



Revista MINERVA

Plataforma digital de la revista: <https://minerva.sic.ues.edu.sv>

Artículo Científico | Scientific Article

Evaluación preliminar de compuestos aromáticos y variedades de cafeto con potencial atrayente de la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferrari) mediante técnicas olfatométricas

Preliminary evaluation of aromatic compounds and coffee plant varieties with attractant potential for the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) using olfactometric techniques

Jairo Galileo Marroquín^{1,4}, Melvin Iván López Méndez^{2,5}, María Ofelia González¹,
Bernard Pierre Dufour^{3,6}

¹ Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador

² Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología, Gerencia de Educación Superior

³ Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD, Francia)

⁴  <https://orcid.org/0009-0000-4948-223X>

⁵  <https://orcid.org/0000-0001-5153-1715>

⁶  <https://orcid.org/0000-0002-7727-6721>

RESUMEN

Se realizaron varios ensayos con olfatómetros de caída contruidos según el modelo de Pavis y Minost (1993), con el objetivo de evaluar la respuesta de la broca *Hypothenemus hampei* Ferrari frente a distintas fuentes de olores naturales y artificiales. En un primer momento, se elaboró una metodología sencilla para evaluar la atractividad de la broca hacia las distintas fuentes de atrayentes; posteriormente, esta se aplicó para evaluar el nivel de

DOI: <https://doi.org/10.66778/RM.v09ed01.09>

Enviado: 11 de abril de 2025

Aceptado: 2 de febrero de 2026

Palabras clave: Broca, *Hypothenemus hampei*, café, olfatómetro, atrayente.

Keywords: Borer, *Hypothenemus hampei*, coffee, olfactometer, attractant.



Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

atracción de los frutos de diferentes especies y variedades de cafetos. La metodología fue adaptada para el uso de sustancias volátiles (terpenos y aceites esenciales). Inicialmente, se utilizó papel filtro como soporte de difusión; sin embargo, a partir de los resultados obtenidos, se sustituyó por capilares, con el fin de permitir una difusión constante y uniforme de los efluvios. Los resultados mostraron que el olfatómetro construido en vidrio es el modelo más adecuado, que la broca permanece activa durante todo el día y que los frutos mantienen su capacidad atractiva hasta 24 horas después del corte. Entre las variedades y especies evaluadas, la variedad Pacas se identificó como una de las más atractivas, mientras que las especies *Canephora* y *Robusta* resultaron ser las menos atractivas. En la evaluación de los productos líquidos aromáticos, el papel filtro utilizado como soporte de difusión no permite detectar la reacción de la broca. La sustitución del papel filtro por capilares genera un efecto positivo del cimeno a una concentración de 0.1%.

ABSTRACT

Several assays were conducted using drop-type olfactometers built according to the model of Pavis and Minost (1993) to evaluate the response of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari, to different sources of natural and artificial odors. Initially, a simple methodology was developed to assess the attractiveness of the borer to the different attractant sources; this approach was later applied to evaluate the level of attraction of fruits from different coffee species and varieties. The methodology was adapted for the use of volatile compounds (terpenes and essential oils). Filter paper was initially used as a diffusion support; however, based on the results obtained, it was replaced with capillaries to allow a constant and uniform release of volatiles. The results showed that the glass olfactometer is the most suitable model, that the borer remains

active throughout the day, and that the fruits retain their attractiveness up to 24 hours after harvesting. Among the varieties and species evaluated, the Pacas variety was identified as one of the most attractive, whereas the *Canephora* and *Robusta* species were the least attractive. In the evaluation of liquid aromatic products, the filter paper used as a diffusion support does not allow detection of the borer's response. Replacing the filter paper with capillaries produces a positive effect of cymene at a concentration of 0.1%.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cafeto se considera de gran importancia en El Salvador, no solo por su influencia en el producto interno bruto, sino por su relevancia social al constituir la fuente de sustento de un amplio segmento de la población, principalmente en las zonas rurales. Además, genera ventajas ecológicas para las regiones donde es cultivado porque conserva muchas especies de plantas y animales que se encuentran en vías de extinción (Hernández, 2019).

Hypothenemus hampei es la principal plaga de este cultivo, y desde su introducción al país en el año 1981, se han hecho grandes esfuerzos por controlarla aplicando diversas técnicas, desde el control químico con Endosulfan hasta el control biológico con parasitoides y hongos entomopatógenos. Sin embargo, los resultados no han sido satisfactorios (Mendoza et al., 2021).

Las tendencias actuales para el control de la broca están dirigidas a utilizar menos insecticidas y aplicar diferentes alternativas del manejo integrado, como el trampeo, que consiste en la captura de las brocas adultas emergentes de los frutos residuales que migran hacia la nueva fructificación (Torres et al., 2025; Cenicafé, 2023; ANACAFE, 2017). En este contexto, desde el año 1997 se implementó una serie de experimentos con trampas utilizando

como atrayente la mezcla etanol-metanol (30-70). Ahora, el último perfeccionamiento pendiente es el reforzamiento del poder atractivo del atrayente que permitiría aumentar la capacidad de captura de las trampas (Amador, 2023; Dufour, 2004).

Esta investigación tuvo como propósito identificar atrayentes específicos de la broca del café, evaluando el efecto de diferentes fuentes de atrayentes: frutos de diferentes especies y variedades de cafeto, compuestos aromáticos del café, naturales y sintéticos. Para alcanzar este propósito, es indispensable definir una estrategia adecuada a partir de diferentes métodos olfatométricos existentes, buscando la mejor forma de adaptarlas al comportamiento de la broca, a la naturaleza de las fuentes aromáticas y de las propias condiciones del laboratorio.

METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se realizó en un laboratorio propiedad de la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFÉ), ahora Instituto Salvadoreño del Café, ubicado en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Avenida Dr. Manuel Gallardo, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador.

La broca (*H. hampei*) que se utilizó en los experimentos fue de dos fuentes: 1) crianza en café pergamino y 2) crianza en café sano y brocado del campo. Se usaron hembras recién emergidas para los ensayos.

Los frutos son la primera fuente de olor, provenían de la colección de cafetos del jardín de especies y variedades de PROCAFE Santa Tecla y de la finca Malacara ubicada sobre las faldas del volcán Ilamatepec, departamento de Santa Ana. Las especies y variedades (agronómicas) de café de sombra utilizadas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Especies y variedades de cafeto utilizadas en la investigación

Especie	Variedad	Línea	Origen
Coffea arábica	Bourbon “élite 33”	C-300	Santa Tecla Jardín de Especies y Variedades, Bloque 54
	Bourbon “Santa Ana”	Anónimo	Finca “Malacara” Santa Ana
	Catimor	8600	Santa Tecla, Banco de Semilla, Autopolinización

	Catisic	C-435	Santa Tecla. Ensayo. Banco de Semilla
	Catuaí		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades Bloque sin número
	Caturra		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 39
	Leroy		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 50
	Maragogype		Santa Tecla. Jardín de Especies y Variedades, Bloque 45
Coffea arábica	Moka		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 49
	Mundo Novo		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 33
	Pacas	C-300	Santa Tecla, Banco de Semilla Certificada
	Purpurascens		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 42
	Tekisic		Santa Tecla. Ensayo. Banco de Semilla Certificada
	Pache		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 47
Coffea excelsa	Arnoldiano		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque
Coffea eugenoides	Eugenoides		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 32
	Canephora		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 1
Coffea canephora	Robusta		Santa Tecla, Jardín de Especies y Variedades, Bloque 2
Híbrido T3	Sarchimor x Rume Sudan ($L_{13}A_{44}$)		Fincas San Jorge y San Antonio, Depto. Santa Ana
Híbrido T4	Sarchimor x Etiope 15 (L_4A_5)		Fincas San Jorge y San Antonio, Depto. Santa Ana
Híbrido T5	Sarchimor x Etiope 25 (L_5A_{27})		Fincas San Jorge y San Antonio, Depto. Santa Ana
Híbrido T6	Sarchimor x Rume Sudan ($L_{12}A_{28}$)		Fincas San Jorge y San Antonio, Depto. Santa Ana

Como segunda fuente de olor, se utilizaron terpenos identificados por Mathieu (1998), aceites esenciales y limpiador comercial (Tabla 2).

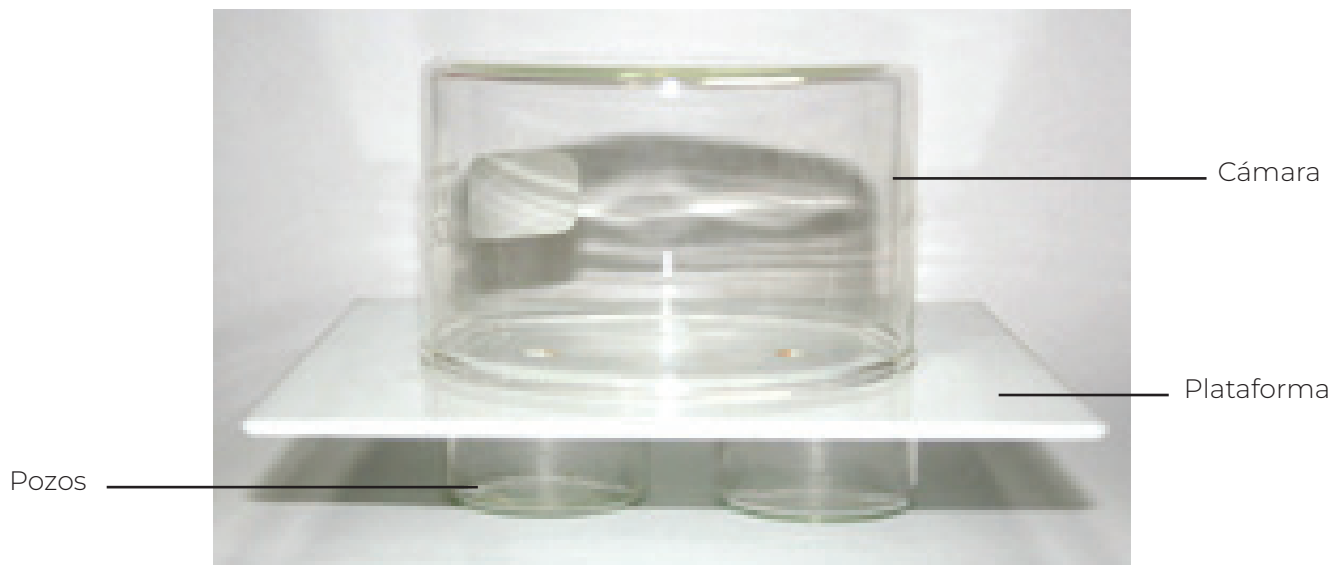
Tabla 2*Atrayentes y compuestos aromáticos utilizados en la investigación*

Tipo de producto	Nombre del producto	Referencia	Principales componentes	Marcas y origen
Alcoholes	Mezcla de	MBT	Etanol y metanol	FALMAR
	la trampa BROCAP			(El Salvador)
	Humuleno			Fluka (Francia)
	Copaeno			Fluka (Francia)
Terpenos	(+) Limoneno	T2	(+) Limoneno 97%	Aldrich (USA)
	Cimeno	T6	Cimeno 99%	Aldrich (USA)
	Cariofileno	T9	Cariofileno	Fluka (Francia)
	Mirceno	T3	Mirceno	Aldrich (USA)
	((-) Pineno	T1	((-) Pineno	Sigma (USA)
Aceites Esenciales	Canaga odorata	HE1	Cariofileno, Farmaceno, Copaeno, Salicilato de benzilo.	Aroma France (Francia)
	Revensara aromatica	HE2	Limoneno, Cariofileno, Sabineno	Aroma France (Francia)
Aceites	Citrus paradisi	HE3	Limoneno (94%), Mirceno, Pineno	Aroma France (Francia)
Esenciales	Gaulturia procubens	HE4	Salicilato de Metilo	Aroma France (Francia)
	Pinus silvestris	HE5	Pineno, Pineno Mirceno, Limoneno	Aroma France (Francia)
Limpiador Comercial	Azistin		Eucalipto, Cítrico (Limoneno)	Colgate Palmolive (El Salvador)

A partir del olfatómetro de caída de Pavis y Minost (1993), se diseñaron distintos prototipos. Se seleccionó un modelo hecho de vidrio con versiones de 2 y 4 pozos (Fig. 1).

Figura 1

Olfatómetro de caída a dos pozos



Se evaluaron sucesivamente olfatómetros de 2 y 4 pozos para definir la capacidad de cada uno de los modelos y diferenciar el potencial atractivo de los frutos de diferentes variedades de cafeto. Para un mismo tratamiento (especie o variedad), se utilizaron de 7 a 14 olfatómetros. Cada uno corresponde a una repetición. Para todos los ensayos, el número de brocas utilizadas fue de 50 por olfatómetro. El fruto del cafeto variedad Bourbon fue elegido como testigo, al principio se utilizó la línea “élite 33” y luego “Santa Ana”, cuando se agotaron los frutos de la primera línea. Al inicio de las pruebas, se colocaron 2 frutos por variedad a evaluar en cada pozo prueba y 2 frutos de Bourbon en cada pozo testigo, luego se observó cómo se orientaron los insectos hacia los pozos. Transcurridas tres horas, se contaron las brocas que eligieron los pozos testigos, los pozos pruebas y las que no eligieron y quedaron en la superficie. Estos resultados se analizaron con las pruebas no paramétricas: Wilcoxon para los olfatómetros de 2 pozos y Friedman para los olfatómetros de 4 pozos.

Con olfatómetros de 2 pozos y papel filtro como soporte de difusión, se probaron la mezcla etanol-metanol, varios terpenos, aceites esenciales y un producto de limpieza. Las diluciones en agua de la mezcla etanol-metanol se presentan en la tabla 3. Las diluciones en aceite de parafina para los terpenos y aceites esenciales y en agua para el producto de limpieza, se presentan en la tabla 4. Con una micropipeta se tomaron 10 μ L de líquido a evaluar (diferentes diluciones) y se depositaron sobre un papel filtro (3 x 1 cm) en el pozo de prueba. Se depositó la misma cantidad del líquido de dilución en el pozo testigo. Si los productos a probar eran terpenos o aceites esenciales, se utilizó aceite de parafina, si eran limpiador y mezcla etanol-metanol 30:70 se utilizó agua. Posteriormente, se colocó la plataforma de Plexiglás® sobre los pozos, seguidamente se depositó la broca y por último se colocó la cámara hermética (Cristalizador). Se hicieron 2 repeticiones por tratamiento en cada sesión experimental y se necesitaron de 4 a 5 sesiones, para cumplir con una prueba.

Tabla 3*Diluciones de la mezcla etanol-metanol utilizadas en la difusión con papel filtro*

Volumen	Cantidad	Concentración	Referencia
--	--	Producto puro	C0
10 mL	1 g	100 g/L	C1
10 mL	100 mg	10 g/L	C2
10 mL	10 mg	1 g/L	C3
10 mL	1 mg	100 ng/L	C4
10 mL	0.1 mg	10 ng/L	C5

Tabla 4*Diluciones de terpenos, aceites esenciales y limpiador*

Volumen	Cantidad / μL	Concentración	Referencia
2 mL	20 mg	10 g/L	C2
2 mL	2 mg	1 g/L	C3
2 mL	0.2 mg	100 ng/L	C4
2 mL	0.02 mg	10 ng/L	C5
2 mL	0.002 mg	1 ng/L	C6

Con olfatómetros de 2 pozos y capilares como soporte de difusión, se probó la mezcla etanol-metanol y un solo terpeno: el cimeno. Las diluciones en agua de la mezcla etanol-metanol se presentan en la tabla 5. Las diluciones del cimeno en etanol 90° se presentan en la tabla 6. Se hicieron 2 modelos de difusores: un modelo para la difusión de la mezcla etanol-metanol 30:70, con segmentos finos de pipetas "Pasteur" de 1 mm de diámetro insertados en las tapaderas de viales de 2.5 mL y el otro modelo para la difusión de las soluciones de cimeno,

con segmentos de micropipetas de 0.25 mm de diámetro, insertos en el extremo superior de los segmentos de pipetas "Pasteur" (Fig. 2). Dos difusores que contienen 0.5 mL de la mezcla etanol-metanol 30:70 se colocaron, uno en el pozo testigo y otro en el pozo prueba. Un difusor que contiene 0.5 mL de solución de cimeno se colocó en el pozo prueba a la par del difusor con mezcla etanol-metanol. Se realizaron 5 pruebas con diferentes concentraciones de cimeno (10, 1, 0.1, 0.01 y 0.001%) y 5 repeticiones de cada una.

Tabla 5

Diluciones de la mezcla etanol- metanol 30:70 utilizadas en la difusión con capilares

Concentración mezcla E.M	Tipo de dilución
100%	0.5 mL de mezcla etanol-metanol
80%	0.4 mL de mezcla + 0.1 mL de agua destilada
60%	0.3 mL de mezcla + 0.2 mL de agua destilada
40%	0.2 mL de mezcla + 0.3 mL de agua destilada
20%	0.1 mL de mezcla + 0.4 mL de agua destilada

Tabla 6

Diluciones del Cimenó utilizadas en la difusión con capilares

Concentraciones	Compuestos
Solución a 10%	1 mL de Cimenó + 9 mL de etanol
Solución a 1%	1 mL de solución a 10% + 9 mL de etanol
Solución a 0.1%	1 mL de solución 1% + 9 mL de etanol
Solución a 0.01%	1 mL de solución 0.1% + 9 mL de etanol
Solución a 0.001%	1 mL de solución 0.01% + 9 mL de etanol

Figura 2

Difusores con tubo capilar



Se calibraron los capilares especialmente para las cantidades de la mezcla etanol-metanol 30:70. Tal como se hizo anteriormente, la mezcla etanol-metanol 30:70 se diluyó en agua destilada para obtener concentraciones de 100%, 80%, 60%, 40% y 20% (Tabla 5) y se tomaron 2 mL por difusor. Se prepararon 5 repeticiones de cada dilución. Se pesaron los difusores conteniendo las soluciones para obtener el peso inicial. Se depositó cada difusor en los pozos de olfatómetros por un periodo de 10 días, en condiciones de temperatura promedio de 27°C. Después de este tiempo se pesaron nuevamente los difusores y por último se obtuvo el peso final. La diferencia de peso corresponde a la cantidad de producto evaporado durante 10 días. De esta forma, se puede evaluar la difusión de la mezcla etanol-metanol 30:70 de cada dilución, por día, hora o minuto.

RESULTADOS

Elaboración de una metodología para el estudio con la broca. La experimentación constó de cuatro ensayos: 1 - actividad de la broca durante el día, 2 - duración de la atractividad de los frutos después de su corte, 3 - atractividad de los diferentes estados de maduración de los frutos, 4 - modelo de olfatómetro más eficiente.

Actividad de la broca en el transcurso del día

Los resultados se presentan en la tabla 7. De acuerdo a la prueba no paramétrica de Wilcoxon ($P < 0.05$), los resultados indican que la “broca” responde a los efluvios emitidos por los frutos de cafeto desde las 9:00 a. m. hasta las 4:00 p. m., lo que corresponde a una gran parte del día.

Tabla 7

Resultados de la actividad de la broca a diferentes horas del día (Prueba Wilcoxon)

Hora	Pozo testigo	Pozo prueba	Probabilidad
9:00 a. m	16.57	29.00	P<0.05
12.00 m.	15.71	24.71	P<0.05
14.00 p. m	13.57	18.43	P<0.05

Atractividad de los frutos a diferentes tiempos después del corte

Los resultados se presentan en la tabla 8. La prueba no paramétrica de Wilcoxon (P<0.05 y P<0.01) indica que la broca responde al olor emitido por los frutos a diferentes tiempos

de corte: 0 h, 6 h, 18 h y 24 h. Sin embargo, la respuesta a 12 h no es significativa debido al resultado de una repetición incorrecta (Repetición 5). A pesar de este dato, se puede considerar que los frutos siguen emitiendo olores por lo menos hasta 24 h.

Tabla 8

Atractividad de los frutos a diferentes horas después del corte

Hora	Pozo testigo	Pozo prueba	Probabilidad
0	9.25	17.63	P<0.05
6	9.38	18.88	P<0.05
12	11.50	20.38	NS
18	10.25	22.50	P>0.01
24	11.38	21.63	P>0.01

Preferencia de la broca hacia los frutos de cafeto en sus diferentes estados de maduración: verdes, maduros y secos

Los resultados se presentan en la tabla 9. La prueba no paramétrica de Wilcoxon (P<0.01) indica que la broca responde a los olores emitidos por los frutos de cafeto, maduros y secos. Sin embargo, los frutos verdes son los menos atractivos. Tomando en cuenta el nivel de significado de la prueba de Wilcoxon, los frutos maduros, son más atractivos que los frutos secos.

Respuesta de la broca en función del tipo de olfatómetro utilizado y el tiempo de prueba

Con los olfatómetros de vidrio desde la primera hora de ensayo, la broca responde a los olores de los frutos del cafeto, de manera significativa (Wilcoxon, P<0.01). Con los olfatómetros de cartoncillo se obtiene el mismo resultado con una probabilidad más baja: P<0.05.

Con los olfatómetros de vidrio, la caída de la broca en los pozos, casi no aumenta a partir de 3 horas de ensayo (Gráfico 1a). En cambio, hay

que esperar más tiempo con los olfatómetros de cartoncillo para observar el mismo fenómeno (Gráfico 1b).

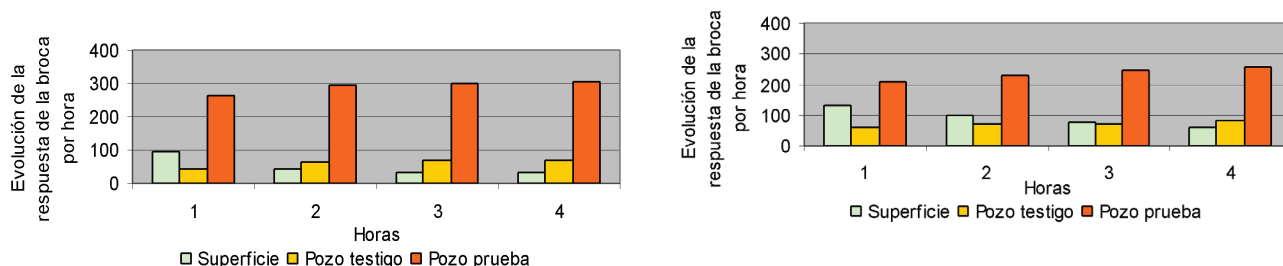
Tabla 9

Respuesta de la broca a 3 estados de maduración de los frutos

Frutos	Pozo testigo	Pozo prueba	Probabilidad
Verdes	15.89	24.86	NS
Maduros	7.93	34.29	P<0.01
Secos	11.56	30.00	P<0.01

Gráfico 1

Respuesta de la broca en función del tiempo, en olfatómetros: a - de vidrio, b - de cartoncillo



Determinación de una escala de preferencia de la broca por frutos de diferentes variedades de cafeto – olfatómetro de 2 y 4 pozos

Por falta de frutos maduros, la variedad testigo Bourbon "élite 33" se cambió por la variedad Bourbon "Santa Ana" en algunas pruebas. Los niveles de preferencia ajustados en función de los valores de las variedades Bourbon "Santa Ana" y Bourbon "élite 33", se ordenan sobre dos ejes. Así, se definen variedades más o menos atractivas con respecto a los dos Bourbones (Fig. 4).

Figura 3

Escala de preferencia de la broca para diferentes variedades, en olfatómetros de 4 pozos, tomando el Bourbon "élite 33" como referencia

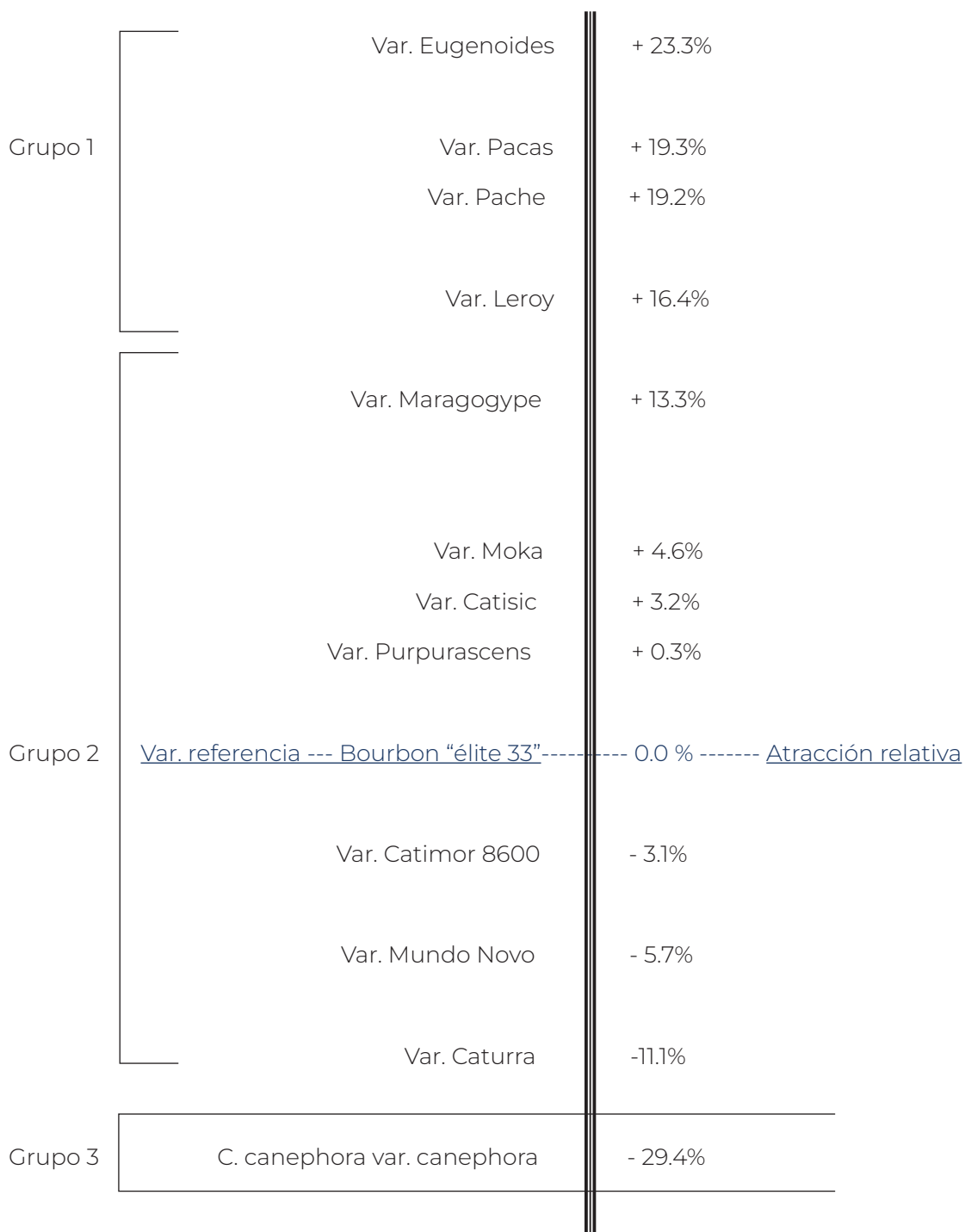
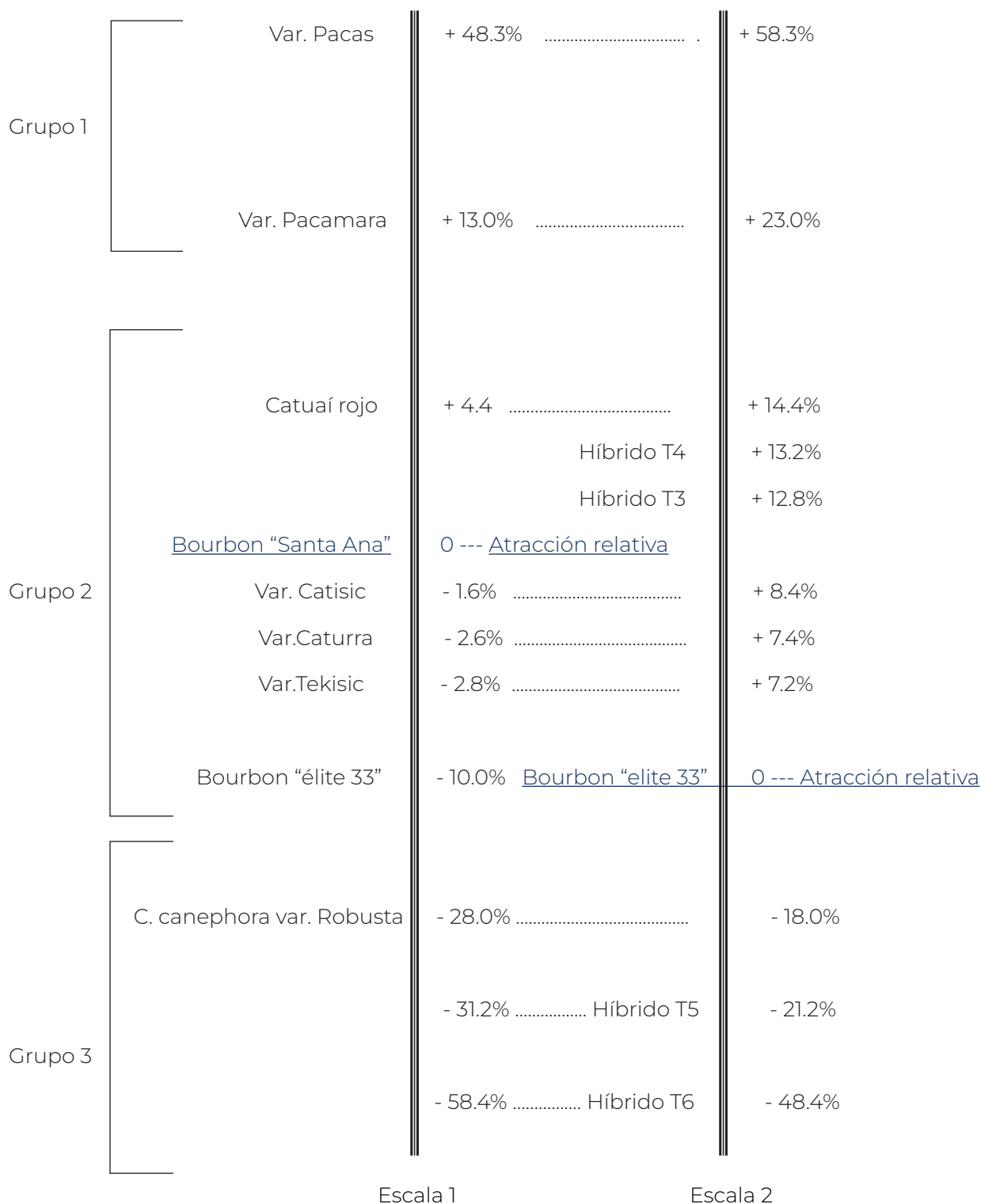


Figura 4

Escala de preferencia en porcentaje de la broca para diferentes variedades de frutos de cafeto, en olfatómetros de 2 pozos, tomando los Bourbones “Santa Ana” (Escala 1) y “elite 33” como referencias (escala 2)



Aplicación de la metodología a compuestos aromáticos líquidos

La identificación de nuevos compuestos aromáticos atractivos para la broca implica la realización de varias pruebas:

- Pruebas con varios olfatómetros de 2 pozos, colocados en serie, utilizando cuadros de papel filtro como soporte de difusión.
- Pruebas con olfatómetros de 2 pozos, colocados en serie, utilizando el sistema de difusión hecho con capilares introducidos en los líquidos a probar.

Respuesta de la broca ante diferentes concentraciones de la mezcla etanol-metanol 30:70 - difusión con papel filtro

A concentraciones extremas C0 (10 mg/10 μ L) y C4 (1 μ g/10 μ L), no hay respuesta significativa de la broca con respecto a testigos con agua (Cuadro 11). Sin embargo, la broca reacciona a las concentraciones C1 (1 mg/10 μ L), C2 (100 μ g/10 μ L) y C3 (10 μ g/10 μ L).

Cuadro 1

Respuesta de la broca a diferentes concentraciones de la mezcla etanol-metanol 30:70

WILCOXON	Mezcla etanol-metanol C0		Mezcla etanol-metanol C1		Mezcla etanol-metanol C2		Mezcla etanol-metanol C3		Mezcla etanol-metanol C4	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	21.5	14.6	28.0	14.1	28.8	10.4	19.9	14.4	17.3	15.4
Probabilidad	N.S.		P<0.01		P<0.01		P<0.05		N.S.	

Respuesta de la broca ante la difusión de aceites esenciales, limoneno y mezcla etanol-metanol 30:70 (10 μ g/10 μ L) - difusión con papel filtro

La broca no reacciona con ningún aceite probado, HE1, HE2, HE3 a la concentración C6 (10

ng/10 μ L), ni con el limoneno a la concentración C5 (100 ng/10 μ L) (Cuadro 2), en comparación con sus respectivos testigos (solvente neutro: aceite de parafina). Responde solamente a la mezcla etanol-metanol 30:70 a la concentración C3 (10 μ g/10 μ L), en comparación con un testigo con agua.

Cuadro 2

Respuesta de la broca a aceites esenciales, limoneno y mezcla etanol-metanol 30:70

WILCOXON	Canaga odorata (HE1) - C6		Ravensara aromatica (HE2) - C6		Citrus paradisi (HE3) - C6		Limoneno C5		Etanol-metanol C3	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	10.0	10.7	15.5	12.8	10.0	12.3	9.5	9.3	18.5	6.0
Probabilidad	N.S.		N.S.		N.S.		N.S.		P<0.01	

Respuesta de la broca ante la difusión de terpenos, aceites esenciales, producto de limpieza y mezcla etanol-metanol 30:70 (10 µg/10 µL) - difusión con papel filtro

Nuevamente, la broca responde solamente a la mezcla etanol-metanol 30:70 a la concentración C3 (10 µg/10 µL) en comparación con un testigo con agua (Cuadro 3).

Cuadro 3

Respuesta de la broca a terpenos, aceites esenciales, producto de limpieza y mezcla etanol-metanol 30:70

PRUEBA DE WILCOXON	Cimeno		Cariofileno		Gaulturia procumbens (HE4 - C6)		Azistín		etanol-metanol	
	C6		C6				C5		C3	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	13.1	9.8	13.1	10.5	10.0	11.7	14.5	12.7	20.0	9.0
Probabilidad	N.S.		N.S.		N.S.		N.S.		P<0.01	

Respuesta de la broca ante la difusión de otros terpenos, aceites esenciales y mezcla etano-metanol 30:70 (10 µg/10 µL) - difusión con papel filtro

Nuevamente, la broca responde solamente a la mezcla etanol-metanol 30:70 a la concentración C3 (10 µg/10 µL) en comparación con un testigo con agua (Cuadro 4).

Cuadro 4

Respuesta de la broca a la difusión de otros terpenos, aceites esenciales y mezcla etanol-metanol 30:70

PRUEBA DE WILCOXON	Humuleno		Mirceno		Pineno		Pinus silvestris		etanol-metanol	
	C6		C6		C6		(HE5) - C3		C3	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	11.2	12.8	14.6	12.8	14.1	14.5	14.7	14.6	25.6	6.3
Probabilidad	N.S.		N.S.		N.S.		N.S.		P<0.01	

Respuesta de la broca ante la difusión de terpenos y aceites esenciales asociada a la difusión de etanol-metanol, en comparación con un testigo de etanol-metanol solo - difusión con papel filtro

La broca responde de la misma forma a la difusión de terpeno o aceite esencial asociada con la mezcla etanol-metanol que con la mezcla etanol-metano sola (Cuadro 5).

Cuadro 5

Respuesta de la broca a la difusión de terpenos, aceites esenciales asociada a la difusión de etanol-metanol 30:70 en comparación con un testigo

PRUEBA DE WILCOXON	Humuleno C6 + etanol-metanol C3		Ravensara aromática C6 + etanol-metanol C3		Limoneno C6 + etanol-metanol C3		α -Pineno C6 + etanol-metanol C3		Cimeno C6 + etanol-metanol C3	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	16.4	22.2	20.8	18.5	17.5	14.7	20.1	18.0	18.9	20.4
Probabilidad	N.S.		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	

Respuesta de la broca a diferentes tasas de difusión de la mezcla etanol-metanol 30:70 en el marco del método de difusión con capilares

En los olfatómetros, la broca responde a las diferentes tasas de difusión de etanol-metanol 30:70 probadas: de 1.01 $\mu\text{g/h}$ a 0.31 $\mu\text{g/h}$. Sin embargo, las mejores respuestas suceden cuando la tasa es inferior a 0.73 $\mu\text{g/h}$ (Cuadro 6).

Cuadro 6

Respuesta de la broca a diferentes tasas de difusión de etanol-metanol 30:70 con capilares

WILCOXON	Mezcla pura 100%		Solución mezcla 80%		Solución mezcla 60%		Solución mezcla 40%		Solución mezcla 20%	
	Difusión = 1.01 $\mu\text{g/h}$		Difusión = 0.73 $\mu\text{g/h}$		Difusión = 0.42 $\mu\text{g/h}$		Difusión = 0.37 $\mu\text{g/h}$		Difusión = 0.31 $\mu\text{g/h}$	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	25.1	13.0	24.2	13.6	26.2	11.2	26.6	13.0	28.0	8.0
Probabilidad	P<0.05		P<0.05		P<0.01		P<0.01		P<0.01	

Respuesta de la broca a diferentes tasas de difusión de un solo terpeno asociado a la mezcla etanol-metanol 30:70 a 20% en el marco del método de difusión con capilares

En los olfatómetros, la tasa de difusión de la mezcla etanol-metanol 30:70 a 20% es de 0.31 $\mu\text{g/h}$, en promedio (Cuadro 35). Sin embargo,

la tasa de difusión del cimeno en solución en etanol a 90° no se conoce exactamente, pero varía en función de su propia concentración en solución con etanol a 90°. La comparación se hace con un testigo etanol-metanol 30:70 a 20%. La concentración de cimeno en etanol a 90° a la cual responde la broca es de 0.1% (Cuadro 7).

Cuadro 7

Respuesta de la broca a diferentes concentraciones de cimeno, con capilares, asociadas a la difusión de etanol-metanol

	etanol-metanol 20%		etanol-metanol 20%		etanol-metanol 20%		etanol-metanol 20%		etanol-metanol 20%	
PRUEBA DE WILCOXON	Difusión= 0.31 µg /h		Difusión= 0.31 µg /h		Difusión= 0.31 µg /h		Difusión= 0.31 µg /h		Difusión= 0.31 µg /h	
	+ Cimeno 10%		+ Cimeno 1%		+ Cimeno 0.1%		+ Cimeno 0.01%		+ Cimeno 0.001%	
	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo	Prueba	Testigo
Media	19.7	16.8	22.5	16.2	23.3	13.2	22.5	18.3	15.7	18.0
Probabilidad	N.S.		N.S.		P<0.05		N.S.		N.S.	

DISCUSIÓN

En la búsqueda de una metodología de olfatometría para estudiar la respuesta de la broca a distintas fuentes de olor, especialmente los olores emitidos por los frutos de cafeto, varios aspectos biológicos fueron observados. En primer lugar, se ha determinado que la mayoría de las hembras de *H. hampei*, una vez emergidas de los frutos donde nacieron, manifiestan actividad de colonización durante todo el foto-periodo del día o de los días siguientes, facilitando así, la realización de los ensayos. Según Giordanengo (1993), estas hembras tienen un estado fisiológico adecuado que les permiten colonizar nuevos frutos. Por otro lado, se ha confirmado que, entre las diferentes categorías de frutos; los residuales traídos del campo son excelentes reservorios de hembras colonizadoras. En este sentido se ha comprobado que la broca es capaz de discriminar entre los distintos estados fenológicos de los frutos, prefiriendo los maduros sobre los secos y verdes. Estas observaciones concuerdan con diferentes autores (Moreno et al., 2024; Vega, 2017; Giordanengo et al., 1993), en experimento de olfatometría con variedades de cafeto. Se ha determinado también que los frutos tomados como fuente de atracción, especialmente los

frutos maduros, siguen emitiendo efluvios hasta 24 horas después del corte, lo que facilita su uso en el desarrollo de las pruebas olfatométricas.

En el marco más técnico de la elaboración de un olfatómetro, se ha privilegiado el principio de “caída” en un ambiente estático, por ser a la vez sencillo y eficaz. Entre los modelos probados, el olfatómetro hecho de vidrio resultó más efectivo, con una duración óptima por ensayo de tres horas contra cuatro horas con los modelos de hechos de cartón, lo que permite la realización de un mayor número de pruebas por día, además es más práctico en su montaje y desmontaje para cada ensayo, así como su descontaminación después del uso. Por otro lado, a partir de numerosas pruebas realizadas en un mismo periodo que no sobrepasó dos meses, se ha podido definir que el sistema de dos pozos tuvo una mayor precisión que el de cuatro pozos.

Las escalas que se elaboraron con el fin de clasificar los niveles de preferencia de la broca por los frutos maduros de diferentes variedades y especies de cafetos, confirman la existencia de verdaderas diferencias entre sí, considerando el grado de similitud en las respuestas obtenidas con los olfatómetros de dos y cuatro pozos. De acuerdo con los resultados de Duarte (1992), la

variedad Pacas es más atractiva que la variedad Bourbon y mucho más que los Robusta. Cada una de estas tres variedades representa un grupo que reúne otras variedades con propiedades atractivas bastante similares. Así, el grupo de la variedad Bourbon asocia los Caturra, Catuai y Tekisic que tienen en común el mismo origen genético. En cambio, el Pacas que se originó de una mutación natural del Bourbon, se ha alejado de él, expresando nuevas características morfológicas y biológicas, lo que justifica sus diferencias de atractividad. Mathieu (1998), ha demostrado que los efluvios de arábica tenían una composición química diferente de la de Robusta especialmente para el caso de los terpenos. Hasta la fecha, ningún estudio comparativo sobre la química de los efluvios ha reunido más de dos variedades.

Las pruebas de preferencia realizadas con los cuatro híbridos llamados T3, T4, T5 y T6, son totalmente novedosas ya que se trata de material genético nuevo en proceso de evaluación. Los resultados indican que, a nivel de atracción, T3 y T4 pertenecen al grupo de la variedad Bourbon y que T5 y T6 se ubican en el grupo de los Robusta. Estos dos últimos se revelan pocos atractivos. Es una ventaja que se podría tomar en cuenta como criterio de selección de este material genético. Tal como se estudiaron la atractividad de los frutos de diferentes variedades y especies de café, se evaluaron varios productos aromáticos líquidos puros o mezclados mediante olfatómetros de caída con el sistema de dos pozos. Esta vez, ha sido necesario adaptar la metodología, probando dos sistemas de difusión: el sistema con papel filtro y el sistema con capilares.

Entre las pruebas con papel filtro como soporte de difusión, se demostró que la broca responde a las concentraciones C1, C2 y C3 de la mezcla etanol-metanol 30:70. En el caso de C0, puede ser que el ambiente interno de los olfatómetros sea saturado por la difusión de los alcoholes, afectando la capacidad de respuesta de la broca. En el caso de C4, la broca no pudo detectar la

mezcla por ser muy diluida. Por consiguiente, se utilizó una de las 3 concentraciones de etanol-metanol C1, C2, C3 como concentración de referencia en los otros ensayos con difusión con papel filtro. Sin embargo, se demostró también que la broca no responde a los diferentes terpenos, aceites esenciales y producto de limpieza cuando se utilizan solos, tampoco la broca responde a productos asociados a la mezcla etanol-metanol, por lo tanto, se pueden considerar cuatro respuestas: 1. Ninguno de los productos probados tuvo un efecto atractivo; 2. Ninguno tuvo un efecto atractivo cuando está utilizado solo; 3. Ninguno fue atractivo a la concentración aplicada; 4. La difusión de cada producto fue muy fugaz y por lo tanto, la broca no tuvo tiempo para dirigirse hacia el pozo adecuado. En el marco de ensayos de campo, la broca ha respondido a la difusión de limoneno y del α -pineno asociados a la mezcla etanol-metanol, y no a estos dos terpenos utilizados solos (Dufour, 2004). Por otro lado, se observó que una difusión excesiva de estos productos generaba un efecto de repelencia. Por lo tanto, se supone que la rapidez de la difusión con el método del papel filtro, pudo ser la principal causa de la no elección de los pozos de prueba por la mayoría de las brocas. Por lo anterior se asume que las sustancias no fueron evaluadas adecuadamente y tendrán que ser probadas nuevamente en el marco de otros estudios, utilizando un sistema de difusión diferente.

Entre las pruebas con capilares como medio de difusión, se demostró que la broca responde a todas las tasas de difusión evaluadas de la mezcla etanol-metanol 30:70 (1.01 $\mu\text{g/h}$, 0.73 $\mu\text{g/h}$, 0.42 $\mu\text{g/h}$, 0.371 $\mu\text{g/h}$ y 0.31 $\mu\text{g/h}$). Por consiguiente, para evitar riesgos de saturación del ambiente interno de los olfatómetros, se prefiere la tasa más baja: 0.31 $\mu\text{g/h}$. También se evaluó una sola sustancia asociada a la mezcla etanol-metanol a 20%: el cimeno a la cual la broca había respondido de manera positiva, en algunos ensayos de campo (Dufour, 2004). A la concentración 0.1%, el cimeno muestra una pequeña atracción por la broca. Esta ventaja

de los capilares se debe, sin duda, a la difusión continua de los productos volátiles en los olfatómetros, lo que da mucho más tiempo a la broca para elegir el pozo con la sustancia más atractiva. Por otro lado, demuestra que el sistema con capilares puede asegurar una difusión permanente tal como lo hacen los frutos de cafeto.

El 0,1% de concentración podría ser la concentración estándar de los productos aromáticos que se aplicará en los futuros ensayos de olfatometría, especialmente, los ensayos dedicados a la búsqueda de respuestas de la broca a diferentes volátiles seleccionados.

Los resultados confirman que la broca una vez emergida de los frutos de cafeto, es activa todo el día (mañana y tarde). También los resultados sugieren que los frutos de cafeto siguen atractivos para la broca, por lo menos durante 24 horas después del corte; los frutos maduros fueron más atractivos que los frutos secos y verdes. En cuanto a los modelos de olfatómetros, los construidos con vidrio fueron más efectivos respecto a los elaborados con cartón. Además, el método de olfatometría con 2 pozos de caída fue un poco más preciso que el de 4 pozos; la precisión del método fue suficiente para poder clasificar las variedades de cafetos en función del grado de atracción de sus frutos, de los muy atractivos como la variedad Pacas, hasta los menos atractivos como las variedades Canephora y Robusta; El método permitió clasificar cuatro nuevos híbridos como moderadamente atractivos (T3 y T4) y pocos atractivos (T5 y T6); para aplicar el método de olfatometría a productos aromáticos líquidos.

Respecto al soporte de difusión, se evaluó uno hecho de papel filtro sin mucho éxito, ya que la difusión de los productos aromáticos en dicho material es muy fugaz, reduciendo el tiempo al insecto para orientarse al volátil de su elección; el método de olfatometría utilizando capilares como soporte de difusión, demostró un funcionamiento más eficiente,

ya que la difusión de los productos aromáticos fue constante tal como sucede en los frutos de cafeto. Tomando el cimeno como posible fuente atrayente para la broca, se ha determinado que la broca tuvo una mayor respuesta a una concentración de 0.1%. Se sugiere explorar diferentes fuentes aromáticas (naturales o artificiales), manejando distintos parámetros tales como, la concentración, la tasa de difusión de los atrayentes y la asociación de sustancias; caracterizar químicamente las sustancias volátiles emitidas por los frutos de las especies y variedades de cafeto que son muy o poco atractivas para la broca, con el propósito de identificar los compuestos atractivos.

REFERENCIAS

- Amador, R. (2003). Validación del trapeo de la broca del café con la trampa Brocap. *Academia.edu*. https://agritrop.cirad.fr/543636/1/document_543636.pdf
- ANACAFE. (2017). Elaboración de trampas para la captura de broca del fruto del cafeto. *Boletín Técnico*. Recuperado de ANACAFE. <https://www.anacafe.org/uploads/file/822ebefad0e0410ebdaee42eddf2e45c/06-elaboracion-trampas-broca.pdf>
- Duarte, M. T., Decazy, B., Villain, L., & Carrillo, E. A. (1990). Determinación de la atraktividad 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. En *Memoria técnica de investigaciones en café 1989-1990* (pp. 47-58). ANACAFE-DICAFE. ANACAFE. <https://agritrop.cirad.fr/467465/>
- Dufour, B. P. (2004). Nouvelle alternative pour la lutte intégrée contre le scolyte des baies du caféier: le piégeage. Deuxième phase: Élaboration du piège à scolytes BROCAP®, validation et perfectionnements (Documento interno). CIRAD. <https://agritrop.cirad.fr/523565/>

- Cenicafé. (2023). Captura de adultos de broca del café en trampas con atrayentes. *Boletín Informativo sobre la Broca del Café*. Recuperado de Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc036.pdf>
- Giordanengo, P., Brun, L., & Frérot, B. (1993). Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by the coffee berries. *Journal of Chemical Ecology*, 19(4), 763–769. https://www.researchgate.net/publication/258702383_Evidence_for_allelochemical_attraction_of_the_coffee_berry_borer_Hypothenemus_hampeiby_coffee_berries
- Hernández Lovos, P. (2019). *El café y su situación económica en El Salvador*. El Target. Recuperado de El Target. <https://eltarget.com/2019/05/19/cafe-situacion-economica-salvador/>
- Mathieu, F., Malosse, C., & Frérot, B. (1998). Identification of the volatile components released by fresh coffee berries at different stages of ripeness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(3), 1106–1110. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf970851z>
- Mendoza-Cervantes, G., Guzmán-López, O., & Salinas-Castro, A. (2021). Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México. *Revista Chilena de Entomología*, 47(2). Recuperado de SciELO. <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0718-89942021000200265>
- Moreno-Ramírez, N., Bianchi, F. J. J. A., Manzano, M. R., & Dicke, M. (2024). Ecology and management of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*): The potential of biological control. *BioControl*, 69(2), 199–214. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10253-6>
- Pavis, C., & Minost, C. (1993). Banana resistance to the banana weevil borer *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae): Role of the pseudostem attractivity and physical properties of the rhizome. En *Breeding banana et plantain for resistance to disease and pest*. Proceedings of the International Symposium on Genetic Improvement of Banana for Resistance to Diseases and Pest (pp. 129–142). CIRAD/INIBAP. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/64775aa6bc82cd72160c257a>
- Torres Mejía, F., Torres Mejía, J. A., & Núñez Cruz, R. J. (2025). Análisis del manejo de la broca (*Hypothenemus hampei*) en el cultivo de café y sus efectos en la calidad de taza en Honduras. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1). Recuperado de Ciencia Latina. https://www.researchgate.net/publication/389174768_Analisis_del_manejo_de_la_BrocaHypothenemus_hampeien_el_cultivo_de_cafe_y_sus_efectos_en_la_calidad_de_taza_en_Honduras_Analysis_of_the_management_of_the_borerHypothenemus_hampeiin_coffee_cultivat
- Vega, F. E., & Hofstetter, R. W. (Eds.). (2017). *Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species*. Academic Press. https://www.researchgate.net/publication/268515734_Bark_Beetles_Biology_and_Ecology_of_Native_and_Invasive_Species