

CAPÍTULO 7. METODOLOGÍAS DE PUNTA PARA EL DESARROLLO DE LA APICULTURA EN COLOMBIA

7.1 Caracterización de aromas de las flores atrayentes de las abejas *Apis mellifera*

La caracterización del perfil aromático de las flores se convierte en una estrategia con miras al desarrollo de sustancias atrayentes de los insectos polinizadores y así aumentar su número en aquellas épocas en donde la floración es abundante.

En la industria agroalimentaria se está utilizando la técnica de nariz electrónica la cual permite analizar, reconocer e identificar niveles muy bajos de sustancias químicas volátiles, utilizando un arreglo de sensores electroquímicos los cuales crean una huella única digital de la muestra, haciendo posible el control de calidad,

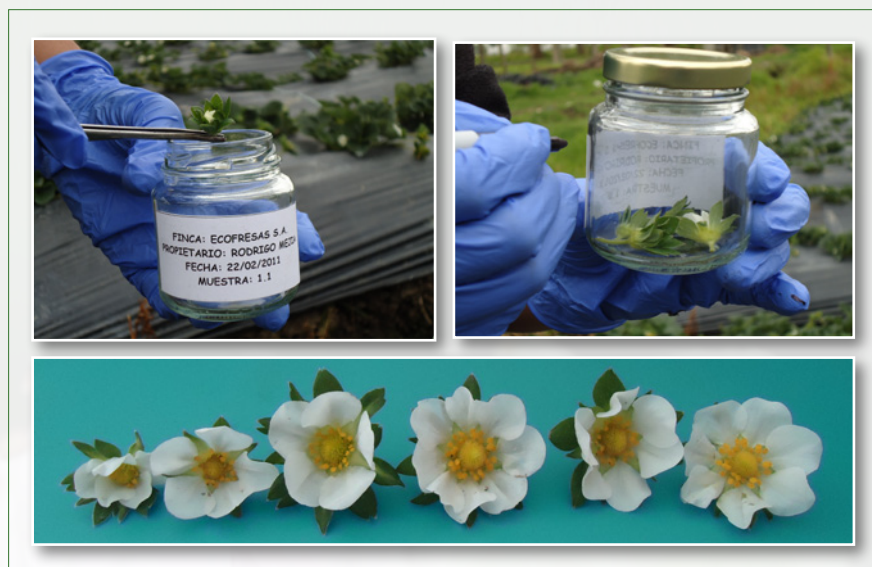


Foto 22. (Arriba) Proceso de colecta de flores de fresa en un cultivo en la sabana de Bogotá, D.C. (Abajo) Estadios de la flor de fresa tomados para determinar su perfil aromático.



el desarrollo de productos, la caracterización, la clasificación y diferenciación, por estado fenológico, estado de madurez, evaluación del tiempo de vida útil de un alimento y como herramienta de control para identificar problemas que amenazan la comercialización, tales como la falsificación y la adulteración.

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, mediante esta técnica se identificaron a partir del perfil aromático, los grupos químicos que más se expresan en muestras de flores, las cuales se encontraban en estado 2 (flor dispuesta para polinización, en donde los estaminodios, de color amarillo, comienzan a segregar néctar), para cada uno de los cultivos involucrados en el estudio; los compuestos más representativos fueron los hidrocarburos de cadena corta y los alcoholes (Tabla 47).

Tabla 47. Grupos químicos identificados en muestras de flores para cada uno de los cultivos en estudio

Grupo	Fresa	Mora	Mango	Naranja	Aguacate
Hidrocarburos de cadena corta	X	X	X	X	X
Alcoholes	X	X	X	X	X
Compuestos azufrados y clorados	X	X	X		X
Compuestos aromáticos	X	X			
Compuestos aromáticos y alifáticos	X	X			
Compuestos azufrados	X	X			
Principalmente hidrógeno			X		

A partir de esta información se realizó la identificación de los compuestos volátiles y su cantidad relativa en las muestras de flores de los cultivos en estudio, los cuales se encontraban en estado 2, este análisis se desarrolló en el Laboratorio de Cromatografía de la Universidad Industrial de Santander, UIS, mediante cromatografía y espectrofotometría de masas. Compuestos químicos propios para la floración de cada cultivo en estudio se presentan en la Tabla 48.

Tabla 48. Compuestos químicos identificados comunes a las muestras de flores en los cultivos en estudio

Aguacate	1,8-Cineol, 3-Metilbutanal, Acetato de etilo, Dodecano, Fenilacetoniitrilo, Germacreno D, Heneicosano, Heptadecano, Hexanal, Hexanol, Linolenato de etilo, Nonadecano, Nonanoato de etilo, Óxido de trans-linalool, α -Humuleno, α -Terpineol y β -Pino.
Fresa	Acetato de 3-Hexenilo, Alcohol bencílico, Compuesto oxigenado, Dodecanoato de etilo, Isoeugenol y Mirtenol.
Mango	2,6-di-tertbutil-r-cresol, 2,6-Nonadienal, 2-Nonenal, a-Copaeno, a-Gurjuneno, a-Humuleno, a-Selineno, a-Terpineno, a-Terpineol, b-Felandreno, Canfeno, d-3-Careno, d-Cadineno, Etanol 1,5, g-Gurjuneno, g-Terpineno, Ledol, Octanoato de etilo, Oleato de etilo + Linolenato de etilo, Palustrol, r-Cimen-8-ol, r-Cimeno, β -Mirceno, β -Pino, Terpinoleno, trans-Nerolidol, Veratrol y Viridifloreno.
Mora	2-Heptanol y 2-Heptanona

Los compuestos comunes a los cultivos en estudio fueron: el benzaldehído, el hexadecanoato de etilo y el linalool.

7.2 Identificación del origen botánico de la miel y el polen colectados por las abejas *Apis mellifera*

La identificación del origen botánico de la miel y el polen colectados por las abejas *Apis mellifera*, lo que se denomina palinología, permite determinar la flora que es visitada con mayor frecuencia por este insecto y su distancia de vuelo.

La palinología se basa en el análisis de la morfología de la pared externa (exina) de los granos de polen que presenta patrones estructurales diferentes a nivel de su simetría, aperturas en las paredes, contorno, forma, tamaño, entre otros; así se distinguen los taxones a distintos niveles (familia, géneros y especies) los cuales se clasifican según su color y se agrupan por accesiones en álbumes palinológicos.

Para la identificación de los palinomorfos se toma inicialmente polen de las anteras de la flor, el cual es montado en láminas para su identificación con ayuda de un microscopio; posteriormente es tomado polen del interior de las colmenas para su identificación. Dicha identificación, acompañada con los calendarios florales, permite determinar la finalidad (miel y/o polen) y épocas de producción de las zonas en las que se desarrollan las abejas, además de identificar posibles especies vegetales que compitan con los cultivos a polinizar por un mayor ofrecimiento de néctar y/o polen de mejor calidad.



Foto 23. Granos de polen secos previos al proceso de identificación palinomórfica. Se destacan los palinomórfos de los cultivos en evaluación, así: A – Aguacate (*Persea americana*), B – Fresa (*Fragaria* sp), C – Mango (*Mangifera indica*), D – Mora (*Rubus glaucus*) y E – Naranja (*Citrus sinensis*).



7.3 Desarrollo de un prototipo de sistema portátil de monitoreo de la actividad polinizadora de la abeja *Apis mellifera*

Se desarrolló un prototipo para determinar la frecuencia de entrada de la abeja *Apis mellifera* en las colmenas instaladas en los cultivos en estudio y cómo se ve afectada esta actividad por factores medioambientales tales como humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad del viento, temperatura y presión atmosférica, entre otros, este equipo llamado APIDÓMETRO, consta de un lector infrarrojo para cuantificar el número de abejas que entran a la colmena y dos sensores que se ubican en el interior de la colonia, los cuales miden la humedad relativa y la temperatura del nido. El APIDÓMETRO fue adaptado a una trampa de polen con el fin de determinar el flujo y el tipo de polen que es recolectado por las abejas (Figura 11).



Figura 11. Sistema de monitoreo de la actividad polinizadora

Los resultados obtenidos por el equipo indican una correlación positiva sobre el número de abejas que se encuentran en proceso de pecoreo y las variables temperatura interna, entrada de polen, temperatura externa, humedad relativa externa y velocidad del viento; por otra parte, las variables humedad relativa interna y el factor lluvia influyen negativamente la entrada de abejas y por lo tanto afectan el proceso de pecoreo (Figura 12).

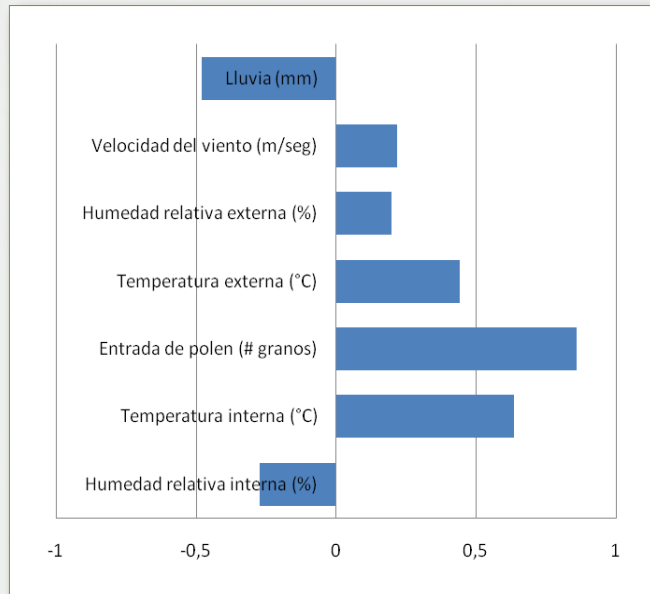


Figura 12. Correlaciones de las variables evaluadas respecto al número de abejas en proceso de pecoreo

Por lo anterior, la ecuación de predicción para el flujo de abejas que se encuentra colectando néctar y/o polen en el proceso de polinización es la siguiente (R^2 0,8482):

$$\begin{aligned} \text{Entrada de abejas} &= 1,88,5 - 15,3 \times \text{HRi} + 39,1 \times \text{Ti} + 0,6 \times \text{Ep} - 31,2 \\ (\# \text{ de individuos}) &= \times \text{Te} - 10,0 \times \text{HRe} - 4,1 \times \text{Vv} - 39,9 \times \text{P}. \end{aligned}$$

En donde:

HRi: Humedad relativa interna (%)	HRe: Humedad relativa externa (%)
Ti: Temperatura interna (°C)	Vv: Velocidad del viento (m/seg)
Ep: Entrada de polen (#de granos)	P: Precipitación (mm)
Te: Temperatura externa (°C)	

7.4 Comportamiento de la biomasa durante el desarrollo de núcleos

Para la evaluación de los factores que afectan el desarrollo de los núcleos, fueron mapeados diez núcleos, cinco veces durante 286 días, con el fin de determinar el área que era destinada a miel, polen y cría. Con esta información se desarrolló un modelo de predicción para el área de cría abierta con respecto al comportamiento de las variables miel abierta, miel operculada, polen y área vacía, ya que la cantidad de cría abierta es un indicador del desarrollo de la colmena (Tabla 49).



Tabla 49. Promedios obtenidos de la evolución de núcleos (en cm²)

Edad (días)	MA	MO	PO	CA	CO	VA	SC
60	1.597,5 ^b	430,2 ^{bc}	621,0 ^{bc}	1.809,9 ^b	1.213,2 ^b	1.803,6 ^b	7.644,6 ^a
98	1.236,6 ^b	40,5 ^c	907,2 ^{ab}	2.210,4 ^a	2.565,0 ^a	5.287,5 ^a	3.553,2 ^b
134	4.092,3 ^a	406,8 ^{bc}	467,1 ^c	649,8 ^d	1.465,2 ^b	4.459,5 ^a	3.088,8 ^{bc}
232	1.897,2 ^b	868,5 ^b	1.182,6 ^a	1.121,4 ^c	2.173,5 ^a	4.360,5 ^a	2.619,9 ^{bc}
286	1.678,0 ^b	1.933,0 ^a	1.171,0 ^a	914,0 ^{cd}	2.145,0 ^a	3.901,0 ^a	2.016,0 ^c

MA: Miel sin opercular; MO: Miel operculada; PO: Polen; CA: Cría abierta; CO: Cría operculada; VA: Vacío; SC: Sin construir. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) para cada variable respecto al tiempo.

Los coeficientes de correlación parciales obtenidos indican que la variable independiente POLEN tiene una dependencia positiva del 45,51% con respecto a la variable dependiente CRÍA ABIERTA, mientras que para la variable independiente MIEL ABIERTA tiene una dependencia negativa del -56,72% y MIEL OPERCULADA una dependencia positiva del 3,70% y una tendencia positiva para la EDAD con un 20,39%. Esto concuerda con lo reportado por Infante (1999) quien indicó que el efecto que tiene la cría en el interior de la colmena, es un aumento de la necesidad de las abejas pecoreadoras en traer más polen, mientras que otros productos como la miel no son factores determinantes en el proceso de mantenimiento de la cría.

El modelo obtenido fue el siguiente:

$$\text{CRÍA ABIERTA} = 1.654,5393 + 0,5874 \times \text{EDAD} - 0,1135 \times \text{MIEL ABIERTA} - 0,0948 \times \text{MIEL OPERCULADA} + 0,7905 \times \text{POLEN}$$

7.5 Consideraciones y recomendaciones finales

- La utilización de *Apis mellifera* en los diferentes cultivos en estudio mejoró el número de cuajes, por lo que se aumentó la producción; no obstante es necesario desarrollar estudios de caso en donde se aísle totalmente la planta y se controlen las variables fisiológicas del cultivo y climáticas, con el fin de establecer el efecto de la polinización dirigida con abejas *Apis mellifera*.
- Se debe investigar el efecto que tiene el número de colmenas instaladas por hectárea, ya que al aumentar el número de cuajes por encima de la carga máxima de una especie vegetal, esta generará frutos de menor peso y tamaño, los cuales no tienen una buena aceptación por parte del consumidor.

- El trabajo desarrollado involucró nuevas metodologías que permitieron determinar el efecto positivo que tienen la abeja *Apis mellifera* sobre la producción de los cultivos en estudio; dichas metodologías deben tenerse en cuenta para el desarrollo de futuros proyectos de investigación con el fin de posicionar la cadena apícola en Colombia.
- Un aspecto de importancia teniendo en cuenta los problemas generados por la abeja *Apis mellifera* en las zonas urbanas, es la creación de sustancias atrayentes de enjambres, con el apoyo del Instituto de Tecnología de Alimentos, ICTA, de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Industrial de Santander, UIS.
- El apidómetro permitirá establecer el potencial que tienen algunas zonas en Colombia para la producción de polen; esta herramienta se deberá apoyar mediante programas de mejoramiento genético con el fin de seleccionar aquellas reinas altamente productivas por región.



Foto 24. Evaluación de la biomasa de colmenas de abejas *Apis mellifera* mediante la técnica de mapeo: (Arriba) Aspersión del cuadro previo al mapeo. (Abajo) Proceso de mapeo (nótese la cuadrícula).

