actividad de las α -amilasas de *H. hampei* en 80% a través de un extracto crudo de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. Seguidamente, de Azevedo Pereira *et al.* (2006) han logrado inhibir la actividad de las α -amilasas de la broca en 65% gracias a un gen que codifica el inhibidor de α -amilasa de *Phaseolus coccineus* L., expresado en plantas de tabaco.

Adicionalmente, un inhibidor de aspártico proteasas aislado de semillas de *Lupinus bogotensis* Benth. (Fabaceae) (LbAPI) fue altamente efectivo para inhibir las aspártico proteasas de la broca (Molina *et al.* 2011), enzimas digestivas que digieren las proteínas en el tracto digestivo del insecto (Preciado *et al.* 2000). En ensayos *in vitro* LbAPI inhibió la actividad de las aspártico proteasas de la broca (Molina *et al.* 2010), y en dietas artificiales LbAPI ocasionó 50% de mortalidad de *H. hampei* con una dosis letal media (DL₅₀) de 0.91% (Molina *et al.* 2014). Posteriormente, la transferencia del gen del inhibidor de α -amilasa de *P. vulgaris* a tabaco mostró

que los extractos de las semillas transgénicas inhibieron las α -amilasa de la broca (Barbosa *et al.* 2010). Sin embargo, el uso de variedades de café transgénicas usando estos inhibidores no se ha conseguido hasta la fecha.

Recientemente, los frutos de plantas de *C. arabica* que expresan el gen que codifica la proteína Cry10Aa de *Bacillus thuringiensis*, aislada previamente por Méndez-López *et al.* (2003), tuvieron un daño por broca inferior a 9% en comparación con el 100% de daño de los frutos de las plantas control, lo que confirma la expresión estable del gen Cry10Aa (Valencia-Lozano *et al.* 2021). Sin embargo, el cultivo de variedades de café transgénicas con resistencia a *H. hampei* sigue siendo un desafío por los interrogantes de su uso en la bioseguridad y biodiversidad agrícola, así como los riesgos para la salud de los consumidores.

También, se han identificado repelentes como los monoterpenos verbenona y α -pineno para el control de *H. hampei* (Jaramillo *et al.* 2013). En pruebas de campo en Hawái, se identificó un sesquiterpeno (*E, E*)- α -farneseno, producido por los frutos de café infestados, con efecto de repelencia contra la broca; con una reducción de hasta 80% en las capturas de broca en las trampas conteniendo el atrayente metanol:etanol en relación 3:1, en comparación con las trampas con solo el atrayente (Vega *et al.* 2017). Recientemente, se determinó que las plantas de café tratadas con β -cariofileno mostraron una menor infestación de la broca entre 33 y 45% (Góngora *et al.* 2020).

De otra parte, análisis de la microbiota de la broca han identificado especies de bacterias simbióticas responsables de la descomposición de un alcaloide del grupo de las xantinas (1,3,7-trimetilxantina) conocido como cafeína (Ceja-Navarro *et al.* 2015; Vega *et al.* 2021). Este alcaloide tiene efectos negativos contra insectos (Vega *et al.* 2003). No obstante, *H. hampei* es el único insecto que se alimenta solo de semillas de café, a través de un mecanismo que metaboliza la cafeína y evita sus efectos tóxicos (Vega *et al.* 2015). Por esta razón, el conocimiento de las bacterias que utilizan la cafeína como única fuente de carbono y nitrógeno en el intestino de la broca abre nuevas posibilidades para el control de este insecto a través de la interferencia con la detoxificación de este alcaloide (Infante, 2018).

Literatura citada

- ABEBE, M. 1998. Further evidence on the occurrence of coffee berry borer in Ethiopia. Resumen de la segunda conferencia intercontinental sobre broca del café. Tapachulas, México. 75-76 p.
- ADKINSSON, P. L.; DYCK, V. A. 1984. Variedades resistentes en los sistemas de manejo de plagas. pp. 253-271. En: Maxwell, F. G.; Jennings, P. R. (Eds.). Manejo de plantas resistentes a insectos. Primera edición. Limusa. México.
- ALÈGRE, C. 1959. Climates et caféiers d'Arabie. Agronomie Tropicale 14: 23-58.
- ALONZO, F. R. 1984. Biología de la broca del fruto de café. pp. 45-69. En: IICA (Ed.). El problema de la broca *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) y la caficultura. Aspectos relacionados con importancia, daño, identificación, biología, ecología y control. POMECAFE. San José, Costa Rica. 242 p.
- ÁLVAREZ, J. H.; CORTINA, H. A.; VILLEGAS, J. F. 2001. Método para evaluar antibiosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en café bajo condiciones controladas. Revista Cenicafé 52 (3): 205-214.
- ÁLVAREZ, J. H.; CORTINA, H. A.; VILLEGAS, J. F. 2002. Evaluación de antixenosis a *Hypothenemus hampei* en café bajo condiciones controladas. Revista Cenicafé 53 (1): 49-59.
- ÁLVAREZ, J. E.; CORTINA, H. A. 2004. ¿Presenta partenogénesis *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)? Fitotecnia Colombiana 4: 107-111.
- ALVES DA SILVA, S.; ALVARENGA PEREIRA, F. R. G.; DE AZEVEDO LIRA, N.; MICOTTI DA GLORIA, E.; CHALFOUN, S. M.; BATISTA, L. R. 2020. Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. Food Control. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>
- ANDREEV, D.; BREILID, H.; KIRKENDALL, L.; BRUN, L. O.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1998. Lack of nucleotide variability in a beetle pest with extreme inbreeding. Insect Molecular Biology 7 (2): 197-200. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2583.1998.72064.x>
- ANONYMOUS, 1979. New Records. Fiji. Coffee. Quarterly Newsletter. FAO Plant Protection Committee for the South East Asia and Pacific Region 22: 4.
- ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; QUIROS, O.; WILCHES, A.; LASHERMES, P.; BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. 2001. Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. Euphytica 118: 53-65. <https://doi.org/10.1023/A:1004013815166>
- ARCILA, J.; JARAMILLO, A.; BALDIÓN, V.; BUSTILLO, A. E. 1993. La floración del cafeto y su relación con el control de la broca. Avances Técnicos Cenicafé 193: 1-7.
- ARCILA, A.; DUARTE, A. F.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P. 2013. Nuevo Producto en el Manejo Integrado de la Broca del Café en Colombia. Avances Técnicos Cenicafé 437: 1-8.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G. 2002. Cambios en la adopción de los componentes del manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) a través de metodologías participativas. Revista Colombiana de Entomología 28 (2): 153-160. <https://doi.org/10.25100/socolen.v28i2.9641>
- ARISTIZÁBAL, L. F.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G.; BUSTILLO, A. E. 2004. Introducción y evaluación de *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) en fincas de pequeños caficultores a través de investigación participativa. Revista Colombiana de Entomología 30 (2): 219-224. <https://doi.org/10.25100/socolen.v30i2.9559>
- ARISTIZÁBAL, L. F.; VÉLEZ, J. C.; LEÓN, C. A. 2006. Diagnóstico del manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) con caficultores de Caldas. Revista Colombiana de Entomología 32 (2): 117-124. <https://doi.org/10.25100/socolen.v32i2.9377>
- ARISTIZÁBAL, L. F.; LARA, O.; ARTHURS, S. P. 2012. Implementing an integrated pest management for coffee berry borer in a specialty coffee plantation in Colombia. Journal of Integrated Pest Management 3(1). <https://doi.org/10.1603/IPM11006>
- ASFAW, E.; MENDESIL, E.; MOHAMMED, A. 2019. Altitude and coffee production systems influence extent of infestation and bean damage by the coffee berry borer. Archives of Phytopathology and Plant Protection 52 (1-2): 170-183. <https://doi.org/10.1080/03235408.2019.1594541>
- AZRAG, A. G. A.; YUSUF, A. A.; PIRK, C. W. W.; NIASSY, S.; MBUGUA, K. K.; BABIN. 2019. Temperature-dependent development and survival of immature stages of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). Bulletin Entomological Research 110 (2): 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0007485319000476>
- BAKER, P. S. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in Southern Mexico. Folia Entomológica Mexicana 61: 9-24. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302039591>
- BAKER, P. S.; BARRERA, J. F.; RIVAS, A. 1992. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae)

- on coffee trees in southern Mexico. *Journal of Applied Entomology* 29 (3): 656-662. <https://doi.org/10.2307/2404473>
- BAKER, P. S. 1999. The coffee berry borer in Colombia. 1st Edition. CABI. Chinchiná, Colombia. 146 p.
- BAKER, P. S.; BARRERA, J. F.; RIVAS, A. 1992. Life - history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. *Journal of Applied Entomology* 29 (3): 656-662. <https://doi.org/10.2307/2404473>
- BARBOSA, A. E. A. D.; ALBURQUERQUE, E. V. S.; SILVA, M. C. M.; SOUZA, D. S. L.; OLIVEIRA-NETO, O. B.; VALENCIA, A.; ROCHA, T. L., DE SA, M. F. 2010. α -amylase inhibitor-1 gene from *Phaseolus vulgaris* expressed in *Coffea arabica* plants inhibits α -amylases from the coffee berry borer. *BMC Biotechnology* 10: 44. <https://doi.org/10.1186/1472-6750-10-44>
- BARRERA, J. F.; GÓMEZ, J.; ALAUZET, C. 1995. Can the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) reproduce by parthenogenesis?. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 77: 351-354. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb02334.x>
- BEAVER, R. A.; LIU, L. Y. 2010. An annotated synopsis of Taiwanese bark and ambrosia beetles, with new synonymy, new combinations and new records. *Zootaxa* 2602: 1-147. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2602.1.1>
- BEILLE, L. 1925. Les *Stephanoderes* sur les Caféiers cultivés à la Côte d'Ivoire. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale* 45: 387-388.
- BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C. 1994. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephonomia stephanoderis* para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. *Revista Colombiana de Entomología* 20 (4): 247-253. <https://doi.org/10.25100/socolen.v20i4.10038>
- BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; MONTOYA, E. C. 2003. Análisis económico del manejo integrado de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé* 54 (1): 5-23.
- BENAVIDES, P.; VEGA, F. E.; ROMERO-SEVERSON, J.; BUSTILLO, A. E.; & STUART, J. J. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Annals of the Entomological Society of America* 98 (3): 359-366. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2005\)098\[0359:BABOAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2005)098[0359:BABOAI]2.0.CO;2)
- BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C.; BUSTILLO, A. E. 2012. IPM program to control Coffee Berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. pp. 511-540. En: Perveen F. (Ed.). *Insecticides: Advances in integrated pest management*. InTech Europe. Rijeka, Croatia. 708 p. <https://doi.org/10.5772/28740>
- BENAVIDES, P.; GIL, Z. N.; CONSTANTINO, L. M.; VILLEGAS, C.; GIRALDO, M. 2013. Plagas del café: Broca, minador, cochinitas harinosas, araña roja y monalón. pp. 215-260. En: Federación Nacional de Cafeteros (Ed.). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Volumen 2. Chinchiná, Colombia. 340 p.
- BENAVIDES MACHADO, P.; ÁNGEL, C. A.; RIVILLAS, C. A. 2021. Sanidad vegetal. pp. 133-178. En: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad*. 234 p. https://doi.org/10.38141/10791/0014_9
- BERGAMIN, J. 1943. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). *Arquivos do Instituto Biológico (San Paulo)* 14: 31-72.
- BERTHET, J. J. A. 1913. Caruncho do café. Informação prestada pelo Sr. Dr. Director do Instituto Agronômico a respeito de amostras de café vindas do Congo Belga. *Boletim de Agricultura (San Paulo)* 14: 312-313.
- BORSA, P.; COUSTAU, C. 1996. Single-stranded DNA conformation polymorphism at the Rdl locus in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Heredity* 76: 124-129. <https://doi.org/10.1038/hdy.1996.19>
- BORSA, P.; KJELLBERG, F. 1996. Secondary sex ratio adjustment in a pseudoarrhenotokous insect, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences*. Paris, Ser. III 319: 1159-1166.
- BOTTRILL, M.; LUDOWICI, V.; TURNER, R. 2018. Biosecurity Plan for the Australian Coffee Industry AgriFutures (Wagga-Wagga, NSW, Australia) 1 (18): 023. <https://www.agrifutures.com.au/wp-content/uploads/2018/07/18-023.pdf>
- BRUN, L. O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D. M. 1989. Endosulfan resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. *Journal of Economic Entomology* 82 (5): 1311-1316. <https://doi.org/10.1093/jee/82.5.1311>
- BRUN, L. O.; BORSA, P.; GAUDICHON, V.; STUART, J. J.; ARONSTEIN, K.; COUSTAU, C.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1995a. Functional haplodiploidy. *Nature* 374: 506. <https://doi.org/10.1038/374506a0>
- BRUN, L. O.; STUART, J.; GAUDICHON, V.; ARONSTEIN, K.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1995b. Functional haplodiploidy: A mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92 (21): 9861-9865. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.21.9861>
- BURBANO, E. E.; WRIGHT, M. M.; BRIGHT, D. E.; VEGA, F. E. 2011. New record for the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Hawaii. *Journal of Insect Science* 11 (117): 1-3. <https://doi.org/10.1673/031.011.11701>
- BUSTAMANTE, L. J. 2006. Evaluación de resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) por antibiosis sobre *Coffea arabica* L. en condiciones controladas. Tesis Ingeniero agrónomo. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 57 p.
- BUSTILLO, A. E.; OROZCO, J.; BENAVIDES, P.; PORTILLA, M. 1996. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé* 47 (4): 215-230.
- 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. <https://doi.org/10.25100/socolen.v32i2.9376>
- BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. *Cenicafé*. Chinchiná, Colombia. 134 p.
- BUSTILLO, A. E. 2007. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé* 24: 1-40.
- CABI, 2008. Final Report. CDF on sustainable pest management for coffee small-holders in Laos and Vietnam, CABI Southeast and East Asia, Selangor, Malaysia, 19 pp. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08b8e40f0b652dd000d46/CABI-CDF-CBB-in-LaosVietnam-2008.pdf>
- CÁRDENAS, M. R.; BUSTILLO, A. E. 1991. La broca del café en Colombia. In: Barrera, J. F., Castillo, A., Gómez, J., Malo, E., Infante, F. (Eds.), *Resúmenes, I Reunión Intercontinental sobre Broca del Café Tapachula, Chiapas, México*. pp. 42-44.
- CEJA-NAVARRO, J. A.; VEGA, F. E.; KARAOZ, U.; HAO, Z.; JENKINS, S.; LIM, H. C.; KOSINA, P.; INFANTE, F.; NORTHEN, T. R.; BRODIE, E. L. 2015. Gut microbiota mediate caffeine detoxification in the primary insect pest of coffee. *Nature Communications* 6: 7618. <https://doi.org/10.1038/ncomms8618>
- CHAPMAN, R. F. 2003. Reproductive system: female. pp. 313-343. Stephen J. Simpson S. J. and Douglas A. E (Ed). *The Insects. Structure and Function*, Fifth Edition. Cambridge University Press, New York. 901 p.
- CHAPMAN, E. G.; MESSING, R. H.; HARWOOD, J. D. 2015. Determining the origin of the coffee berry borer invasion of Hawaii. *Annals of the Entomological Society of America* 108 (4): 585-592. <https://doi.org/10.1093/aesa/sav024>

- CHEVALIER, A. 1947. III. Systématique des caféiers et faux-caféiers, maladies et insectes nuisibles. pp. 302-307. En: Lechevalier, P. (Ed.). Les caféiers du globe. Encyclopedie Biologique. Paris, Francia. 355 p.
- COHIC, F. 1958. Le "scolyte du grain de café" en Nouvelle-Calédonie. *Café Cacao*, Thé 2 (1): 10-14.
- CONSTANTINO, L. M.; NAVARRO, L.; BERRIO, A.; ACEVEDO, F. E.; RUBIO, D.; BENAVIDES, P. 2011. Aspectos biológicos, morfológicos y genéticos de *Hypothenemus obscurus* e *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Revista Colombiana de Entomología* 37 (2): 173-182. <https://doi.org/10.25100/socolen.v37i2.9071>
- CONSTANTINO, L. M.; GIL, Z. N.; MONTOYA, E. C.; BENAVIDES, P. 2021. Coffee Berry borer (*Hypothenemus hampei*) emergence from ground fruits across varying altitudes and climate cycles, and the effect on coffee tree infestation. *Neotropical Entomology* 50: 374-387. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00863-5>
- CORBETT, G. H. 1933. Some preliminary observations on the coffee berry beetle borer *Stephanoderes* (*Cryphalus*) *hampei* Ferr. *The Malayan Agricultural Journal* 21: 8-22. <https://www.cabi.org/ISC/abstract/19330500537>
- CORPORAAL, J. B. 1921. De Koffiebesboorder op Sumatra's Oostkust en Atjeh. Mededeelingen van het Algemeen Proefstation der A.V.R.O.S.; Algemeene Serie No. 12. p. 20.
- CORTINA, H. A.; ACUÑA, J. R.; MONCADA, M. P.; HERRERA, J. C.; MOLINA, D. 2013. Variedades de café. Desarrollo de variedades. pp. 169-202. En: Federación Nacional de Cafeteros (Ed.). Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Volumen 1. Chinchiná, Colombia. 326 p.
- CORTINA, H.; MONCADA, M. P. 1997. Evaluación del germoplasma colombiano de café por resistencia a la broca *Hypothenemus hampei*. Resúmenes V Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. Santa Marta, Colombia, 28-30 de mayo. p. 124.
- CURE, J. R.; RODRÍGUEZ, D.; GUTIÉRREZ, A. P.; PONTI, L. 2020. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). *Scientific Reports* 10: 12262. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68989-x>
- DAMON, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research* 90 (6): 453-465.
- DA SILVA, R. S.; SILVA, J. R.; DOS SANTOS, I. B.; FILGUEIRA, M.; SÁ FARIAS, E.; MARTINS, J. C.; ZAMBOLIM, L.; COUTINHO, M. 2019. Evaluation of the resistance of *Coffea canephora* to *Oligonychus ilicis* (Acari: Tetranychidae) and the preimaginal conditioning effect on resistance using a biological life table. *International Journal of Pest Management* 65 (1): 10-15. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1424376>
- DAVIDSON, A., 1967. The occurrence of coffee berry borer, *Hypothenemus* (*Stephanoderes*) *hampei* (Ferr), in Ethiopia. *Café* (Peru) 8: 1-3.
- DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 152 (4): 465-512. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x>
- DAVIS, A. P.; CHADBURN, H.; MOAT, J.; O'SULLIVAN, R.; HARGREAVES, S.; LUGHADHA, E. N. 2019. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances* 5 (1): eaav3473. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>
- DAVIS, A. P.; RAKOTONASOLO, F. 2021. Six new species of coffee (*Coffea*) from northern Madagascar. *Kew Bulletin* 76: 497-511. <https://doi.org/10.1007/s12225-021-09952-5>
- DE AZEVEDO PEREIRA, R.; NOGUEIRA BATISTA, J. A.; MATTAR DA SILVA, M. C.; DE OLIVEIRA NETO, O. S.; ZANGRANDO FIGUEIRA, E. L.; VALENCIA JIMÉNEZ, A.; GROSSI-DE-SA, M. F. 2006. An α -amylase inhibitor gene from *Phaseolus coccineus* encodes a protein with potential for control of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Phytochemistry* 67 (18): 2009-2016. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.06.029>
- DE INGUNZA, S. M. A. 1964. La "Broca del Café" *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Col.: Ipinae) en el Perú. *Revista Peruana de Entomología* 7: 96-98. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/entomologia/v07/pdf/a14v07.pdf>
- DE MATOS, J. W.; GUERREIRO-FILHO, O.; GONÇALVES, W.; ALVES, D.; DOS REIS, B. J. 2011. Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in *Coffea* species. *Euphytica* 181: 253-260. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0418-x>
- DIAS SILVA, W.; MOURA MASCARIN, G.; MANESCO ROMAGNOLI, E.; SIMÕES BENTO, J. M.; 2012. Mating behavior of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of Insect Behavior* 25: 408-417. <https://doi.org/10.1007/s10905-011-9314-4>
- DUARTE, M. T.; DECAZY, B.; VILLAIN, L.; CARRILLO, E. 1990. Determinación de la atractividad de frutos de varios cultivares de café a la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* F., utilizando el método de olfatometría a nivel de laboratorio. pp. 47-58. En: Memoria Técnica de Investigaciones en Café, 1989-1990. Anacafé. Guatemala. 115 p.
- DUFOUR, B. P. 2013. Le scolyte des baies du caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.), présent en Martinique. *Cahiers Agricultures* 22 (6): 575-578. <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0672>
- DUFOUR, B. P., DIMAN, C., DE SAN MATEO, A., MOUTTET, R. 2022. Le scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) détecté en Guadeloupe. *Cahiers Agricultures* 31 (1): 1-6. <https://doi.org/10.1051/cagri/2022008>
- DUQUE, H.; MARQUEZ-Q, A.; HERNÁNDEZ-S, M. 2002. Estudios de caso sobre costos de manejo integrado de la broca del café en el Departamento de Risaralda. *Revista Cenicafé* 53: 106-118.
- DUQUE, H.; BAKER, P. 2003. Devouring Profit, the socio economics of coffee berry borer IPM. CABI-Cenicafé. Chinchiná, Colombia. 106 p.
- DUQUE, H.; CHÁVES, B. 2000. Estudio Sobre Adopción del Manejo Integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*. Cenicafé. Chinchiná, Colombia. 100 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2022. Statistics Division. Disponible en: <http://faostat.fao.org/> [Fecha de revisión: 6 de mayo 2022].
- FAZUOLI, L. C. 2004. Melhoramento genético do cafeeiro. Paper presented at 10th Reunião itinerante de fitossanidade do Instituto Biológico, Mococa. SP. 2-28.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. 2022. Estadísticas cafeteras. Disponible en: <http://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras>. [Fecha de revisión: 6 de mayo 2022].
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. 2004. Cartilla cafetera. No. 14. Manejo Integrado de broca. 44 p.
- FERRARI, J. A. G. 1867. Die Forst- und Baumzuchtsschädlichen Borkenkäfer; Druck und Verlag von Carl Gerold's Sohn: Wien, Austria; pp. 12-13. <https://doi.org/10.1002/mmnd.18680120209>
- FLEUTIAUX, E. 1901. Un ennemi du café de Kouilou (Congo). La nature - Revue des sciences et de leur application a l'art et a l'industrie 29: 4.
- FLÓREZ, C.; ARIAS, J.; MALDONADO, C.; CORTINA, H.; MONCADA, P.; QUIROGA, J.; MOLINA, D.; GARCÍA, J.; DUQUE, H. 2018. Variedades Castillo® zonales Resistencia a la roya con mayor productividad. *Avances Técnicos Cenicafé* 489: 1-8.
- FRAPPA, C. 1924. In hoever bestaan er verschillen in de vatbaarheid der koffiesoorten voor den Koffiebessenboeboek?. *Meded. Koffiebessenboeboek-Fonds* 11: 315-358.
- FRIEDERICH, K. 1924. Bionomische gegevens omtrent den Koffiebessenboeboek. *Mededeelingen van het Koffiebessenboeboek-Fonds* 11, 261-286. *The Review Applied Entomology. Serie A* 13: 11-12.

- GANDIA, I. M.; BONCATO, A. A. 1964. A note on the occurrence of the coffee borer in the Philippines. *Coffee and Cacao Research Journal* 7: 124-125.
- GAUTHIER, N. 2010. Multiple cryptic genetic units in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae): Evidence from microsatellite and mitochondrial DNA sequence data. *Biological Journal of the Linnean Society* 101 (1): 113-129. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01483.x>
- GAVIRIA, A. M.; CÁRDENAS, R.; MONTOYA, E. C.; MADRIGAL, A. 1995. Incremento poblacional de la broca del café *Hypothenemus hampei* relacionado con el desarrollo del fruto del café. *Revista Colombiana de Entomología* 21 (3): 145-151. <https://doi.org/10.25100/socolen.v21i3.9976>
- GIRALDO-JARAMILLO, M.; GARCIA, A. G.; 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-JARAMILLO, M.; MONTOYA, E. C.; SARMIENTO, N.; QUIROGA, A.; ESPINOSA, J. C.; GARCÍA, J. C.; DUQUE, H.; BENAVIDES, P. 2019. Vulnerabilidad de la caficultura de Antioquia a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avance Técnico* 507: 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0507>
- GÓNGORA, C.; TAPIAS, J.; JARAMILLO, J.; MEDINA, R.; GONZALEZ, S.; CASANOVA, H.; ORTIZ, A.; BENAVIDES, P. 2020. Evaluation of terpene-volatile compounds repellent to the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Chemical Ecology* 46 (9): 881-890. <https://doi.org/10.1007/s10886-020-01202-5>
- HAGEDORN, M. 1910. Wieder ein neuer Kaffeeschädling. *Entomologische Blätter* 6: 1-4.
- HAMILTON, L.J.; HOLLINGSWORTH, R. G.; SABADO-HALPERN, M.; MANOUKIS, N. C.; FOLLETT, P. A.; JOHNSON, M. A. 2019. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Curculionidae) development across an elevational gradient on Hawai'i Island: Applying laboratory degree-day predictions to natural field populations. *PLoS ONE* 14 (7): e0218321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218321>
- HARGREAVES, H. 1926. Notes on the coffee berry borer (*Stephanoderes hampei*, Ferr.) in Uganda. *Bulletin of Entomological Research* 16 (4): 347-354. <https://doi.org/10.1017/S0007485300028637>
- HERNÁNDEZ, P. M.; SÁNCHEZ, A. 1972. La broca del fruto del café. *Boletín Asociación Nacional del Café Subgerencia de Asuntos Agrícolas* 11: 1-72.
- HERNÁNDEZ, L. R. 2002. El bumerang maldito. *Encuentro en la Red: Diario Independiente de Asuntos Cubanos*, año III, Edición 278, Lunes 14 de Enero de 2002. Available online: <http://www.cubaencuentro.com/ecologia/2002/01/14.html>. Last accessed: April 21, 2022.
- HESSE, A. 1925. No. 389. Arrête Ministériel incorporant le Dahomey dans la liste des pays contaminés par le scolyte du grain de café (*Stephanoderes coffeae*). *Bulletin Officiel du Ministère des Colonies*, Paris, 25 August 1925.
- HOPKINS, A. D. 1914. List of generic names and their type-species in the coleopterous superfamily Scolytidae. *Proceedings of the United States National Museum* 48 (2066): 115-136. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.2066.115>
- HUTSON, J. C. 1936. The coffee berry-borer in Ceylon. *Tropical Agriculture*. (Trinidad) 87: 378-383.
- INFANTE, F.; CASTILLO, A.; VEGA, F. E. 2009. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): A short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews* 2: 129-147. <https://doi.org/10.1163/187498209X12525675906031>
- INFANTE, F. 2018. Pest management strategies against the coffee Berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66 (21): 5275-5280. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04875>
- INWOOD, J. 2005. Last to fall. *The Panama News*, Vol. 11, No. 12, June 19-July 2, 2005.
- IMBACH, P.; FUNG, E.; HANNAH, L.; NAVARRO-RACINES, C. E.; ROUBIK, D. W.; RICKETTS, T. H.; HARVEY, C. A.; DONATTI, C. I.; LÄDERACH, P.; LOCATELLI, B.; ROHRDANZ, P. R. 2017. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114 (39): 10438-10442. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>
- IPCC. 2021. *Climate change 2021. The Physical Science Basis. Working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental panel on climate change (IPCC)*.
- JARAMILLO, J.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C.; BORGEMEISTER, C. 2005. Biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) by *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. *Bulletin of Entomological Research* 95 (5): 467-472. <https://doi.org/10.1079/BER2005378>
- JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, A.; KAMONJO, C.; JARAMILLO, A.; VEGA, F.; POEHLING, H. M.; BORGEMEISTER, C. 2009a. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect. *PLoS One* 4: e6487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, A.; POEHLING, H. M.; KAMONJO, C.; BORGEMEISTER, C. 2009b. Development of a new laboratory production technique for coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), using fresh coffee berries. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 130 (3): 275-281. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00820.x>
- JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, 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.; TORTO, B.; MWENDA, D.; TROEGER, A.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H. M.; FRANCKE, W. 2013. Coffee Berry Borer Joins Bark Beetles in Coffee Klatch. *PLoS ONE* 8 (9): e74277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074277>
- JOHNSON, M. A.; RUIZ-DIAZ, C. P.; MANOUKIS, N. C.; RODRIGUES, J. C. 2020. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. *Insects* 11 (12): 882. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>
- JOHNSTON, A. 1963. *Stephanoderes hampei* in Tahiti. *Plant Protection Committee for the South East Asia and Pacific Region, Information Letter No. 23*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Far East, Bangkok, Thailand, 4 pp. *The Review of Applied Entomology. Serie A*. 1964, 52: 535.
- KADEN, O. 1930. Relatório Anual de 1929, Seção de Fitopatologia, Direção dos Serviços de Agricultura. Imprensa Nacional, São Tomé e Príncipe, 56 pp.
- KLEIN-KOCH, C. 1990. Natural regulation factors and classical biological control of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in Ecuador, *Proceedings of the International DLG-Symposium on Integrated Pest Management in Tropical and*

- Subtropical Systems, Bad Dürkheim, Federal Republic of Germany, February 8-15, 1989, pp. 331-344.
- KYAMANYWA, S.; KUCCEL, P.; URINGI, N.; KOVACH, J.; ROBERTS, A.; ERBAUGH, M. 2009. Arabica Coffee Pest Profiles in the Mt. Elgon Area of Uganda; Report on Arabica IPM-CRSP Project in Uganda; Virginia Tech: Blacksburg, VA, USA.
- KOGAN, M.; ORTMAN, E. E. 1978. Antixenosis - a new term proposed to replace Painters "Non-preference" modality of resistance. Bulletin of the Entomological Society of America 24 (2): 175-176. <https://doi.org/10.1093/besa/24.2.175>
- KUMAR, P. K. V.; PRAKASAN, C. B.; VIJAYALAKSHMI, C. K. 1990. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae): first record from India. Journal of Coffee Research 20: 161-164.
- LAMBOT, C.; HERRERA, J. C.; BERTRAND, B.; SADEGHIAN, S.; BENAVIDES, P.; GAITÁN, A. 2017. Cultivating coffee quality terroir and agro-ecosystem. pp. 17-49. In B. Folmer (Eds.). The craft and science of coffee. Elsevier, London. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00002-5>
- LE PELLEY, R. H. 1968. The Pest and Their Control. pp. 99-178. Le Pelley R. H (Ed.). Pests of coffee. Longmans Green and Co Ltd. London. 590 p.
- LEEFMANS, S. 1923. De Koffiebessenboeboek (*Stephanoderes hampei* Ferrari = coffeae Hagedorn). I- Levenswijze en oecologie. Meded. Van het. Instituut voor Plantenz. 57-94 p.
- LÓPEZ, M. I.; MARROQUÍN, J. G. 2007. Pruebas olfatómetricas para evidenciar atrayentes específicos de la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Tesis Licenciado en Biología. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 73 p. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12461/>
- LÓPEZ-GUILLÉN, G.; VALDEZ CARRASCO, J.; CRUZ-LÓPEZ, L.; BARRERA, J. F.; MALO, E. A.; ROJAS, J. C.; 2011. Morphology and structural changes in flight muscles of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) females. Environmental Entomology 40 (2): 441-448. <https://doi.org/10.1603/EN10181>
- LÓPEZ-PAZOS, S. A.; CORTÁZAR GÓMEZ, J. E.; CERÓN SALAMANCA, J. A. 2009. Cry1B and Cry3A are active against *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Invertebrate Pathology 101 (3): 242-245. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.05.011>
- MAGRACH, A.; GHAZOU, J. 2015. Climate and pest-driven geographic shifts in global coffee production: Implications for forest cover, biodiversity and carbon storage. PLoS ONE 10 (7): e0133071. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133071>
- LUBICK, N. 2010. Endosulfan's exit: U.S. EPA pesticide review leads to a ban. Science 328 (5985): 1466. <https://doi.org/10.1126/science.328.5985.1466>
- MAHOB, R. J.; NGAH, I. M.; FEUMBA, R. D.; MAHOB, H. C.; BASSOGOG, C. B.; BILONG, C. F.; EBOUEL, F. E.; ETAM, P. B.; TALIEDJE, D. M.; HANNA, R.; BABIN, R. 2021. Secondary metabolite effects of different cocoa genotypes on feeding preference of the mirid *Sahlbergella singularis* Hagl. Arthropod Plant Interact 15: 821-831. <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09857-x>
- MALDONADO, C. E.; BENAVIDES, P. 2007. Evaluación del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, controladores de *Hypothenemus hampei*, en Colombia. Revista Cenicafe 58 (4): 333-339.
- MANRIQUE, M. B. 2017. Resistencia a *Hypothenemus hampei* em genótipos de café. Programa de Pós-graduação em entomologia. Universidade Federal de Viçosa. Visçosa, Brasil. 38 p.
- MARIÑO, Y. A.; VEGA, V. J.; GARCÍA, J. M.; VERLE RODRIGUES, J. C.; GARCÍA, N. M.; BAYMAN, P. 2017a. The Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico: Distribution, Infestation, and Population per Fruit. Journal of Insect Science 17 (2): 58: 1-8. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iew125>
- MARIÑO, Y. A.; VERLE RODRIGUES, J. C.; BAYMAN, P. 2017b. Wolbachia affects reproduction and population dynamics of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*): implications for biological control. Insects 8 (1): 8. <https://doi.org/10.3390/insects8010008>
- MARIÑO, Y. A.; OSPINA, O. E.; VERLE RODRIGUES, J. C.; BAYMAN, P. 2018. High diversity and variability in the bacterial microbiota of the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae), with emphasis on Wolbachia. Journal of Applied Microbiology 125 (2): 528-543. <https://doi.org/10.1111/jam.13768>
- MARIÑO, Y. A.; BAYMAN, P.; SABAT A. M. 2021. Demography and perturbation analyses of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): Implications for management. PLoS ONE 16 (12): e0260499. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260499>
- MARTÍNEZ, C. P.; GONZALEZ, M. T.; BUSTILLO, A. E.; VALENCIA, A. 2000. Propiedades de amilasas provenientes de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Revista Colombiana de Entomología 26 (1): 39-42. <https://doi.org/10.25100/socolen.v26i1.9707>
- MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; FRÉROT, B. 1997. Factors related to native host abandonment by the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Col., Scolytidae). Journal of Applied Entomology 121: 175-180. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1997.tb01389.x>
- MENDESIL, E.; JEMBERE, B.; SEYOUM, E. 2003. Occurrence of coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. Ethiopian Journal of Biological Sciences 2 (1): 61-72.
- MENDESIL, E.; JEMBERE, B.; SEYOUM, E. 2004a. Population dynamics and distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) on *Coffea arabica* L. in southwestern Ethiopia. Ethiopian Journal of Science 27 (2): 127-134. <https://doi.org/10.4314/sinet.v27i2.18240>
- MENDESIL, E.; JEMBERE, B.; SEYOUM, E.; ABEBE, M. 2004b. The biology and feeding behavior of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) and its economic importance in Southwestern Ethiopia. Proceedings of the 20th International Scientific Colloquium on Coffee, Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), pp. 1209-1215.
- MÉNDEZ-LÓPEZ, I.; BASURTO-RIOS, R.; IBARRA, J. E. 2003. *Bacillus thuringiensis* serovar *israelensis* is highly toxic to the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae). FEMS Microbiology Letters 226: 73-77.
- MEYER, F. G. 1965. Notes on wild coffee arabica from southwestern Ethiopia, with some historical considerations. Economy Botany 19: 136-151. <https://doi.org/10.1007/BF02862825>
- MEYER, F. G. 1968. Further observations on the history and botany of the Arabica coffee Plant, *Coffea arabica* L. in Ethiopia. FAO Mission to Ethiopia 1964-65. Roma, Italia. 200 p.
- MBONDJI, P. M. 1988. Étude épidémiologique d'*Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), ravageur des baies du caféier, dans deux régions du Cameroun. Le Naturaliste Canadien 115: 245-249.
- MOAT, J.; WILLIAMS, J.; BAENA, S.; WILKINSON, T.; GOLE, T. D.; CHALLA, Z. K.; DEMISSEW, S.; DAVIS, A. P. 2017. Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. Nature Plants 3: 17081. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.81>
- MOLINA, D.; ZAMORA, H. M.; BLANCO, A. 2010. An inhibitor from *Lupinus bogotensis* seeds effective against aspartic proteases from *Hypothenemus hampei*. Phytochemistry 71 (8-9): 923-929. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.03.006>
- MOLINA, D.; BLANCO, A.; ZAMORA, H. M. 2011. Inhibidores de proteasas de plantas efectivos contra las aspártico proteasas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Revista Colombiana de Entomología 37 (2): 183-191. <https://doi.org/10.25100/socolen.v37i2.9072>

- MOLINA, D.; PATIÑO, L.; QUINTERO, M.; CORTES, J.; BASTOS, S. 2014. Effects of the aspartic protease inhibitor from *Lupinus bogotensis* seeds on the growth and development of *Hypothenemus hampei*: An inhibitor showing high homology with storage proteins. *Phytochemistry* 98: 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.11.004>
- MOLINA, D.; BOTERO, M. P.; CORTINA, H.; BENAVIDES, P. 2022. Towards a variety of coffee with an antibiosis effect against the coffee borer *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). *Euphytica* 218: 97. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03047-3>
- MONTAGNON, C.; BOUHARMONT, P. 1996. Multivariate analysis of phenotypic diversity of *Coffea arabica*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43: 221-227. <https://doi.org/10.1007/BF00123274>
- MONTERREY, J. 1991. La broca del café en Nicaragua. In: Barrera, J.F., Castillo, A., Gómez, J., Malo, E., Infante, F. (Eds.), *Resúmenes, I Reunión Intercontinental sobre Broca del Café Tapachula, Chiapas, México*, pp. 28-30.
- MONTOYA, S. A.; CÁRDENAS, R. 1994. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. *Revista Cenicafe* 45 (1): 5-13.
- MONTOYA, E. C. 1999. Caracterización de la infestación de café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Revista Cenicafe* 50: 245-258.
- MORRISON, W. R.; GROSIDIER, R. F.; ARTHUR, F. H.; MYERS, S. W.; DOMINGUE, M. J. 2019. Attraction, arrestment, and preference by immature *Trogoderma variabile* and *Trogoderma granarium* to food and pheromonal stimuli. *Journal of Pesticide Science* 93: 135-147. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01171-z>
- MORSTATT, H.; 1912. Die Schädlinge und Krankheiten des Kaffeebaumes in Ostafrika. *Pflanzer. Zeitschrift für Land- und Forstwirtschaft in Deutsch-Ostafrika* 2: 1-87.
- MUÑOZ, R. I. 1985. Medidas de control de broca del fruto del cafeto efectuadas en Honduras. Memoria, Curso sobre Manejo Integrado de Plagas del Cafeto con Énfasis en Broca del Fruto (*Hypothenemus hampei*, Ferr.), 15 al 19 de Julio de 1985. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Oficina en Guatemala, pp. 170-177.
- MUÑOZ, R. 1989. Ciclo biológico y reproducción partenogénica de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* (Ferr.). *Turrialba* 39: 415-421. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10730/A0788e03-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- NAVARRO, L.; HERNANDEZ, E.; NUÑEZ, J.; ACEVEDO, F. E.; BERRIO, A.; CONSTANTINO, L. M.; PADILLA, B. E.; MOLINA, D.; GONGORA, C.; ACUÑA, R.; STUART, J.; BENAVIDES, P. 2021. A coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) genome assembly reveals a reduced chemosensory receptor gene repertoire and male-specific genome sequences. *Scientific Reports* 11 (1): 4900. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84068-1>
- NAVARRO, L.; GÓNGORA, C.; BENAVIDES, P. 2010. Single nucleotide polymorphism detection at the *Hypothenemus hampei* Rdl gene by allele-specific PCR amplification with Tm-shift primers. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 97: 204-208. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.01.006>
- OLIVEIRA, C. M.; SANTOS, M. J.; AMABILE, R. F.; FRIZZAS, M. R.; BARTHOLO, G. F. 2018. Coffee berry borer in Conilon coffee in the Brazilian Cerrado: an ancient pest in a new environment. *Bulletin of Entomological Research* 108 (1): 101-107. <https://doi.org/10.1017/S0007485317000530>
- OSORIO, I. 2007. Se cue la broca en el café borica. Oficina de Prensa, Noticias y Eventos, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. <http://www.uprm.edu/news/articles/as2007134.html>. [Fecha de revisión: 28 de octubre 2021].
- PAINTER, R. H. 1951. Insect resistance in crop plants. K. Lawrence (Ed.). The University Press of Kansas. EE. UU. 520 p. <https://doi.org/10.1097/00010694-195112000-00015>
- PÉREZ, E. J.; BUSTILLO, A. E.; GONZÁLEZ, M. T.; POSADA, F. J. 1995. Comparación de dos dietas merídicas para la cría de *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafe* 46: 189-195.
- PLATA-RUEDA, A.; MARTÍNEZ, L. C.; COSTA, N. C. R.; ZANUNCIO, J. C.; DE SENA FERNANDES, M. E.; SERRAO, J. E.; GUEDES, R. N. C.; FERNANDES, F. L. 2019. Chlorant-raniliprole-mediated effects on survival, walking abilities, and respiration in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 172: 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.063>
- PORTILLA, M.; STRETT, D. 2006. Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. *Revista Cenicafe* 57: 37-50.
- POSADA, F. J.; VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E. 2004. Los insecticidas y el hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. *Revista Cenicafe* 55 (2): 136-149.
- PRECIADO, D. P.; BUSTILLO, A. E.; VALENCIA, A., 2000. Caracterización parcial de una proteinasa digestiva proveniente de la broca del café (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Cenicafe* 51: 20-27.
- PUERTA, G. I. 2013. Calidad del café. pp. 81-110. En: Federación Nacional de Cafeteros (Ed.). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Volumen 3. Chinchiná, Colombia. 327 p.
- PUERTA, G. I. 2015. Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafe* 461: 1-12.
- QUINTERO, C.; BUSTILLO, A. E.; BENAVIDES, P.; CHAVES, B. 1998. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) en cafetales del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 24 (3-4): 141-147.
- REID, J. 1983. Distribution of the coffee berry borer within Jamaica, following its discovery in 1978. *Tropical Pest Management* 29 (3): 224-230. <https://doi.org/10.1080/09670878309370806>
- RITCHIE, A. H., 1925. Entomological report, 1924-25. Tanganyika Territory Report Department of Agriculture. 1924-25, Dar-es-Salaam, pp. 41-44.
- RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. R.; GUTIÉRREZ, A. P.; COTES, J. M. 2017. A coffee agroecosystem model: III. Parasitoids of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.08.008>
- ROGG, H. W. 1997. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Bolivia: distribution, incidence and control programs. En: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Ed.). Bolivia.
- ROMERO, J. V. 2003. Evaluación de resistencia por antibiosis a *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytinae) en introducciones de café *Coffea* spp. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 67 p.
- ROMERO, J. V.; CORTINA, H. A. 2004a. Fecundidad y ciclo de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Revista Cenicafe* 55 (3): 221-231.
- ROMERO, J. V.; CORTINA, H. A. 2004b. Evaluación de germo-plasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Revista Cenicafe* 55 (4): 341-346.
- ROMERO, J. V.; CORTINA, H. A. 2007. Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista Colombiana de Entomología* 33 (1): 10-16.
- ROMERO, J. V.; BUSTAMANTE, L. J.; CORTINA, H. A.; MONCADA, M. P. 2012. Evaluación por resistencia a *Hypothenemus hampei* Ferrari en poblaciones derivadas de cruces entre Caturra e introducciones etíopes. *Revista Cenicafe* 63 (2): 31-49.
- ROSALES MONDRAGÓN, M.; SILVA ACUÑA, R.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, G. 1998. Estrategias para el manejo integrado del minador de la hoja y la broca del fruto del cafeto. *FONAIAP Divulga* (Venezuela) 60: 19-24.

- RUBIO, J. D.; BUSTILLO-PARDEY, A. E.; VALLEJO-ESPINO-SA, L. F.; BENAVIDES-MACHADO, P. ACUÑA-ZORNOSA, J. R. 2007. Morfología del sistema reproductor femenino y masculino de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 58: 75-82.
- RUBIO, J. D.; BUSTILLO, A. E.; VALLEJO, L. F.; ACUÑA, J. R.; BENAVIDES, P. 2008. Alimentary canal and reproductive tract of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). Neotropical Entomology 37 (2): 143-151. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000200006>
- 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 Ingeniero Agrónomo. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 87 p.
- RUIZ, L. BUSTILLO, A. E.; POSADA FLÓREZ, F. J.; GONZÁLEZ, M. T.; 1996. Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas meridicas. Revista Cenicafé 47: 77-84.
- RUIZ-CÁRDENAS, R.; BAKER, P. 2010. Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. Scientia Agricola 67 (6): 658-668. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600007>
- SALDARRIAGA, G. 1994. Evaluación de prácticas culturales en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Coleoptera: Scolytidae). Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. 57 p.
- SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; FILHO, C. R.; VILLACORTA, A.; KANAYAMA, F. S.; ALEGRE, C. R.; GROSSI, L. 2010. Coffee berry borer resistance in coffee genotypes. Brazilian Archives of Biology and Technology 53 (2): 261-268. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000200003>
- SERRA, C. A. 2006. Manejo Integrado de Plagas de Cultivos. Estado Actual y Perspectivas para la República Dominicana. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF), Santo Domingo, República Dominicana, 176 pp.
- SMITH, C. M. 2021. Conventional breeding of insect-resistant crop plants: still the best way to feed the world population. Current Opinion in Insect Science. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.11.008>
- SUN, S.; WANG, Z.; LIU, A.; LAI, S.; WANG, J.; MENG, Q.; GOU, Y.; JOHNSON A. J.; LI, Y. 2020. First record of the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on Hainan Island, China. The Coleopterists Bulletin 74 (4): 710-713. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-74.4.710>
- STAVER, C.; GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; MUSCHLER, R. G. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. Agroforestry Systems 53: 151-170. <https://doi.org/10.1023/A:1013372403359>
- SYLVAIN, P. G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. Turrialba 5 (1-2): 37-53.
- SYLVAIN, P. G. 1958. Ethiopian coffee its significance to world coffee problems. Economic Botany 12: 111-139. <https://doi.org/10.1007/BF02862767>
- TICHELER, J. H. G. 1961. Étude analytique de l'épidémiologie du scolyte des graines de café, *Stephanoderes hampei* Ferr., en Côte d'Ivoire. Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen. The Review of Applied Entomology. Ser. A 51: 434-435. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/525614>
- TICHELER, J.; QUICENO, G. 1963. Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos del café *Stephanoderis hampei* Ferr. en Costa de Marfil. Revista Cenicafé 14 (4): 223-294.
- TOTHILL, J. D. 1940. Agriculture in Uganda. Oxford U. P. London. 551 p.
- VALENCIA, A.; BUSTILLO, A. E.; OSSA, G. E.; CHRISPPEELS, M. J. 2000. α -Amylases of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and their inhibition by two plant amylase inhibitors. Insect Biochemistry and Molecular Biology 30 (3): 207-213. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(99\)00115-0](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(99)00115-0)
- VALENCIA-LOZANO, E.; CABRERA-PONCE, J. L.; NOA-CARRANZA, J. C.; IBARRA, J. E. 2021. *Coffea arabica* L. resistant to coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) mediated by expression of the *Bacillus thuringiensis* Cry10Aa protein. Frontiers in Plant Science 12: 765292. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.765292>
- VAN DER WEELE, H. W. 1910. Ein neuer Kaffeeschädling, *Xyleborus coffeivorus*, n. sp. Bulletin du Département de l'Agriculture des Indes Néerlandaises. Buitenzorg 35: 1-6.
- VAN DINTHER, J. 1960. Insect pests of cultivated plants in Surinam. Landbouwproefstation in Suriname. Bulletin 76: 1-159.
- VARGAS, B. I. 2006. Evaluación de germoplasma de café etíope *Coffea arabica* L. por resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae en campo y en condiciones controladas. Tesis maestría ciencias agrarias énfasis entomología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 97 p.
- VEGA, F. E.; BENAVIDES, P.; STUART, J. A.; O'NEILL, S. L. 2002. *Wolbachia* infection in the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae). Annals of the Entomological Society of America 95 (3): 374-378. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0374:WIITCB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0374:WIITCB]2.0.CO;2)
- VEGA, F. E.; BLACKBURN, M. B.; KURTZMAN, C. P.; DOWD, P. F. 2003. Identification of a coffee berry borer-associated yeast: does it break down caffeine? Entomologia Experimentalis et Applicata 107 (1): 19-24. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00034.x>
- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. 2015. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer. p. 427-494. En: Vega, F. E.; Hofstetter, R. W. (Eds). Bark Beetles: Biology and ecology of native and invasive species. Academic Press. San Diego. USA. 620 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00011-3>
- VEGA, F. E.; SIMPKINS, A.; MIRANDA, J.; HARNLY, J. M.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; WAKARCHUK, D.; COSSÉ, A. 2017. A Potential repellent against the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Journal of Insect Science 17 (6): 122. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex095>
- VEGA, F. E.; SMITH, L. T.; DAVIES, N. M.; MOAT, J.; GÓRAL, T.; O'SULLIVAN, R.; DAVIS, A. P. 2019. Elucidation of hosts, native distribution, and habitat of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) using herbaria and other museum collections. Frontiers in Plant Science 10:1188. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01188>
- VEGA, V. J.; MARIÑO, Y. A.; DEYNES, D.; GRECO, E. B.; BRIGHT, D. E.; BAYMAN, P. A. 2020. Beetle in a Haystack: Are there alternate hosts of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico? Agronomy 10 (2): 228. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020228>
- VEGA, F.; EMCHE, S.; SHAO, J.; SIMPKINS, A.; SUMMERS, R. M.; MOCK, M. B.; EBERT, D.; INFANTE, F.; AOKI, S.; MAUL, J. E. 2021. Cultivation and genome sequencing of bacteria isolated from the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), with emphasis on the role of caffeine degradation. Frontiers in Microbiology 12: 644768. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.644768>
- VEGA ROSALES, M. I.; ROMERO, C. E. 1985. La broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en El Salvador. Memoria, Curso sobre Manejo Integrado de Plagas del Café con énfasis en Broca del Fruto (*Hypothenemus hampei*, Ferr.), 15 al 19 de Julio de 1985. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Oficina en Guatemala, pp. 178-179.
- VILLAGRAN, W. 1991. Atractividad relativa y susceptibilidad de varias especies y cultivares de café (*Coffea* spp.) a la broca del fruto *Hypothenemus hampei* Ferr. 1867 en condiciones de laboratorio. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala. 43 p. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1344.pdf

- VILLALBA, D.; BUSTILLO, A. E.; CHAVES, B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé* 46: 152-163.
- WATERHOUSE, D. F.; NORRIS, K. R. 1989. Biological control: Pacific prospects. Supplement 1. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. pp. 56-75.
- WEGBE, K. 2012. Le scolyte des fruits du caféier (*Hypothenemus hampei* Ferr.) au Togo: état actuel et perspectives. Proceedings of the 24th International Scientific Colloquium on Coffee, Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), San José, Costa Rica, 5 pp.
- WELLMAN, F. L.; COWGILL, W. H. 1953. Report of the 1952 coffee rust survey mission to Europe, Africa, Asia and Hawaii. Department of agriculture. Washington D. C, USA. 51 p.
- WERREN, J. 1997. Biology of *Wolbachia*. *Annual Review of Entomology* 42: 587-609. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.587>
- WHITE, F. 1983. The African mainland. The Guineo-Congolian regional centre of endemism. pp. 71-85. En: White, F. (Ed). The vegetation of Africa. UNESCO. 354 p.
- WOOD, S. L. 1960. Coleoptera. Platypodidae and Scolytidae. *Insects of Micronesia* 18: 1-73.
- WILKINSON, H. 1928. The coffee berry borer beetle *Stephanoderes hampei* (Ferr.). Printed by the Government Printer, Colony and Protectorate of Kenya, Nairobi, 10 pp. <https://www.worldcat.org/title/coffee-berry-borer-beetle-stephanoderes-hampeii-ferr/oclc/63326254>
- WRIGLEY, G. 1988. Pest of coffee. pp. 350-360. En: Wrigley, G. (Ed), Coffee. Longman Scientific and Technical. 639 p.

Contribución de los autores

DM escribió el artículo de revisión, leyó y aprobó el manuscrito final.

Conflictos de interés

El autor está de acuerdo y expresa que no existen conflictos de interés en este estudio.