

Economía Agrícola



Valoración Económica de Servicios Ambientales por Captura de CO₂ en la Reserva Forestal Planalto. ECO104008

La valoración económica del servicio ecosistémico de captura de CO₂ en la Reserva Forestal Protectora Planalto en Caldas, establece que los bosques tropicales son sumideros de carbono vitales, y la cuantificación precisa de su potencial de secuestro es indispensable para acceder a mecanismos de financiamiento climático, como mercados de carbono y esquemas de Pagos por Servicios Ambientales. El objetivo fue analizar cómo la elección de diferentes ecuaciones alométricas impacta la valoración económica del carbono almacenado y, por ende, la viabilidad financiera de las estrategias de conservación. Las ecuaciones alométricas son modelos matemáticos no destructivos que estiman la biomasa total de un árbol (y el carbono) a partir de variables de campo (diámetro, altura, densidad de la madera). Para el estudio en la Reserva Planalto, se evaluaron cuatro metodologías reconocidas para ecosistemas tropicales: modelo polinómico específico para bosques naturales en Colombia, utilizando transformaciones logarítmicas de variables clave; modelo exponencial de estándar global, aplicable a bosques tropicales a nivel general; modelo cuadrático que integra variables como el Diámetro a Altura del Pecho (DAP) y la densidad de la madera; modelo multiplicativo que integra DAP y altura total, diseñado para bosques con alta variabilidad estructural. El estudio aplicó modelos econométricos robustos (Probit y Logit) para evaluar la precisión y el sesgo de cada ecuación, comparándolas con una medida de referencia compuesta. Este análisis fue crucial para determinar el modelo con el mejor ajuste estadístico y el menor riesgo de error, dado que una estimación incorrecta puede invalidar la viabilidad financiera de un proyecto. El resultado estadístico demostró que la metodología de Chave ofrece el mejor ajuste y la mayor precisión para las condiciones del bosque andino estudiado, minimizando la probabilidad de error en la estimación final del carbono. Al usar el modelo de Chave, se obtuvieron los siguientes resultados para la Reserva Planalto: Carbono Capturado: 274,90 t ha⁻¹ de CO₂; valoración en el mercado de carbono de Colombia: USD \$1.825,32 por hectárea y valoración en el mercado internacional (RGGI): USD \$5.599,67 por hectárea. Al comparar estos valores con los ingresos generados por la ganadería sostenible, estimados en USD \$656 por hectárea al año, se evidenció que la conservación del bosque es 2,8 veces más rentable que la ganadería si se valora en el mercado nacional

de carbono, y hasta 8,5 veces más rentable si se accede al mercado internacional (RGGI).

Estimación de pérdidas económicas en el proceso de beneficio de café. ECO102008

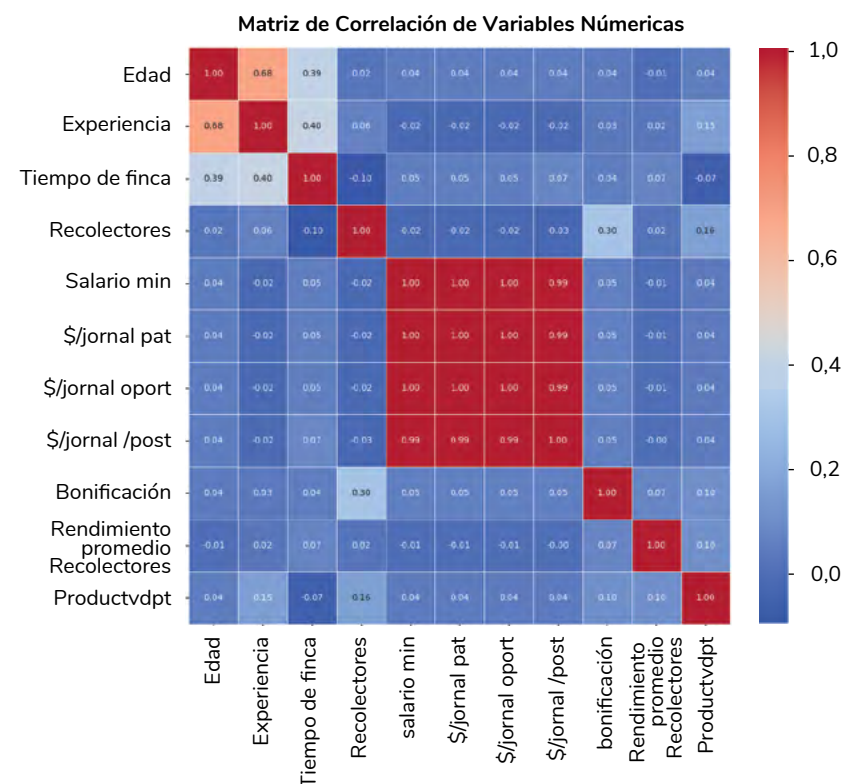
Este estudio evaluó las prácticas que generan mayores pérdidas físicas y económicas durante el beneficio, enfocándose en dos aspectos: 1) el efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y las pérdidas en el proceso de beneficio, y 2) el efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Los resultados revelan que un proceso técnico estandarizado reduce la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café excelso, y que la recuperación de pasillas puede aumentar los ingresos hasta en un 8,8%. Por otro lado, la falta de calibración de equipos puede ocasionar pérdidas de hasta un 73,86% de la producción. La falta de mantenimiento y calibración de la despulpadora se identificó como una de las prácticas que genera las pérdidas económicas más significativas en el proceso de beneficio. En el tratamiento sin mantenimiento, las pérdidas oscilaron entre un 3,16% y un 73,83%, mientras que, en el tratamiento con mantenimiento del equipo, se observó un funcionamiento estable y eficiente. En el tratamiento sin calibración, la pulpa contenía en promedio 26,55% de granos en buen estado, un valor que supera ampliamente el 0% exigido por la NTC 2090. Esta pérdida de grano de buena calidad se tradujo en una pérdida física del 30,93% y una disminución promedio en los ingresos del 40,56% en comparación con el proceso calibrado 25. La variación en las pérdidas en equipos sin calibración, osciló entre un 3,16%

y un 73,83% de reducción en los ingresos por unidad experimental. El tratamiento con calibración adecuada de la despulpadora presentó una Relación B/C de 10,76, mientras que el tratamiento sin calibración alcanzó una relación B/C de 7,0627. Esta diferencia representa un incremento del 52,3% en la rentabilidad a favor de la práctica de mantenimiento preventivo, lo que demuestra que esta práctica mejora significativamente la rentabilidad al reducir las pérdidas por defectos, con un costo mínimo. Se proyecta que un caficultor, con una pérdida del 40,56% (observada en el estudio), dejaría de percibir aproximadamente \$9.580.841,80 por hectárea al año. Los resultados demuestran que la adopción de prácticas estandarizadas durante el proceso de beneficio del café (7P), tiene un impacto positivo y significativo tanto en la calidad del producto como en la rentabilidad económica del caficultor. El Proceso 7P de Cenicafe, implementado de manera estandarizada, constituye una estrategia técnica y económica rentable (B/C de 10,82), maximizando los ingresos con inversiones mínimas adicionales.

Estudios de las funciones del patrón de corte en la cosecha de café. ECO103002

Con el propósito de aportar información para conocer las funciones del patrón de corte o supervisor en la recolección de café y apoyar la toma de decisiones de los caficultores en la administración y control de la

cosecha, se aplicó una encuesta por parte del Servicio de Extensión a los trabajadores que desempeñan ese rol en los departamentos cafeteros con fincas de área mayor a cinco hectáreas en café. El instrumento para recopilar la información consideró aspectos socioeconómicos de los trabajadores (región de origen, edad, género, estado civil, escolaridad, oficio en el origen, probabilidad de empleo en el origen, salarios nominales en el origen) y aspectos propios de las funciones que desempeña durante la cosecha de café. Otros aspectos considerados en el instrumento serán las características de las fincas. Se aplicaron técnicas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis de Clústeres para identificar las dimensiones subyacentes de los datos y segmentar a los patrones de corte en perfiles distintos. Los hallazgos confirman que la productividad está estrechamente ligada a factores específicos que van más allá de una simple correlación. El análisis se realizó sobre un conjunto de 1.027 encuestas y 26 variables. El conjunto de datos incluye variables numéricas (como edad, experiencia y rendimiento promedio recolectores) y variables categóricas clave (como zona, género y condición de caficultor). Se utilizaron gráficos de dispersión y un mapa de calor para explorar las relaciones entre las variables (Figura 17). No se encontró una correlación lineal fuerte entre los salarios por jornada y el rendimiento. Sin embargo, se observa una relación más clara entre las bonificaciones y un mayor rendimiento, lo que sugiere que las bonificaciones son un incentivo directo a la productividad.



El mapa de calor de correlación confirmó hallazgos clave. Las variables de jornal (\$/jornal pat, \$/jornal oport, \$/jornal/post, salario min) están altamente intercorrelacionadas entre sí, pero muestran una relación lineal muy baja con el rendimiento promedio recolectores. Esto subraya la naturaleza multivariada de los factores que influyen en el rendimiento. Por otro lado, edad y experiencia presentan una fuerte correlación positiva.

Figura 17. Matriz de correlación de variables numéricas.

Entomología



El informe anual de la Disciplina de Entomología presenta avances relevantes en el estudio y manejo de plagas y organismos benéficos en la caficultura colombiana. Se reporta por primera vez la muerte de cafetos relacionada con la cochinilla de la raíz *Puto barberi* asociada a la hormiga invasora *Linepithema neotropicum*, identificando su impacto desde almácigo hasta etapa productiva, proponiendo umbrales de acción y alternativas de control no químico. También se documenta la biología del barrenador del tallo y raíz del café *Plagiohammus colombiensis*, registrando sus enemigos naturales y posibles parasitoides, lo que abre opciones para control biológico. Se avanzó en la investigación sobre la mosca soldado negra *Hermetia illucens* como biotecnología para la valorización de residuos de café, con resultados promisorios en la producción de proteína y biofertilizantes, aportando a la economía circular. En cuanto a la arañita roja *Oligonychus yothersi*, se demostró que ciertos insecticidas inducen hormoligosis, mientras que otros reducen significativamente su tasa de reproducción. La colección de hongos entomopatógenos de Cenicafe conserva 320 cepas, destacando *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Además, se reportó la primera epizootia de *Acharia intensa* asociada al hongo *Cordyceps farinosa*, con potencial para control natural. Respecto a la broca del café *Hypothenemus hampei*, se optimizó la cría y liberación de los parasitoides africanos *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*, consolidándolos como herramientas clave de control biológico. Así mismo, se validó el manejo sin insecticidas químicos, logrando mantener las infestaciones por debajo del nivel económico de daño mediante el uso de prácticas de control cultural y biológico. Finalmente, se desarrollaron modelos digitales y trampas automatizadas para mejorar el monitoreo de broca, alineados con la agricultura 4.0. Estos avances refuerzan la integración de biocontrol, manejo sostenible y herramientas tecnológicas para una caficultura más resiliente y competitiva.

Actividad de colección e identificación de artrópodos plaga y benéficos de la zona cafetera. ENT101012

Se reporta por primera vez la muerte de árboles de café (Figura 18) causada por la cochinilla de la raíz *Puto barberi* en la vereda La Paloma, Manzanares (Caldas), asociada con la hormiga de hábitos invasores *Linepithema neotropicum* (Figura 19). Este complejo constituye una limitante fitosanitaria en café, desde la fase de almácigo hasta la etapa productiva, al necrosar raíces, afectar el crecimiento y, en casos severos, provocar la muerte de los árboles. La

interacción observada corresponde a un comensalismo, dado que las hormigas protegen a las cochinillas de sus enemigos naturales y facilitan su transporte y dispersión, lo que agrava el daño en el cultivo. Las hormigas poseen alimentación suficiente de varias fuentes, diferentes a la miel de rocío de las cochinillas. Se están evaluando cebos con diferentes insecticidas de síntesis química, así como cal viva, con resultados promisorios.

Se estudia la biología, dinámica poblacional y enemigos naturales del barrenador del tallo y raíz del café *Plagiohammus colombiensis* en el municipio La Gloria, Cesar, Serranía del Perijá. En junio de 2025 se seleccionaron dos lotes infestados: **1.** Finca La Estrella, a libre exposición solar con 1.000 árboles de 1,5 años, de los cuales 35 presentaron daño; y **2.** Finca Santa Bárbara, bajo sombrío tradicional, con 1.000 árboles en zoca de cuatro años, donde 112 resultaron afectados. Los árboles infestados se georreferenciaron y 30 fueron llevados al laboratorio, donde los tallos se dispusieron en cámaras de cría. Se realizaron disecciones y se observó que las larvas correspondieron al segundo estadio, de $1,5 \pm 0,7$ cm de longitud y 3,0 mm de ancho. Estas barrenaron la médula central, produciendo galerías de 5,0 mm de grosor y 20-40 cm de longitud, que se extendieron hasta el cuello de la raíz y raíces secundarias. El aserrín generado es evacuado a través del orificio de entrada. Se registran los primeros enemigos naturales (Figura 20) dentro de los tallos: un adulto muerto de *P. colombiensis* con un hongo no identificado, una larva de Elateridae, posible depredador, una pupa de una posible mosca Tachinidae parasitando estados del barrenador y un hongo posible *Metarhizium* sp. parasitando larvas del insecto. A los tres meses, las larvas alcanzaron 3,4 cm de largo y 4,0 mm de ancho, más



Figura 18. Árboles de café de 8,2 años, muertos, infestados con cochinillas de la raíz *Puto barberi*. Finca en la vereda La Paloma, Manzanares, Caldas.

del doble del tamaño inicial. En septiembre de 2025 se encontraron nuevos orificios de entrada (53 en Lote 1 y 14 en Lote 2). Adicionalmente, para identificar parasitoides, se instalaron trampas Van Someren cebadas con camarón descompuesto, capturándose moscas Tachinidae del género *Zelia* (Figura 21). Se hipotetiza que los vuelos de los adultos ocurren en los meses de mayo y enero.

Se realizan estudios sobre la mosca soldado negra *Hermetia illucens* la cual ha emergido como una alternativa biotecnológica para la valorización de residuos agroindustriales. En la caficultura, su empleo se ha centrado en la bioconversión de pulpa y mucílago de café, materiales generados en gran volumen durante el beneficio. Este insecto, no plaga, presenta metamorfosis completa en 42–77 días, destacándose por su tolerancia térmica y elevada eficiencia alimenticia. En Cenicafé se determinó que las larvas completan su ciclo en pulpa de café en 23 días, con una supervivencia cercana al 80%. Durante este período, incrementan su peso desde 0,000018 g hasta 0,238 g, transformando desechos en biomasa rica en proteínas y grasas. Se estandarizaron metodologías de manejo en todas las fases: recolección



Figura 19. *Linepithema neotropicum*, hormiga asociada con *Puto barberi* en las raíces de café. Finca El Empino, Vereda La Paloma, Manzanares, Caldas.

de posturas (Figura 22), cría de neonatos y engorde en dietas con harina de pulpa (Figura 23), mucílago y suplementos proteicos. Con densidades de hasta 8.000 larvas por bandeja, se logró una reducción del 65% al 80% del volumen de pulpa en 20 a 30 días. En la fase adulta, los parámetros reproductivos óptimos incluyeron densidades de 1.000 a 1.500 individuos/m², relación sexual 1–2:1, temperatura de 26–30°C y humedad relativa de 60%–70%. El procesamiento de prepupas para harina larval consideró métodos de sacrificio (escaldado o congelación) y secado controlado (<60°C). Se están realizando análisis microbiológicos para cumplir los estándares internacionales (UE, FAO, FDA), garantizando inocuidad en el producto final. Adicionalmente, pilotos en fincas IPAS evidenciaron que el larvicompost obtenido es más mineralizado y se genera en menor tiempo que el compostaje tradicional, aunque requiere un período de maduración antes de su uso como fertilizante. Estos avances posicionan a *H. illucens* como una herramienta estratégica para la caficultura sostenible, al reducir residuos, generar proteína de valor para alimentación animal y producir biofertilizantes de calidad, contribuyendo a la economía circular del sector cafetero.

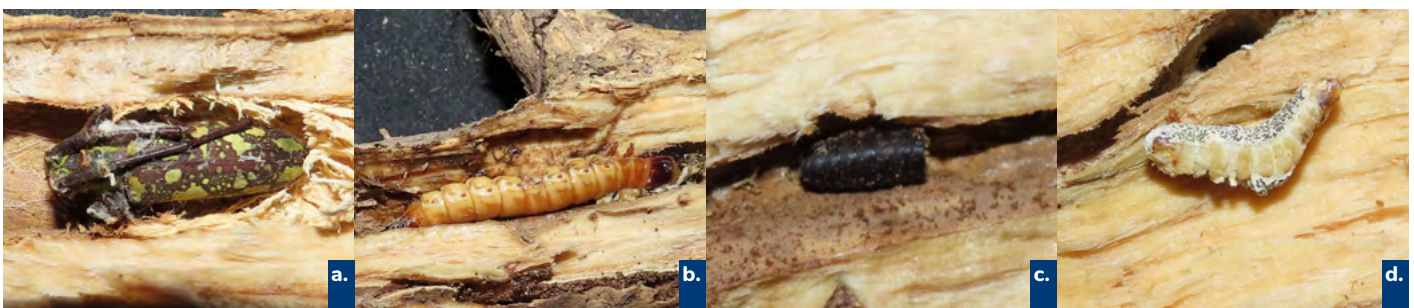


Figura 20. Enemigos naturales de *Plagiohammus colombiensis*. a. Adulto parasitado por un hongo no determinado. b. Larva de Elateridae en galerías de *P. colombiensis* depredando larvas. c. Pupa eclosionada de mosca Tachinidae, parasitoides de larvas de *P. colombiensis*. d. Larva parasitada por posible *Metarhizium* sp.



Figura 21. Mosca de la familia Tachinidae perteneciente al género *Zelia* posible parasitoide de larvas de *Plagiohammus colombiensis* recolectado en la finca Santa Bárbara, municipio de La Gloria, Cesar.



Figura 22. Detalle de posturas de la mosca soldado negra en tablas de madera.



Figura 23. Cría de *Hermetia illucens* en condiciones de cuarto de cría.

Factores abióticos que afectan el desarrollo de la arañita roja *Oligonychus yothersi* en café. ENT101018

La arañita roja *Oligonychus yothersi* es una plaga emergente del café en Colombia, cuya dinámica poblacional puede verse influenciada por insecticidas registrados para otras plagas del cultivo. Con el objetivo de evaluar estos efectos, se estableció una colonia de cría en el laboratorio, que alcanzó la tercera generación, lo que permitió obtener material suficiente para experimentación. Los ensayos contemplaron variables biológicas clave: longevidad de hembras, fecundidad, proporción sexual y parámetros de tabla de vida. Los resultados mostraron que el testigo (agua) y el insecticida tiametoxam prolongaron la longevidad de las hembras a más de 14 días y produjo un promedio de 35,9 huevos por hembra, superior al testigo con 27,2 huevos, lo cual explica la hormoligosis, donde la exposición a ciertos compuestos estimula la reproducción en lugar de limitarla. El análisis de la proporción sexual indicó una relación estable de cinco hembras por macho, sin diferencias significativas entre tratamientos ($X^2= 3,15$; $p= 0,369$). En los parámetros poblacionales, la tasa neta de reproducción (R_0) se redujo significativamente cuando se usó isocycloseram, lo que evidencia un control eficaz y un efecto negativo sobre la capacidad de reemplazo poblacional.

Actividad de mantenimiento y caracterización del cepario de hongos de Cenicafé. ENT 103001

La colección del cepario de Cenicafé cuenta actualmente con 320 cepas de microorganismos preservadas mediante tres métodos, con el fin de mantener su estado original. El uso de nitrógeno líquido ha demostrado ser el más eficiente, garantizando óptima viabilidad para la mayoría de especies. Entre los géneros más representativos se destacan *Beauveria bassiana* (139 cepas) y *Metarhizium anisopliae* (41 cepas), que conservan una viabilidad promedio cercana al 80%. Para otras especies, los porcentajes de germinación varían entre 58% en *Colletotrichum* sp. y 93% en *Trichoderma* y *Lecanicillium*. Desde 2020 se han reportado tres brotes del gusano rojo gregario, *Acharya intensa*, en cafetales de Durania, Norte de Santander. El más reciente, ocurrido entre diciembre de 2024 y enero de 2025, fue también el de mayor severidad, con alta densidad larval. Estos ataques se asociaron con la temporada seca e inician en árboles de sombrío, desde donde las larvas se dispersan, provocando la defoliación progresiva de los cafetos cercanos. Durante este último brote se recolectaron larvas parasitadas por un hongo entomopatógeno (Figura 24), identificado mediante secuenciación en el Instituto de Biotecnología IBUN y confirmado por morfología (Figura 25), como *Cordyceps* pos. *farinosa*. Este hallazgo resulta de gran importancia, ya que constituye la primera epizootia que asocia estas especies. Actualmente se está reproduciendo este hongo para realizar aspersiones en cafetales durante los ataques tempranos, de tal manera que se contribuya con el control natural de esta plaga potencial.

Determinación de las condiciones para la importación y exportación de parasitoides de la broca del café. ENT103017

Phymastichus coffea (Hymenoptera: Eulophidae) es un parasitoide de la broca del café capaz de reducir las infestaciones en el campo hasta en un 51,1%. Sin embargo, la inversión que requieren los sistemas de cría convencionales ha limitado las intenciones de producción masiva para exportación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia

de sustratos inertes de bajo costo y su viabilidad económica para la cría de esta especie. Se trabajó en condiciones controladas de 25°C y 70% de humedad relativa. Se evaluaron tres sustratos: cartón corrugado de 3,0 mm, masa de harina de trigo con anticontaminantes y tortilla de harina comercial. Se efectuaron nueve evaluaciones con 20 unidades de observación por repetición. Cada unidad consistió en un recipiente con el sustrato, 100 brocas desinfectadas y una proporción de diez brocas por tres avispas. Todos los procedimientos se efectuaron en cámara de flujo laminar bajo protocolos de asepsia. Los resultados mostraron que la tortilla comercial de harina fue el sustrato más eficiente, donde se logró un 67% de parasitismo y tasas de desarrollo de *P. coffea* de 79% y 86% a los 15 y 35 días, respectivamente, con solo un 15% de contaminación. En contraste, el cartón corrugado y la masa de harina presentaron altos niveles de contaminación fúngica (85% y 100% a los 35 días). El costo estimado de producir 1.000.000 de avispas en tortilla comercial de harina resultó 78,7% menor frente al café pergamino húmedo y 47,8% menor respecto a la dieta artificial.

Producción masiva de parasitoides africanos para el control de la broca en grandes áreas (Area-wide). ENT107011

En diciembre de 2024 se realizó la liberación de *Prorops nasuta* a partir de 82.000 granos de café infestados por broca con un promedio de parasitismo por la avispa del 81%. Se estimó la liberación de 531.360 individuos un mes antes de la renovación de cafetales en la Estación Experimental La Catalina, con el fin de fortalecer el control biológico de la broca del café. Posteriormente, entre marzo y mayo de 2025, se liberaron *Phymastichus coffea* a partir de 81.000 granos infestados por broca, con un promedio de parasitismo por la avispa del 71,2%, equivalentes a 494.586 avispas liberadas en lotes de

colonización. El seguimiento del porcentaje de parasitismo en el campo de *P. coffea* mostró que entre noviembre de 2024 y marzo de 2025 los valores se mantuvieron en cero, registrando un incremento a partir de abril. No obstante, este repunte fue inferior al observado en años anteriores, lo que sugiere la necesidad de ajustar las estrategias de liberación y monitoreo. De forma complementaria, entre septiembre de 2024 y agosto de 2025 se produjeron 588.000 individuos de *P. coffea* a partir de 210 recipientes con broca sobre sustrato artificial (Figura 26). Esta producción ha permitido su uso tanto en liberaciones en la Estación Experimental La Catalina como en envíos a programas de control biológico en Hawái y Puerto Rico, evidenciando la capacidad de multiplicación del parasitoide a escala semi-industrial. Estos resultados consolidan a *P. coffea* y *P. nasuta* como pilares estratégicos en el manejo integrado de esta plaga.

Validación del manejo del cultivo de café sin el uso de insecticidas químicos. ENT107014

En la Estación Experimental La Catalina se ha avanzado en el monitoreo de la mortalidad del hongo *Beauveria bassiana* en el campo, cuando las condiciones de infestación sobrepasan el 2% de infestación y 50% de la posición de la broca en posiciones A y B. De 73 aspersiones realizadas entre abril del año 2023 y junio del año 2025, el 11% superaron



Figura 24. *Acharia intensa* con ataque de *Cordyceps farinosa* a. Cubierta de micelio y esporas; b. Corte de pupa momificada por el hongo.



Figura 25. Estroma de *Cordyceps farinosa* en medio de cultivo SDA.



Figura 26. Liberación de *Phymastichus coffea* en dieta artificial. a. Caja galletera con dieta artificial y broca parasitada con la avispa entregada por Biocafé; b. Caja postrera con dieta con perforación superior y muselina para la salida de la avispa; c. Dispositivo para la liberación de *Phymastichus coffea* en dieta para protección de lluvias.

el 90% de mortalidad en el campo, así como entre el 29% y el 56% superaron los umbrales entre 80% y 60% de mortalidad, respectivamente. La estabilidad del hongo comercial se afecta durante el tiempo y las condiciones de almacenamiento. De acuerdo con el monitoreo de la infestación de la broca ponderada en el campo, desde el año 2012 en la Estación Experimental La Catalina, solo en dos momentos (2016, 2020) se registraron valores que superaron el nivel de daño económico del 5%; en los últimos años, aunque se han presentado condiciones favorables para el desarrollo de la plaga, desde el momento de la adopción de la estrategia sostenible, sin insecticidas químicos, se han mantenido los niveles por debajo del nivel de daño económico, y en algunos casos, por debajo del umbral de acción del 2% (Figura 27). Se concluye que esta estrategia sostenible es eficaz en el control de la broca del café. De manera consecuente, la infestación en el café pergamino seco se mantuvo por debajo del 1,5% durante la cosecha principal de 2024, cuando se recolectó el 88% del café de todo el año.

Dado que las aplicaciones del hongo demandan mano de obra, adicionalmente se evalúa un equipo termonebulizador Swingfog para el control de la broca del café con *Beauveria bassiana* (Figura 28). Para esto se aplicó una formulación comercial en la Estación Experimental La Catalina (Cenicafé), en un lote de segunda cosecha con densidad de 7.518 plantas/ha. Se incluyeron dos testigos: absoluto (agua) y relativo (aspersora de espalda eléctrica con boquilla TX3). La evaluación se realizó sobre infestaciones naturales en el campo a los 20 días después de las aplicaciones. La mortalidad en el testigo relativo superó el 75% (Figura 29), para el testigo absoluto no se tuvieron resultados significativos.

Se iniciaron las evaluaciones de poblaciones de *Puto barberi* con el fin de aplicar productos no químicos a partir de un umbral de acción. El estudio se desarrolló en la Estación Experimental La Catalina y en fincas de Manzanares, Caldas, en un lote de 0,49 ha de variedad Castillo® de 3,4 años. Al momento de la evaluación,

se registró que el 33,4% de las plantas eran verdes productivas, 1,0% cloróticas productivas, 18,2% defoliadas con baja producción, 5,5% muertas y 42% sitios perdidos. Se establecieron cuatro categorías de daño con base en el estado fitosanitario y productivo. En cada categoría se marcaron 15 plantas (total 60), se registró la producción, y posteriormente, se desenterraron para cuantificar la población de *P. barberi*. Los resultados mostraron que las plantas verdes productivas alcanzaron la mayor producción ($706,7 \pm 114$ g) y la menor densidad de *P. barberi* (17 ± 7 individuos, mínimo 0). Las plantas cloróticas redujeron el rendimiento en 58% respecto a las verdes ($299,3 \pm 50,7$ g) y presentaron una alta infestación (449 ± 95 individuos, mínimo 15). En plantas defoliadas con baja producción, el rendimiento fue de apenas $34,9 \pm 9,7$ g, con una densidad promedio de 314 ± 109 individuos por planta. Así, puede establecerse que, a partir de 15 individuos de *P. barberi* por planta comienzan las pérdidas productivas, lo que constituye un umbral de acción para implementar medidas de manejo. Adicionalmente, con el fin de proponer un manejo etológico de la plaga en el campo, se identificó la flora asociada a *P. barberi*; en la Estación Experimental se identificaron 21 especies de arvenses, confirmándose a *Hyptis atrorubens*, *Galinsoga parviflora*, *Conyza bonariensis*, *Talinum paniculatum* y *Bidens pilosa* como hospedantes. En Manzanares se registraron 17 especies, de las cuales 16 hospedaron *P. barberi*, excepto *Mycrostachys corniculata*. Este hallazgo es de gran significancia por tratarse de la primera vez que se encuentra una especie totalmente sana en un lote infestando todas las demás especies botánicas (Figura 30).

Construcción y aplicación de un modelo para broca y chamusquina del café. ENT107015.

La broca del café ocasiona pérdidas parciales o totales del grano por el daño directo a las almendras, por lo cual surge la necesidad de implementar herramientas innovadoras que permitan optimizar el muestreo, mejorar

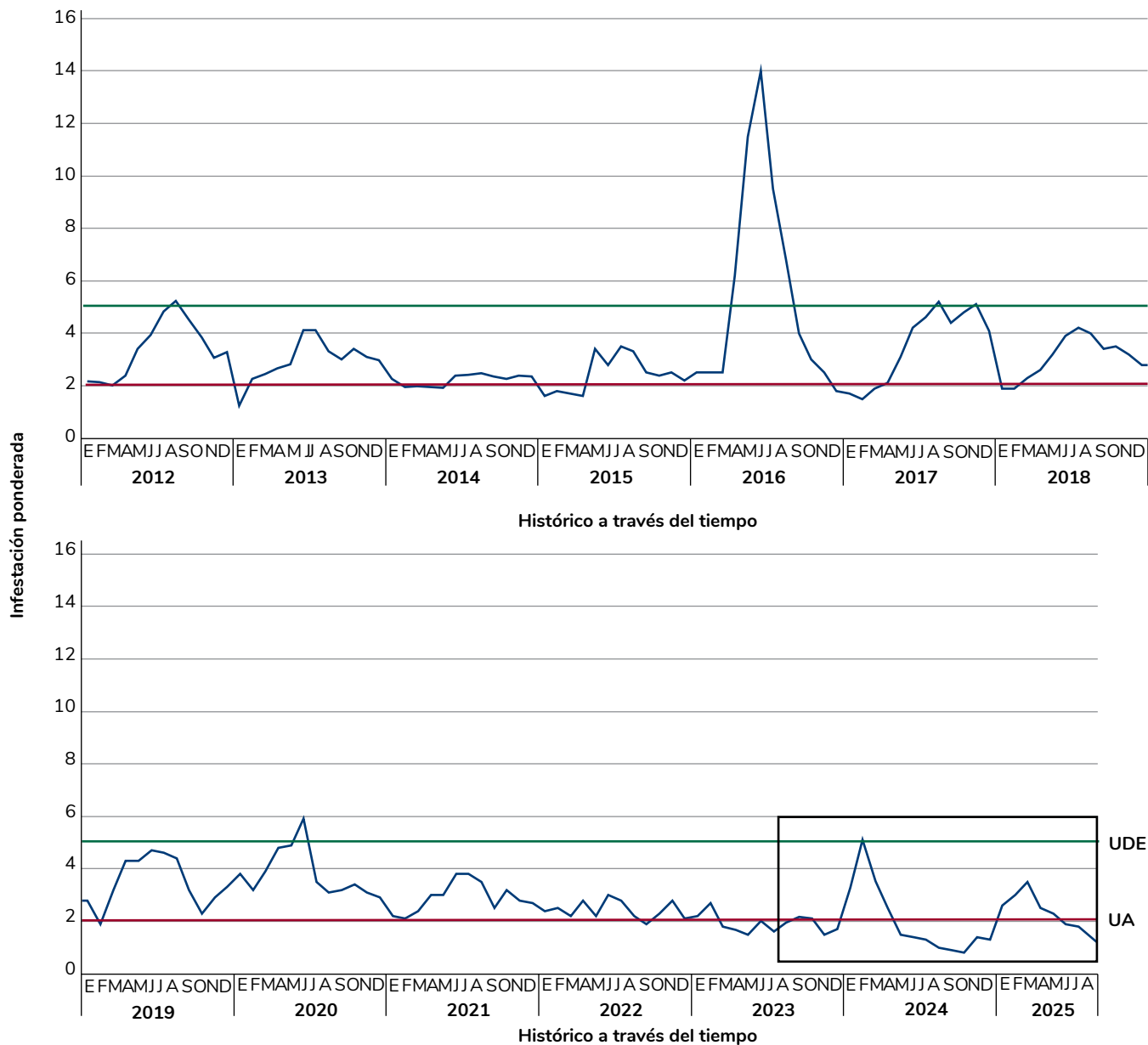


Figura 27. Porcentaje de infestación por broca ponderada en la Estación Experimental La Catalina, desde el año 2012 hasta el año 2025. El recuadro indica la infestación desde el inicio de este proyecto de manejo sostenible sin insecticidas químicos, UDE: umbral de daño económico; UA: umbral de acción.



Figura 28. Nebulización en el lote.

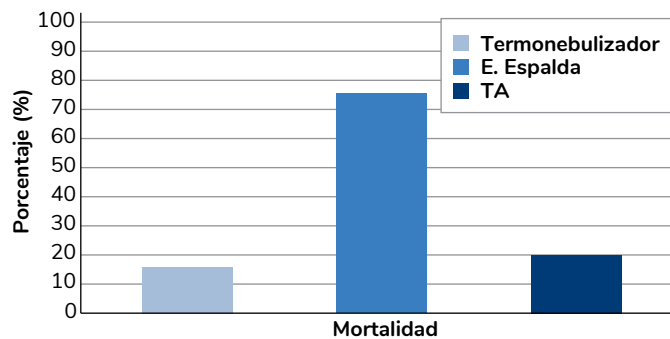


Figura 29. Porcentaje de mortalidad de *H. hampei* en lotes de café 21 días después del tratamiento con *B. bassiana* mediante la utilización de dos equipos de aplicación. Límites de confianza al 95%. La Catalina, 2025.

la oportunidad de las recomendaciones y fortalecer las estrategias de Manejo Integrado. Con el objetivo de desarrollar una herramienta digital para el muestreo de la broca y avanzar en la creación de una estrategia digital de alerta temprana para la chamusquina del café, se instalaron trampas convencionales y trampas automatizadas en la Colección Colombiana de Café. Estas últimas cuentan con capacidad para registrar de manera automática las capturas de la broca y otros insectos. Los resultados iniciales evidenciaron que las trampas automatizadas tendieron a subestimar el número de brocas capturadas y, en contraste, registraron una alta proporción de insectos no objetivo. Para superar estas limitaciones se realizaron ajustes en el diseño, incluyendo cambios de color y la fusión de dispositivos, lo que incrementó la captura de la plaga y redujo la proporción de organismos ajenos al cultivo. De manera complementaria, se optimizó el software logrando un mejor desempeño en la identificación digital de los insectos. Estos avances representan un paso significativo hacia la consolidación de plataformas digitales aplicadas al manejo de plagas, enmarcadas dentro de la agricultura 4.0.



Figura 30. Arvensis *Microstachys corniculata* (Vahl) Griseb (Euphorbiaceae), donde no se encontró poblaciones de *Puto barberi*.