

# Efecto de la altitud y del sombrero del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia\*

Tito Bacca<sup>1</sup>, Wilmer Libey Delgado Gualmatan<sup>2</sup>, Tulio Cesar Lagos Burbano<sup>3</sup>, Yeisson Gutiérrez<sup>4</sup>

## Resumen

La broca del café es un organismo poiquilotermo, cuyo desarrollo y tamaño poblacional dependen proporcionalmente de la temperatura. Consecuentemente, las pérdidas económicas ocasionadas por esta plaga en el cultivo tienen una relación directa con la temperatura y otras condiciones ambientales. **Objetivo.** Evaluar el efecto del gradiente altitudinal y de diferentes sistemas de sombrero en cafetales sobre la infestación de broca del café. **Metodología.** Se evaluó el porcentaje de infestación en doce fincas, en un rango altitudinal comprendido entre 1430 y 2030 m y en diferentes niveles de sombrero, incluyendo cafetales a plena explosión solar. En cada localidad se monitorearon las condiciones ambientales por medio de estaciones climáticas. **Resultados.** Se encontró que los porcentajes de infestación están inversamente relacionados con la altitud, que, a su vez, está directamente influenciada por la temperatura. Por otro lado, hubo una interacción significativa entre la altura y el sombrero, sugiriendo así que los cafetales con sombrero presentaron mayores porcentajes de infestación. Sin embargo, la mayor incidencia de broca se evidenció en cafetales por debajo de 1600 msnm con mayores niveles de sombrero. Adicionalmente se verificó que el aumento de sombrero está inversamente relacionado con la radiación fotosintéticamente activa, factor que potencialmente influenciaría la humedad de los frutos, afectando así indirectamente el desarrollo de la broca del café. Finalmente se calculó el número de generaciones mensuales de cada localidad evaluado, obteniendo 0.3 generaciones en localidades con temperaturas promedio de 17 °C y de una generación al mes en localidades con temperaturas promedio de 23 °C. **Conclusión.** El número de generaciones y el tamaño poblacional de la broca del café, se ven influenciados drásticamente por condiciones ambientales como la elevación y el sombrero del cultivo de café. Por lo tanto, estas son condiciones que se deben tener en cuenta en la planeación del manejo de esta plaga de gran importancia para la producción de café.

**Palabras claves:** broca del café; caficultura; *Coffea arabica*; clima; ecología de plagas; dinámica poblacional; temperatura.

\*FR: 3-II-2021. FA: 3-III-2021.

<sup>1</sup> Ing. Agrónomo, Ph.D. Profesor Titular. Universidad del Tolima, Departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ingeniería Agronómica, Ibagué, Tolima, Colombia. E-mail: titobacca@ut.edu.co

 orcid.org/0000-0002-2960-5527 **Google Scholar**

<sup>2</sup> Ing. Agrónomo, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño. E-mail: libeydelgado@hotmail.com

 orcid.org/0000-0001-7349-0889 **Google Scholar**

<sup>3</sup> Ing. Agrónomo, Ph.D. Profesor Titular. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. E-mail: tclago3@yahoo.com

 orcid.org/0000-0001-9222-4674 **Google Scholar**

<sup>4</sup> Biólogo, Dr. rer. nat. Investigador Ph.D. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación El Mira. Tumaco, Nariño, Colombia. E-mail: ygutierrezl@agrosavia.co

 orcid.org/0000-0002-0166-2933 **Google Scholar**

## CÓMO CITAR:

Bacca, T., Delgado Gualmatan, W. L., Lagos Burbano, T. C. Y Gutiérrez, Y. (2021). Efecto de la altitud y del sombrero del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 25(2): 43-58. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.2.3>



## Effect of altitude and shade of coffee on infestation by *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Nariño, Colombia

### Abstract

Coffee berry borer is a poikilothermic organism whose development and population size depend proportionally on temperature. Consequently, the economic losses caused by this pest in the crop have a direct relationship with the temperature and other environmental conditions. **Objective:** To evaluate the effect of the altitudinal gradient and of different shade systems in coffee plantations on the infestation of coffee berry borer. **Methodology:** The infestation percentage was evaluated in twelve farms in an altitudinal range between 1430 and 2030 m at different levels of shade, including coffee plantations at full solar explosion. In each locality, environmental conditions were monitored through weather stations. **Results:** Infestation percentages were found to be inversely related to altitude, which, in turn, are directly influenced by temperature. On the other hand, there was a significant interaction between height and shade, thus suggesting that coffee plantations with shade had higher percentages of infestation. However, the highest incidence of coffee berry borer was evidenced in coffee plantations below 1600 meters above sea level with higher levels of shade. Additionally, it was verified that the increase in shade is inversely related to photosynthetically active radiation, a factor that could potentially influence the humidity of the fruits, thus indirectly affecting the development of coffee borer. Finally, the number of monthly generations of each evaluated locality was calculated, obtaining 0.3 generations in localities with average temperatures of 17 °C and one generation per month in localities with average temperatures of 23 °C. **Conclusion:** The number of generations and the population size of coffee berry borer is drastically influenced by environmental conditions such as the elevation and shade of the coffee crop. Therefore, these are conditions that must be considered when planning the management of this pest of great importance for coffee production.

**Key words:** coffee berry borer; coffee growing; *Coffea arabica*; climate; pest ecology; population dynamics; temperature.

### Introducción

La producción mundial de café alcanzó, entre 2018-2019, los 173.7 millones de sacos. Colombia participó con el 8% (13,9 millones de sacos), ocupando así el tercer lugar de la producción global (Federación Nacional de Cafeteros, 2019). Los ingresos económicos asociados con la comercialización del café en Colombia representa el 0,96% del PIB nacional, y adicionalmente, esta actividad participa con el 12.5% del PIB agropecuario (DANE, 2019). A pesar de los avances en el manejo integrado de plagas, a través de buenas prácticas agroambientales, la presencia de algunas enfermedades y plagas continúan siendo un desafío para los caficultores. Además, se desconocen algunas respuestas de la variación altitudinal y de las condiciones de sombrío sobre una de las principales plagas: la broca del café, particularmente en zonas donde se registran típicamente dos cosechas al año.

La plaga más destructiva que amenaza la producción y el suministro mundial de café es la ampliamente conocida broca, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Damon, 2000; Giraldo-Jaramillo et al., 2018; Jaramillo et al., 2009). Este insecto afecta las cerezas de café maduras e inmaduras, atacando directamente el grano (Vega et al., 2003), y completa su ciclo de vida en la parte interna del grano de café, lo cual dificulta su control. Las hembras adultas de *H. hampei* perforan, formando galerías en las cerezas donde deposita sus huevos y su ciclo de vida ocurre internamente en la cereza (Vega et al., 2015).

La variabilidad climática asociada con la temperatura, precipitación y sequía han mostrado una marcada influencia en la dinámica de la población de la broca del café (Mendesil et al., 2008). La broca es un organismo poiquilotermo, su ciclo depende principalmente de la temperatura de su entorno para cumplir su proceso biológico (Régnière et al., 2012). Por lo anterior, la temperatura es considerada como el factor abiótico más importante en la fisiología y el comportamiento de la broca del café (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). Esta variable, en términos generales, es determinante para la reproducción y el desarrollo de los insectos, existiendo una relación directa con su ciclo de vida (Ratte, 1984; Jaramillo et al., 2009). Consecuentemente, las poblaciones alcanzarían mayores tamaños y se aumentarían los daños causados por dichos organismos al tratarse de un insecto plaga (Constantino et al., 2011; Giraldo-Jaramillo et al., 2018; Hamilton et al., 2019).

El desarrollo exitoso del ciclo de vida de *H. hampei*, ocurre entre 20 y 30°C, y los límites térmicos inferior y superior para el desarrollo se estiman en 13.9 y 32°C, respectivamente. El requisito térmico para completar el período pre-reproductivo es de 299 grados/día aproximadamente (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). Adicionalmente, el patrón de fecundidad y emergencia de las hembras de *H. hampei* de las cerezas de café varía con la temperatura; juegan un papel crucial en la determinación de la tasa de desarrollo de este insecto (Jaramillo et al., 2010).

El conocimiento sobre la tolerancia térmica es fundamental para predecir los efectos del cambio climático en un organismo (Deutsch et al., 2008). Colombia posee regiones cafeteras con temperaturas medias anuales de 17 °C hasta 24°C, condiciones que favorecen el desarrollo de la broca (Jaramillo et al., 2010). Se estima que el aumento de la temperatura en 1°C, en escenarios futuros de cambio climático, traerá consigo el desplazamiento en 167 m de altitud en los cultivos de café, con el fin de mantener la misma productividad y calidad de la cosecha (Jaramillo, 2005). El aumento gradual de la temperatura a nivel global puede ocasionar, en los próximos años, cambios en el hábitat de la plaga, ocurriendo una adaptación en las poblaciones de los insectos entre las distintas franjas altitudinales. Adicionalmente, se esperan potenciales cambios en importantes procesos ecológicos, tales como: interacción con plantas hospederas,

sincronización de periodos de actividad de insectos y sus enemigos naturales, tasa de crecimiento y dinámica poblacional, probabilidad de supervivencia, tasas de alimentación y ciclos de vida de los insectos herbívoros (Gian-Reto et al., 2002).

Diversas investigaciones han mostrado la relación entre los sistemas de sombrero y la infestación de la broca del café, obteniendo resultados contradictorios, que pueden deberse a la heterogeneidad de las condiciones agroecológicas, a los porcentajes de sombra y temperaturas de cada zona, a los diseños experimentales inadecuados o al enfoque en cortos períodos climáticos (Mariño et al., 2016). Los diferentes niveles de radiación y humedad, asociados a distintos porcentajes de sombrero, sirven como base para determinar condiciones óptimas de hábitat que reducen el complejo de plagas y proporcionan las condiciones ideales para los enemigos naturales, quienes se encargan de disminuir en gran medida las poblaciones de plagas (Staver et al., 2001).

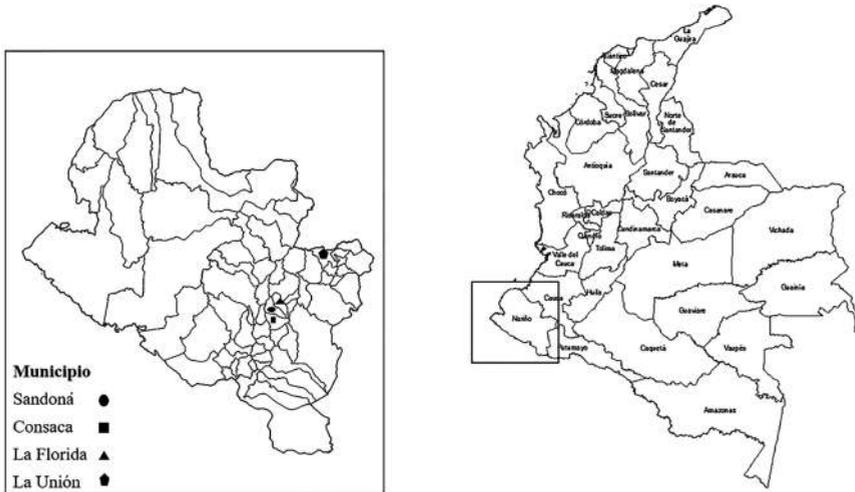
Otras condiciones ambientales también pueden afectar el desarrollo y tamaño poblacional de la broca del café. Con la implementación de cultivos agroforestales, es decir, combinar árboles con cultivos agrícolas, se modifica el microambiente del cultivo del café (Monteith et al., 1991). Varios autores concuerdan que a mayor porcentaje de sombrero es menor la infestación de broca ya que estas condiciones favorecen la acción depredadora de las hormigas (Cárdenas & Posada, 2001; Sánchez et al., 2012). Otros autores mencionan un fenómeno contrario, concluyendo que la ocurrencia de las poblaciones de la broca es más alta en condiciones de cafetales bajo sombrero y que, por lo tanto, un mayor porcentaje de sombra se relaciona negativamente con la incidencia de esta plaga (Beilhe et al., 2020).

El café a libre exposición solar o bajo sombríos proporciona diferentes ambientes que afectan la reproducción de plagas, y consecuentemente, la infestación de broca es generalmente mayor en sistemas con sombra (Mariño et al., 2016). Sin embargo, el porcentaje de infestación es menor en sistemas con sombra simple que en sistemas con sombra compleja (es decir, cuando existen varias especies de árboles en el arreglo agroforestal) ya que los estadios de desarrollo de la plaga responden de manera diferente a la diversidad de vegetación y el hábitat (Nesper et al., 2017). Con el aumento de la riqueza de especies arbóreas en el sistema agroforestal, se hace más compleja la estructura física de éste, permitiendo ambientes para la coexistencia de un mayor número de especies donde los árboles de sombra podrían servir de huéspedes alternos para la broca (Damon, 2000). Teniendo en cuenta los anteriores antecedentes, esta investigación buscó evaluar el efecto combinado de gradiente altitudinal y de diferentes niveles de sombrero sobre el porcentaje de infestación de broca del café.

## Materiales y Métodos

### Localidades de estudio

Este trabajo se desarrolló en 12 fincas, ubicadas en cuatro municipios del departamento de Nariño, sur de Colombia (Figura 1), con el objetivo de cubrir un rango altitudinal entre 1430 y 2030 m (Tabla 1). De igual manera, al abarcar un área geográfica considerable, se puede evitar la incidencia de factores de confusión tales como características microclimáticas propias de una zona en particular. Adicionalmente la selección de las fincas está en concordancia con las condiciones de la caficultura de montaña de Nariño, donde el 88% se encuentra localizada por encima de los 1500 m y el 49% por encima de 1800 m (Giraldo-Jaramillo et al., 2020).



**Figura 1.** Localización de los municipios (Nariño, sur de Colombia) donde se seleccionaron las fincas para el estudio del efecto combinado de gradiente altitudinal y porcentaje de sombrío sobre la infestación de la broca del café.

**Tabla 1.** Ubicación de las localidades de estudio (Nariño, sur de Colombia). En cada localidad se establecieron parcelas experimentales de acuerdo al tratamiento de sombrío. La distancia de siembra de las plantas de café *Coffea arabica* L., variedad Castillo fue de 1.30 x 1.30 m al triángulo en todos los casos.

Municipio	Localidad	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Fecha de siembra	Precipitación (mm)	Hum. Relativa (%)	Temperatura °C		
								Media	Mín	Máx
Consacá	Cariaco Bajo	1577	956477	621696	Dic. 2014	1336	74.9	20.1	15.2	23.6
Consacá	Bombona	1668	957573	623420	Ago. 2014	1045	72	19.8	13.7	22.3
Consacá	San Antonio	1989	960528	625985	Ago. 2014	1228	78.17	17.1	10.9	20.6
La Florida	La Joya	1677	975378	643067	Sep. 2014	1067	73.4	19.3	12.1	24.2
La Florida	Santana	1877	973594	646449	Sep. 2014	859	74.4	18.7	11.8	23.6
La Florida	San Francisco	2030	970186	643502	Jul. 2014	1336	74.9	18	11.6	23
La Unión	La Playa	1430	991942	673225	Jul. 2014	1804	75.6	20.6	16.5	25.1
La Unión	El Sauce	1620	996495	670337	Oct. 2014	1555	74.3	19.8	15.5	22.6
La Unión	Buenos Aires	2030	994453	665716	Jul. 2014	.615	74.9	17.4	14.7	20.7
Sandoná	Las Delicias	1536	814033	627475	Jul. 2014	.200	76.5	19.9	17.6	23.4
Sandoná	Mana I	1700	807268	621607	Nov. 2014	1073	75.5	19.6	15.3	22.5
Sandoná	La Cruz	2015	810586	625355	Jul. 2014	1106	81.3	18.1	12.8	20.8

Este estudio se realizó en el marco del proyecto “Evaluación del efecto de sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de café, Consacá, Nariño, Occidente”. En cada una de las 12 localidades se estableció una parcela experimental de 1 ha (100 x 100 m). Cada parcela incluyó cuatro tratamientos correspondientes a cafetales variedad Castillo con diferentes tipos de sombrío: i) con sombrío de cítrico a una distancia de 8x8 m, ii) con sombrío de guamo a una distancia de 9x9 m, iii) con sombrío de guamo a una distancia de 12x12 m, iv) y libre exposición (sin árboles en el área). Los tres tratamientos con sombrío se implementaron al sembrar los árboles mencionados anteriormente al cuadro según la distancia determinada (Tabla 2). Durante el estudio no se realizó manejo sanitario orientado al control de la broca, además no se utilizó algún tipo de plaguicida en las parcelas experimentales.

**Tabla 2.** Descripción de los tratamientos experimentales (arreglos agroforestales con café variedad Castillo) instalados en 12 localidades experimentales en cuatro municipios cafeteros del departamento de Nariño, sur de Colombia.

Sistema	Distancia de siembra	Especie forestal	Sistema de siembra
Café con sombrero de cítricos	8 x 8 m	Limón	Al cuadro
Café con sombrero de guamo	9 x 9 m	Guamo	Al cuadro
Café con sombrero de guamo	12 x 12 m	Guamo	Al cuadro
Café a libre exposición	Libre	Sin árboles	Sin árboles

### Determinación de la radiación incidente en los tratamientos experimentales

La radiación efectiva sobre las plantas de café en cada uno de los tratamientos experimentales (libre exposición y los tres niveles de sombrero), se midió como la radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Alados et al., 1996). Esta metodología se empleó con el fin de confirmar empíricamente si los tratamientos experimentales con mayor sombrero presentaban en efecto menor radiación incidente.

Se utilizaron microestaciones portátiles -WatchDog 1000 series (Spectrum Technologies, Inc, USA)-, a las cuales se les conectó un sensor de luz LightScout de la misma marca, configurado para realizar lecturas cada cinco minutos. El sensor se colocó en el ápice de tres plantas de café en cada tratamiento, donde se registró la medición durante 30 - 60 minutos, las evaluaciones se realizaron periódicamente cada tres meses en 2018 y 2019. La información obtenida se descargó con la ayuda del Software Specware.

### Muestreo de la broca del café *Hypothenemus hampei*

Se realizó entre los 120 y 150 días después de la floración principal para las dos cosechas al año, que, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar, corresponde a la época en la cual el fruto tiene más del 20% de materia seca, condición apropiada para el desarrollo de la broca (Bustillo, 2008). El muestreo se hizo en los árboles utilizados en los sistemas de sombrero cuando tenían una edad de 5 a 6 años (la misma edad de los cafetales) y una altura estimada entre 6 a 10 m (cítricos y aguacates 6 -10 m, guamo 8 – 10 m). En los dos períodos mencionadas anteriormente, se realizó un muestreo aleatorio en cada localidad y sistema de café, se realizaron dos muestreos en

2018 y un muestreo en 2019. Para el café bajo sombrío se muestrearon siete plantas de café dispuestas aleatoriamente en la parcela. En cada planta se cuantificó el total de frutos sanos e infestados en una rama (los frutos se clasificaron como sanos o infestados/brocados). En café a libre exposición se realizó el mismo procedimiento, pero en 9 plantas por parcela. En total, se determinó la infestación de broca en 1080 plantas (7-9 réplicas \* 4 tratamientos experimentales \* 12 localidades \* 3 muestreos). Para determinar el % de infestación por planta se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de infestación} = \frac{\text{Total de frutos brocados}}{\text{Total de frutos evaluados}} \times 100$$

### Número de generaciones de la broca del café

Para estimar el número de generaciones para cada lugar se utilizó la fórmula propuesta por Giraldo-Jaramillo et al. (2018):

$$NG = Tm - Tl / dK$$

NG= Número de generaciones de broca del café

Tm= Promedio mensual de temperatura de cada lugar

Tl= Temperatura límite de la broca del café que es 13.9 oC

d= número de días por mes

K= Constante térmica de la broca del café que es 299 grados día

Los grados día de la broca del café acumulados para cada lugar estudio, fueron calculados utilizando el promedio mensual de la temperatura para 2018 y 2019.

### Registro de variables climáticas

En cada una de las 12 localidades de estudio (ver Tabla 1) se instaló una estación climática WatchDog 2000 Series (Spectrum Technologies, Inc, USA), esta se configuró para que la temperatura se registre con intervalos de 60 minutos. Los datos se descargaron utilizando el software Specware (Spectrum Technologies, Inc, USA).

### Análisis estadístico

Para el análisis de la radiación RFA en los tratamientos experimentales se realizó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos, únicamente se consideró el tratamiento de sombrío (con cuatro niveles, libre exposición, y arreglos agroforestales a 8x8m, 9x9m y 12x12m) como efecto fijo. Los efectos aleatorios fueron la altitud y la localidad, ya que en este análisis no se pretendía estimar la radiación en función de la altitud. El modelo se ajustó con la familia de

distribución Log-Normal (Gaussian, link = “log”) y el gráfico se realizó con el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

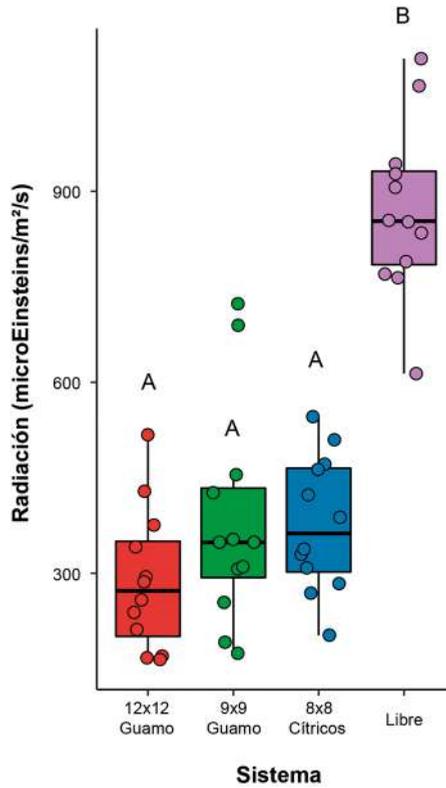
Para determinar la respuesta de (porcentaje de infestación de broca) en relación con los tratamientos y variables analizadas, se realizó de igual manera con un modelo lineal generalizado de efectos mixtos, utilizando la función ‘glmer’ del paquete lme4 (Bates et al., 2015). Los efectos fijos fueron el tratamiento de sombrero (con cuatro niveles, libre exposición, y arreglos agroforestales a 8x8m, 9x9m y 12x12m), y la altitud se consideró como variable continua, ya que en este caso si interesaba analizar la infestación en función del tratamiento y la altitud. Los efectos aleatorios fueron los eventos de muestreo (es decir, medidas repetidas) y los códigos individuales que identifican las plantas utilizadas para las medidas en cada localidad (planta/localidad). El modelo se ajustó utilizando la familia de distribución binomial de acuerdo con el AIC (Criterio de información de Akaike) para esta familia de distribución; posteriormente, se realizó un análisis *post-hoc* de Tukey. El gráfico se realizó con el paquete sjPlot (Lüdtke, 2016).

Finalmente, la correlación entre la altitud, temperatura ambiental y el número de generaciones de la broca del café se realizó mediante la función ‘chart.Correlation’ del paquete PerformanceAnalytics (Peterson et al., 2018). En este caso, se utilizó la temperatura promedio mensual de cada una de las 12 localidades para los años 2018 y 2019 cubiertos en este estudio. Estos años evaluados correspondieron a Todos los análisis se realizaron en R 4.0.2 (R Core Team, 2014), usando Rstudio (RStudio Team, 2020). La significancia de los efectos fijos se determinó mediante análisis de tablas varianza tipo II usando el paquete car (Fox et al., 2010) y todos los valores reflejan el 95% de los intervalos de confianza (IC).

## Resultados

### Radiación incidente en los tratamientos experimentales

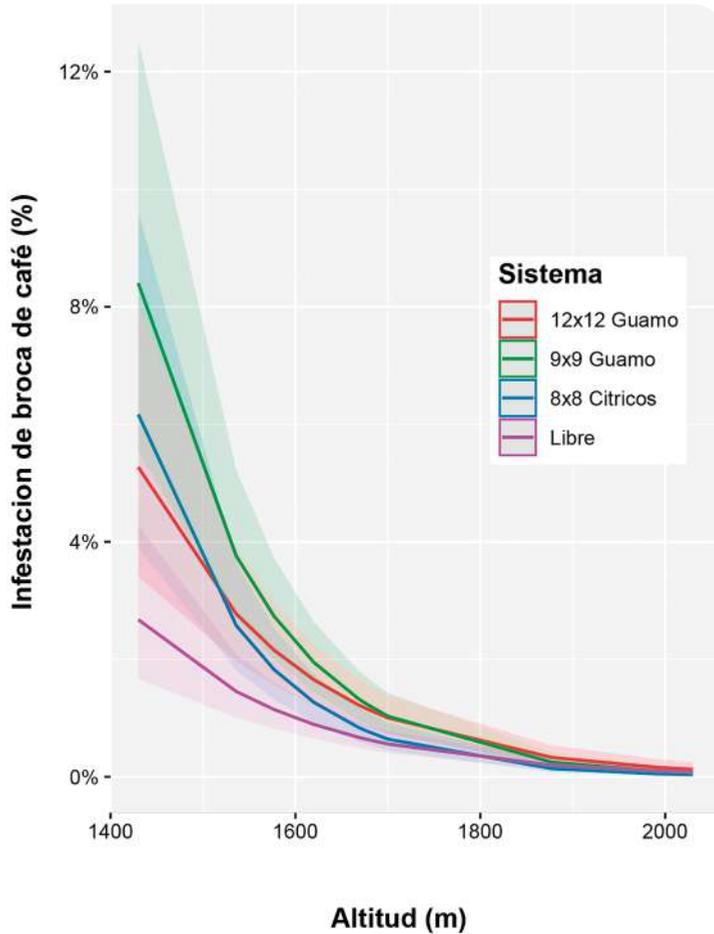
El sistema de cultivo de café tuvo un efecto significativo sobre la radiación fotosintéticamente activa ( $\chi^2 = 147.65$ , d.f. = 3,  $P < 0.001$ ). El análisis *post-hoc* de Tukey permitió corroborar que el café a libre exposición recibió significativamente mayor radiación que los demás tratamientos,  $868.99 \pm 85.69$  microEinsteins/m<sup>2</sup>/s ( $\bar{x} \pm 95\%$  IC). Además, los tratamientos de sombrero no presentaron diferencias significativas entre sí, estos recibieron en promedio  $349.03 \pm 82.61$  microEinsteins/m<sup>2</sup>/s ( $\bar{x} \pm 95\%$  IC) (Figura 2).



**Figura 2.** Efecto del sistema de café (tratamientos experimentales) en la radiación fotosintéticamente activa (REA). Letras distintas (A vs B) indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos

### Infestación de broca del café

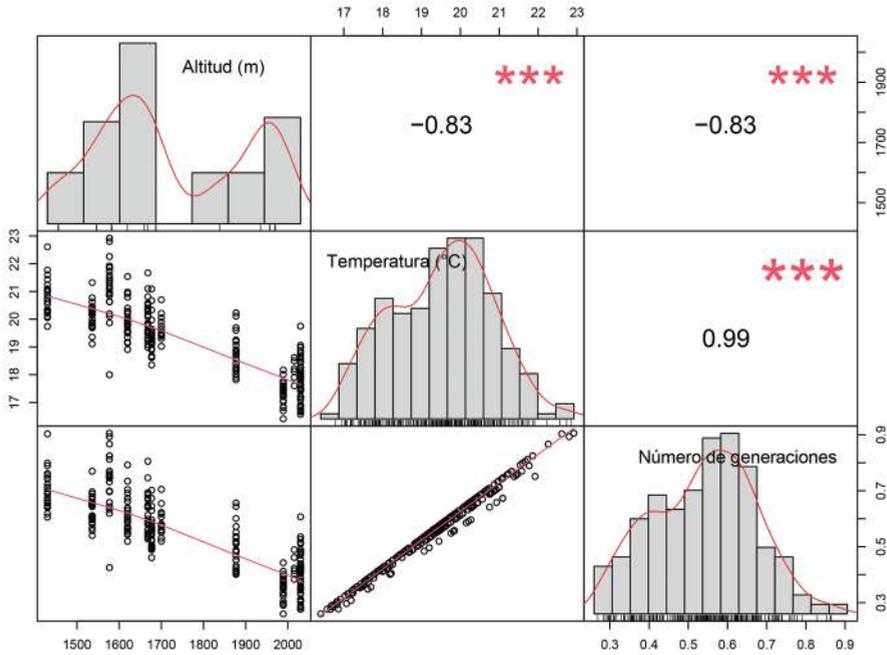
Tanto la altitud de cada localidad como el tratamiento experimental (es decir, los sistemas de sombrero de café), tuvieron un efecto significativo en el porcentaje de infestación de broca de café (interacción estadística,  $\chi^2 = 13.24$ , d.f. = 3,  $P = 0.004$ ). El porcentaje de infestación fue mayor en los sistemas de café con sombrero en localidades situadas entre los 1400 y 1600 m aproximadamente. Los sistemas con mayor infestación de broca del café fueron 8x8 cítricos y 9x9 guamo, mientras que el tratamiento 12x12 guamo, los porcentajes de infestación fueron similares al del café a libre exposición. Sin embargo, el porcentaje de infestación y la diferencia entre tratamientos se redujo significativamente en localidades ubicadas a mayores altitudes, especialmente entre los 1800 y 2000 m (Figura 3).



**Figura 3.** Porcentaje de infestación de la broca del café *Hypothenemus hampei* en localidades con diferentes sistemas de cultivo de café en Nariño, sur de Colombia

### Efecto de la altitud en el ciclo de vida de la broca del café

El análisis de correlación permitió determinar que existe una correlación negativa de considerable magnitud entre la altitud de las localidades y el número de generaciones que presenta la broca del café ( $r(253) = -0.828$ ,  $P < 0.001$ , Figura 4). Los insectos de la especie *H. hampei* tendrían alrededor de 0.3 generaciones por mes en localidades situadas a considerable altitud (aprox. 2000 m) donde la temperatura media es menor a 17°C. Sin embargo, el número de generaciones se podría triplicar en localidades situadas en menor altitud (aprox. 1400 m), donde la temperatura media puede alcanzar los 23°C.



**Figura 4.** Matriz de correlaciones entre la altitud en las que se ubicaron las localidades experimentales, la temperatura media de estos sitios y el número de generaciones potenciales de *Hypothenemus hampei*. \*\*\*= diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ )

## Discusión

La evaluación de la radiación (RFA) en cada uno de nuestros tratamientos experimentales (sistemas de sombrío de café) permitió constatar que no existió una diferencia estadísticamente significativa en la radiación que recibió el café bajo sombrío en los sistemas de 8x8m, 9x9 y 12x12m. En estos tres escenarios experimentales de sombrío, la RFA fue casi un tercio de la radiación que recibe el café a libre exposición.

De acuerdo con Giraldo-Jaramillo et al. (2018), la duración del ciclo de desarrollo de la broca del café se relaciona inversamente con el aumento de temperatura, por lo tanto, a mayor temperatura se generan más ciclos de vida en menos tiempo. En nuestro estudio, esto se evidencia en cafetales localizados en altitudes bajas, los cuales efectivamente presentaron una mayor infestación de la plaga y estos resultados concuerdan además con lo reportado por otros autores (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). En este contexto, Asfaw et al., (2019), encontraron en Kenia que el

daño inducido por broca en localidades entre 1100 m a 1720 m era mayor que en localidades por encima de los 1720 m. Así mismo, Bosselmann et al. (2009) en Colombia reportan baja incidencia de broca del café en localidades entre 1272 m y 1730 m con variaciones en la cobertura de sombrero, y particularmente, la ocurrencia de *H. hampei* fue menor en mayores altitudes y con más sombrero.

A pesar de la tendencia anteriormente expuesta, existe variabilidad de la infestación en localidades a diferentes altitudes, posiblemente direccionada por el sombrero de los cafetales. Por ejemplo, Atallah et al. (2018), reportó que con mayor sombrero se presentó un aumento en la infestación por broca. En Colombia, los cafetales se encuentran en una franja entre los 1000 m a 2000 m, con una temperatura promedio de 20°C (Benavides Machado et al., 2013), temperatura que favorece el desarrollo exitoso de la broca del café (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). De acuerdo con lo anterior, para las zonas de estudio con altitud menor a 1600 m que se encuentren bajo sistemas de sombrero, se hace necesario realizar periódicos muestreos de la plaga debido a que existe mayor posibilidad de superar los umbrales de acción de la plaga y se debe intensificar el manejo. En este sentido Bosselman et al., (2009), afirma que en zonas de altura es menor el daño causado por la broca, y no se considera como una plaga limitante para la producción, contrario a las zonas de baja altura donde se considera una plaga limitante.

Estudios anteriores han demostrado que las poblaciones de *H. hampei* pueden duplicarse en cafetales con sombrero comparadas con cafetales a plena exposición (Benavides Machado et al., 2020). Una potencial explicación para este fenómeno es que en un cafetal bajo sombra se puede presentar una mayor humedad relativa respecto al café sin sombrero (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). La radiación solar, que naturalmente depende de las horas de brillo solar y la temperatura, y tiene un efecto negativo sobre la humedad relativa, por ende, entre mayor radiación solar se presente menor será la humedad relativa (Vélez et al., 2015). Los niveles de infestación que se obtuvieron en esta investigación podrían deberse, al menos parcialmente, a que en el café con sombrero la humedad relativa (principalmente en las cerezas de café) sería mayor, brindando mejores condiciones para la supervivencia de la broca. Para el caso del desarrollo de la broca en estos ambientes, Baker et al. (1994) sostiene que los adultos de *H. hampei* son muy sensibles a la humedad. De hecho, una humedad alta puede llegar a duplicar el tiempo de supervivencia de adultos de broca (Baker et al., 1994).

En cuanto al número de generaciones por mes, es necesario considerar de nuevo que la broca está condicionada por la temperatura ambiental, incidiendo directamente en el desarrollo biológico del insecto y el rango altitudinal de distribución (Deutsch et al., 2008; Thomson et al., 2010). En cafetales donde la temperatura no sea óptima para este insecto, su desarrollo y oviposición se verían significativamente afectados (Jaramillo et al., 2009). Hamilton et al. (2019) encontraron resultados similares a los

de esta investigación, obteniendo que el número de generaciones de *H. hampei* tiene una correlación negativa con la altitud, a temperaturas promedio de 22 y 24 °C el número de generaciones osciló entre 0.33 y 0.78 respectivamente.

En Colombia y en otras regiones, además de la altura sobre el nivel del mar, el clima se ve influenciado por los fenómenos de la Niña y el Niño. En Colombia fue posible comprobar que durante periodos del Niño, las temperaturas se pueden incrementar en un promedio de 1,2°C, trayendo como consecuencia aumento considerables de las poblaciones de broca produciendo altos niveles de infestación (Constantino et al., 2011). Estos fenómenos posiblemente afectaron levemente el desarrollo de la broca en las condiciones de este trabajo, debido a que de enero a mayo de 2018 se presentó una Niña débil y de julio a noviembre de este año fue neutro, ya para el 2019 también fue una Niña débil (Cenicafé, 2021).

El registro de la temperatura en estaciones climáticas es una herramienta muy importante dentro del manejo integrado de la broca, debido a que si estos registros se combinan con trampas de alcohol y los niveles de infestación en frutos, se podría estimar y modelar el desarrollo de las generaciones y prever los posibles manejos (Hamilton et al., 2019). El conocimiento del número de generaciones y la fenología del cultivo en una determinada época de tiempo, permitirían comprender la dinámica y la distribución de las poblaciones de broca en los cafetales, logrando así un manejo eficiente de la plaga (Azrag et al., 2020).

## Conclusiones

Con esta investigación fue posible corroborar que, en fincas cafeteras del departamento de Nariño, la altitud está inversamente relacionada con los porcentajes de infestación por broca del café, en un rango entre 1430 y 2030 m, siendo que la infestación se aumenta en mayor proporción por debajo de los 1600 m. También se pudo evidenciar que, por debajo de esta altura en sistemas de café bajo sombrío, existe un considerable aumento en la infestación. Por tanto, en condiciones de baja altitud y cafetales con sombrío, se incrementarán las posibilidades del aumento de los niveles de broca.

Adicionalmente, este estudio registra que el número de generaciones de broca es afectado por la temperatura en lugares con temperatura promedio de 17 °C el número de generaciones por mes es de 0.3, y en temperaturas mayores a 23 °C se podría llegar a una generación. El registro de la temperatura puede ser una herramienta útil para predecir la dinámica de la población de *H. hampei* en las diferentes zonas cafeteras.

## Agradecimientos

Agradecemos los comentarios constructivos realizados por los revisores durante el proceso editorial. Este estudio fue realizado en el marco del macro proyecto titulado “Evaluación del efecto sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de café Consacá y Nariño Occidente”, código BPIN No. 2012000100184, financiado por el Sistema General de Regalías, la gobernación del departamento de Nariño y la Universidad de Nariño. A Julián A. Salazar por la labor editorial.

## Referencias bibliográficas

- Alados, I., Foyo-Moreno, I. Y., & Alados-Arboledas, L. (1996). Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1-2), 121-131. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02245-7](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02245-7)
- Asfaw, E., Mendisil, 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>
- Atallah, S. S., Gómez, M. I., & Jaramillo, J. (2018). A Bioeconomic Model of Ecosystem Services Provision: Coffee Berry Borer and Shade-grown Coffee in Colombia. *Ecological Economics*, 144, 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.002>
- Azrag, A. G. A., Yusuf, A. A., Pirk, C. W. W., Niassy, S., Mbugua, K. K., & Babin, R. (2020). Temperature-dependent development and survival of immature stages of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research*, 110(2), 207-218. <https://doi.org/10.1017/S0007485319000476>
- Baker, A., Rivas, R., Balbuena, C., & Barrera, J. (1994). *Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (Hypothenemus hampei). Entomologia experimentalis et applicata*, 71(3), 201-209. <https://doi:10.1111/j.1570-7458.1994.tb01787.x>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1-7. 2014.*
- Beilhe, L., Roudine, S., Quintero Perez, J. A., Allinne, C., Daout, D., Mauxion, R., & Carval, D. (2020). Pest-regulating networks of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in agroforestry systems. *Crop Protection*, 131, 105036. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105036>
- Benavides Machado, P.; Gil, Z. N.; Constantino, C; Villegas C y Giraldo, M. (2013). Plagas del café: Broca, minador, cochinitas harinosas, arañita roja y monalonia. En: P. Benavides Machado y C. E. Góngora (Eds.). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná* (pp. 215-260). FNC, CENICAFÉ.
- Benavides Machado, P., Salazar, L., Góngora, C., & Molina, D. (2020). *El control Natural en el ecosistema Cafetero Colombiano.* <https://doi.org/10.38141/CENBOOK-0001>
- Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A., & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(1-3), 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.004>
- Bustillo, A. E. (2008). *Aspectos sobre la broca del café, Hypothenemus hampei, en Colombia.* En A. E. Bustillo (Ed.). *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 388-418). Chinchiná, Colombia. FNC-CENICAFÉ.
- Cárdenas, M. y Posada, F. (2001). *Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío* (1ra ed.). Armenia, Colombia: Comité departamental de Cafeteros del Quindío.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). (2021). Boletín Agrometeorológico Cafetero. <https://agroclima.cenicafe.org/boletin-agrometeorologico>
- Constantino, L. M., Gil, Z. N., Jaramillo, A., Benavides, P. M. y Bustillo, A. E. (2011). Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en la zona central cafetera de Colombia (Conferencia). Memorias 38 Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Manizales, Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4683.9205>
- 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. <https://doi.org/10.1017/s000748530000584>
- Departamento Nacional De Estadística. (2019). *Boletín Técnico Producto Interno Bruto (PIB)*. Bogotá D.C. IV Trimestre de 2019.
- Deusch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(18), 6668-6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2019). *Informe de gestión. Estrategia e innovación.* FNC.
- Fox, J., Weisberg, S., & Bates, D. (2010). car: Companion to Applied Regression. R package version 2.0-2. *Institute for Statistics and Mathematics, Wirtschaftsuniversität Wien, Austria.*
- Gian-Reto, W., Peter Convey, E. P., Annette Menzel, Camille Parmesan, T., Beebe, J., & Jean-Marc. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395. <http://dx.doi.org/10.1038/416389a>
- 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, R. E. C., Sarmiento, H. N., Quiroga, M. A., Espinosa, O. J. C., García, L. J. C., Duque, O. H., Benavides, M. P. (2020). Vulnerabilidad de la caficultura de Nariño a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances técnicos Cenicafe*, 514. <https://doi.org/10.38141/10779/0514>
- 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), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218321>
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafe. Editorial Blanecolor Ltda.
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F. E., Poehling, H. M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PLoS ONE*, 4(8), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- 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>
- Lüdecke, D. (2016). sjPlot: data visualization for statistics in social science. *R Package Version*, 2(1).
- Mariño, Y. A., Pérez, M. E., Gallardo, F., Trifilio, M., Cruz, M., & Bayman, P. (2016). Sun vs. shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.031>
- Mendesil, E., Abebe, M., Abdeta, C. (2008). Review of Research on Coffee, Tea and Spices Insect pests in Ethiopia (Increasing). Tea and Spices Insect pests in Ethiopia. In: Tadesse, A. (Ed.). *Increasing Crop Production through Improved Plant Protection* (pp. 117-140) (Vol. II). Addis Ababa, Ethiopia. KGaA. Weinheim, Germany: PPSE and EARO (Ethiopian Agricultural Research Organization).
- Monteith, J. L., Ong, C. K., & Corlett, J. E. (1991). Microclimatic interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and management*, 45(1-4), 31-44. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90204-9](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90204-9)
- Nesper, M., Kueffer, C., Krishnan, S., Kushalappa, C. G., & Ghazoul, J. (2017). Shade tree diversity enhances coffee production and quality in agroforestry systems in the Western Ghats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 172-181. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.024>
- Peterson, B. G., Carl, P., Boudt, K., Bennett, R., Ulrich, J., Zivot, E., Cornilly, D., Hung, E., Lestel, M., & Balkissoon, K. (2018). Package 'PerformanceAnalytics'. *R Team Cooperation*.
- Ratte, H. T. (1984). Temperature and insect development. In *Environmental physiology and biochemistry of insects* (pp. 33-66). Springer, Berlin, Heidelberg.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
- Régnière, J., Powell, J., Bentz, B., & Nealis, V. (2012). Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: Experimental design, data analysis and modeling. *Journal of Insect Physiology*, 58(5), 634–647. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.010>
- Sanchez, E., Dufour, B., Olivas, A., Virginio Filho, E. D. M., Vilchez, S., & Avelino, J. (2012). Shade has Antagonistic Effects on Coffee Berry Borer. *International Conference on Coffee Science* 24, 1–7.
- Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D., & Muschler, R. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforest Syst*, 53, 151–170. <https://doi.org/10.1023/A:1013372403359>
- Team, R. C. (2019). R: a language and environment for statistical computing computer program, version 3.6. 1. R Core Team, Vienna, Austria.
- Team, Rs. (2015). RStudio: integrated development for R. *RStudio, Inc., Boston, MA* <http://www.rstudio.com>, 42, 14.
- Thomson, L., Macfadyen, S., & Hoffmann, A. (2010). Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52, 296–306. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.01.022>
- Vega, F. E., Infante, E., & Johnson, A. J. (2015). The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry. En Vega, F. E. & Hofstetter, R. W. (Eds.) *Bark Beetles* (pp. 427-494). Cambridge, Massachusetts, Academic Press.
- Vega, F. E., Rosenquist, E., & Collins, W. (2003). Global project needed to tackle coffee crisis A sharp drop in coffee prices has caused widespread suffering and hindered research. *Nature* 425, 343. <https://doi.org/10.1038/425343a>
- Vélez, A. M., Vergara-Vásquez, E. L., Barraza-Coronell, W. D., & Agudelo-Yepes, D. C. (2015). Evaluación de un modelo estadístico para estimar la radiación solar en Magdalena, Colombia. *Tecnológicas*, 18(35), 35. <https://doi.org/10.22430/22565337.196>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer.