



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Niveles de infestación de *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae)
en abejas africanizadas (*Apis mellifera scutellata* hib)**

Laura Andrea Graciano Villa

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Medellín, Colombia

2018

Niveles de infestación de *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) en abejas africanizadas (*Apis mellifera scutellata* hib)

Laura Andrea Graciano Villa

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias: Entomología

Director:

M.Sc, Jhon Jairo Idárraga Arredondo

Patología Apícola

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Escuela de Biociencias
Medellín, Colombia

2018

*Dedicado a mi familia, amigos y a todos
aquellos, quienes con su mayor disposición,
me acompañaron y orientaron en este
sendero de la vida.*

Agradecimientos

Especialmente agradezco al profesor Jhon Jairo Idárraga Arredondo, quien me abrió las puertas del Centro Apícola y del cual recibí las mejores lecciones sobre las abejas, que fueron la inspiración de este sueño. Además, por escucharme y guiarme en este aprendizaje.

También, quiero expresar mis agradecimientos a Soraya Uribe y Hernán Idárraga, dos personas que me brindaron de la manera más sencilla y honesta sus conocimientos y comprensiva amistad; además quienes durante este proyecto me convirtieron en la “niña del Apiario”, rol que disfruté cada día.

De igual forma, agradezco al profesor Guillermo Correa, por su valiosa y precisa asesoría en el componente estadístico de este trabajo.

Agradezco a mi familia y amigos que me apoyaron y acompañaron durante este sueño.

Contenido

	Pág.
1 Objetivos.....	3
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos	3
2 Materiales y métodos.....	5
2.1 Área de estudio	5
2.2 Muestreos	5
2.2.1 Muestreo de <i>Varroa destructor</i>	5
2.3 Procesamiento de muestras.....	6
2.3.1 Procesamiento de muestras para determinar la infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos.....	6
2.3.2 Procesamiento de muestras para determinar la infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría	7
2.3.3 Procesamiento de muestras de las condiciones internas de la colonia de <i>Apis mellifera scutellata</i> hib.....	8
2.3.4 Obtención de bases de datos para las condiciones externas de la colonia	12
2.3.5 Análisis estadístico	12
3 Revisión bibliográfica.....	15
3.1 Proceso de africanización	15
3.2 Análisis empleados para diferenciar el híbrido de las abejas africanizadas	18
3.3 <i>Varroa destructor</i>	20
3.3.1 Generalidades y dispersión	20
3.3.2 Biología de <i>Varroa destructor</i>	22
3.3.3 Infestación sanitaria de <i>Varroa destructor</i>	27
3.3.4 Mecanismos de defensa natural desarrollados por las abejas ante las infestaciones de <i>Varroa destructor</i>	29
3.3.5 Factores ambientales, recursos de la colonia y la infestación de <i>Varroa destructor</i>	30
4 Resultados y Discusión.....	35
4.1 Infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos	35
4.2 Infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría.....	37
4.3 Reproducción efectiva de <i>Varroa destructor</i>	38
4.4 Análisis de características morfológicas de <i>Apis mellifera scutellata</i> híbrido.....	41
4.5 Recursos (polen y miel) de las colonias de <i>Apis mellifera scutellata</i> hib. y su relación con la infestación por <i>Varroa destructor</i>	44

4.6	Infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos, en cría y la reproducción efectiva y su relación con las condiciones externas de las colonias (precipitación y temperatura)	49
4.7	Mecanismos de defensa natural desarrollados por <i>Apis mellifera scutellata</i> hib. contra <i>Varroa destructor</i>	52
5	Conclusiones y recomendaciones	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
6	BIBLIOGRAFÍA.....	59
	ANEXOS	67

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Toma de muestras para determinar la infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos y cría.	6
Figura 2-2: Procesamiento de la muestra para medir la Infestación de <i>Varroa destructor</i> en abejas adultas (%IVA).	7
Figura 2-3: Procesamiento de muestras para medir la Infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría y la reproducción efectiva.	8
Figura 2-4: Muestra para análisis de características morfológicas (A) placa montada para realizar las medidas; (B) pata posterior de una abeja obrera; (C) alas anterior y posterior de una abeja obrera.	9
Figura 2-5: Instalación trampas de piso, para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de <i>Varroa destructor</i>	11
Figura 2-6: Celdas desorperculadas para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de <i>Varroa destructor</i>	12
Figura 3-1: Estados adultos de <i>Varroa destructor</i> . (A) Hembra diámetro 1,3-1,6 mm; (B) Macho diámetro 0,7 mm.	23
Figura 3-2: Ciclo de vida de <i>Varroa destructor</i> , fase forética y fase reproductiva.	24
Figura 3-3: Ciclo reproductivo de <i>Varroa destructor</i> dentro de la celda de cría operculada de las abejas.	25
Figura 3-4: Estados inmaduros de hembras de <i>Varroa destructor</i>	26
Figura 4-1: Porcentaje (%) de infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos de <i>Apis mellifera scutellata</i> híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica).	35
Figura 4-2: Porcentaje (%) de Infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría de <i>Apis mellifera scutellata</i> híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica).	37

Figura 4-3: Porcentaje de Reproducción efectiva (%) de <i>Varroa destructor</i> en colonias del Centro Apícola procedentes del Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica.	38
Figura 4-4: Análisis de componentes principales: el Factor discriminante (FD), cantidad de crías de <i>Varroa destructor</i> por celda (Criasc), Reproducción efectiva (RE), cantidad de adultos de <i>Varroa destructor</i> por celda (Adultosc), infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría (Ivcria) e infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos (Ivadultos).....	40
Figura 4-5: Factor discriminante obtenido por morfometría de <i>Apis mellifera scutellata</i> híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste y Costa Atlántica).	42
Figura 4-6: Análisis de componentes principales: Temperatura, Infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría (%IVC), Reproducción efectiva (RE), Infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos (%IVA), N° de marcos con polen, precipitación (PP), N° de marcos con miel, N° de marcos con cría de abejas y N° de marcos con abejas adultas.....	45
Figura 4-7: Población de las colonias monitoreadas (cría, adultos), recursos (polen, néctar) y las condiciones externas (precipitación y temperatura) en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.....	47
Figura 4-8: . Infestación de <i>Varroa destructor</i> y las condiciones externas (precipitación y temperatura) de las colonias de <i>Apis mellifera scutellata</i> hib.	49
Figura 4-9: a. Infestación de <i>Varroa destructor</i> en adultos en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación. b. Infestación de <i>Varroa destructor</i> en cría en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación. c. Reproducción efectiva de <i>Varroa destructor</i> en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación.....	51
Figura 4-10: . Lesiones causadas por las abejas en <i>Varroa destructor</i> (a, b) <i>Varroa destructor</i> adultas mordidas. (c, d) <i>Varroa destructor</i> adultas con patas amputadas. (e) <i>Varroa destructor</i> adulta disecada. (f) ninfa mordida.	54
Figura 4-11: Celdas desorperculadas para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de <i>Varroa destructor</i>	55

Lista de tablas

Pág.

<i>Tabla 4-1: Resultados de análisis morfométrico (Factor discriminante) en colmenas del Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en el año 1991 y en entre 2016-2017.....</i>	41
Tabla 4-2: Registro de población y recursos de las colonias monitoreadas en el Centro Apícola de la Universidad Nacional, sede Medellín.	46

Introducción

Las abejas son consideradas uno de los insectos fundamentales para garantizar la vida en el planeta (Michener, 2000). Su impacto en la polinización da como resultado la renovación y conservación de diversos ecosistemas, en especial para muchas plantas de interés agrícola, esenciales para la vida del ser humano (Ellis & Delaplane, 2008; Calderone, 2012).

Múltiples factores bióticos y abióticos e incluso de influencia antrópica comprometen la sobrevivencia de las abejas en el planeta, entre estos uno de gran relevancia es el ectoparásito *Varroa destructor* Anderson & Trueman. El cual hace presencia en Europa, África, Asia y América y representa una de las mayores dificultades sanitarias en las colonias de *Apis* spp, debido a que causa disminución en la longevidad de las abejas obreras, es vector de virus y afecta el desarrollo de larvas y pupas. Además sus altas poblaciones impactan la producción de miel de las colonias, lo cual perjudica tanto a la especie como al sistema productivo apícola (Moretto et al., 2001; Anderson y Trueman, 2000; Ratnieks & Carreck, 2010; Shen, Yang, Cox-Foster, & Cui, 2005).

En el Centro apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se inició un programa de mejoramiento genético desde 1982, el objetivo general del proyecto era la obtención de híbridos mejorados de abejas africanizadas. Las características seleccionadas a mejorar fueron: comportamiento (mansedumbre), baja enjambrazón, manejo adecuado de plagas y enfermedades, y por producción (manejo de recursos). Se comenzó con reinas provenientes de zonas africanizadas del país, tales como: la Costa Atlántica, el Suroeste de Antioquia, los Llanos Orientales y el departamento de Córdoba. De las cuales se seleccionaron colonias de tres procedencias del país (Suroeste de Antioquia, Costa Atlántica y Valle de Aburrá). En este programa de mejoramiento no se ha

evaluado el comportamiento de las abejas frente a la infestación por *Varroa destructor*, cuya infestación puede estar ligada con la calidad de los progenitores de la colonia. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la relación que puedan tener las condiciones internas de las colonias (polen, miel, adultos, cría, características morfológicas y mecanismos de defensa) y las condiciones externas (precipitación y temperatura) sobre la infestación de *Varroa destructor* en las colonias de *Apis mellifera scutellata* híbrida en el Centro apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Determinar los niveles de infestación de *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) en las colonias de abejas africanizadas, y su relación con las condiciones internas y externas de la colonia, en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

1.2 Objetivos específicos

- Relacionar los niveles de infestación de *Varroa destructor* en cría, en adultos y la reproducción efectiva del ácaro con las condiciones internas de las colonias de abejas africanizadas (cría, polen, miel, población de abejas adultas, características morfológicas y mecanismos de defensa natural).
- Relacionar los niveles de infestación de *Varroa destructor* en cría, en adultos y la reproducción efectiva del ácaro con las condiciones externas de las colonias de abejas africanizadas (precipitación y temperatura).

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, ubicado en el Cerro el Volador a una altura 1600 m.s.n.m, con una temperatura promedio anual de 22°C y una precipitación de 1431 mm con una distribución bimodal a lo largo del año, pertenece a la zona de vida de bosque húmedo premontano (bh-p) (Holdridge, 1978).

En el Centro Apícola, se cuenta con colonias de *Apis mellifera scutellata* híbrida procedentes de tres zonas apícolas de Colombia marcadamente africanizadas Costa Atlántica, Valle de Aburrá y Suroeste Antioqueño (Salamanca, 2009), las cuales se trasladaron de estas regiones al Laboratorio de Investigaciones Melitológicas y Apícolas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, ahora Centro Apícola, para el establecimiento del programa de mejoramiento genético de colonias de abejas africanizadas en 1982.

2.2 Muestreos

2.2.1 Muestreo de *Varroa destructor*

Se realizó un muestreo cada 30 días, desde el mes de agosto del año 2016 hasta el mes de mayo del año 2017, para un total de 9 muestreos. Se monitorearon en total ocho colonias, que debían contar mínimo con 6 marcos con cría, 9 marcos con adultos y 2-3 marcos con recursos (polen, miel). De la procedencia de la Costa Atlántica se monitorearon 3 colonias (41, 45 y 48), del Suroeste de Antioquia 3 colonias (7A, 31 y 37) y del Valle de Aburrá 2 colonias (22 y 23), en éstas se contó con 2 colonias.

En cada muestreo, con ayuda de un recipiente de vidrio con alcohol al 40%, se tomó una muestra de 100 abejas obreras de la cámara de cría de cada colonia evaluada. Luego se

almacenó en el laboratorio a temperatura ambiente. Con esta muestra se medía: (1) Infestación de *Varroa destructor* en adultos y (2) las características morfológicas de las abejas. Adicionalmente se realizó un corte de una porción de panal con aproximadamente 50 celdas de pupas operculadas de la cámara de cría de la colmena, se cubrió con papel vinilpel, se marcó y se llevó al laboratorio. Se almacenó a una temperatura de 10 °C hasta su procesamiento. Con la información que se obtuvo de estas muestras se determinó (3) la infestación de *Varroa destructor* en cría y (4) la reproducción efectiva del ácaro (Figura 2-1).

Figura 2-1: Toma de muestras para determinar la infestación de *Varroa destructor* en adultos y cría.



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Procesamiento de muestras

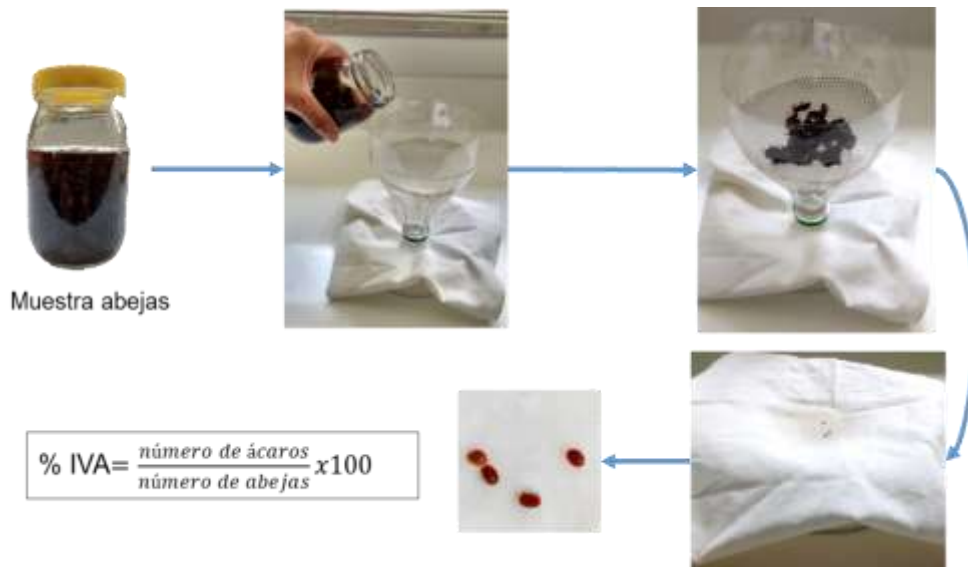
2.3.1 Procesamiento de muestras para determinar la infestación de *Varroa destructor* en adultos

El recipiente de vidrio que contenía las abejas de cada muestra se agitó vigorosamente durante un minuto, luego se filtró en un tamiz con perforaciones de 2 - 4 mm, sobre una tela (pañó) de color blanco, donde quedaban los ácaros. Además, para verificar que no

permanecieran ácaros adheridos a las abejas, se revisó cada individuo con ayuda de una pinza, siguiendo el método descrito por De Jong y Mantilla (1986). Después se realizó el conteo de abejas y de ácaros por colonia obtenidos en la muestra.

Para obtener la Infestación de *Varroa destructor* en adultos (%IVA) se dividió el número de ácaros encontrados por el número de abejas muestreadas de cada colonia (Figura 2-2).

Figura 2-2: Procesamiento de la muestra para medir la Infestación de *Varroa destructor* en abejas adultas (%IVA).

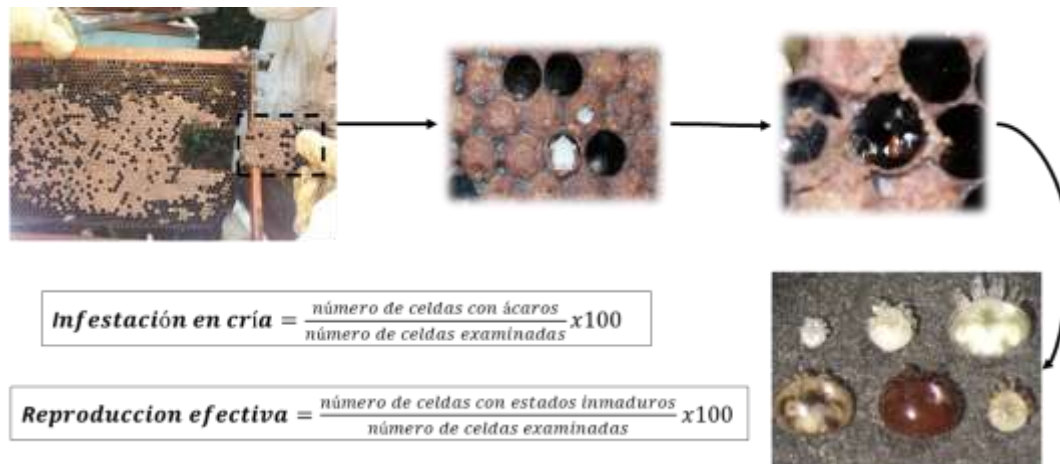


Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Procesamiento de muestras para determinar la infestación de *Varroa destructor* en cría

En el laboratorio en cada porción de panal extraída de la cámara de cría de las colmenas, se abrieron 50 celdas con cría operculada. Con ayuda de una pinza se extrajo la cría y se examinó cada celda utilizando un estereoscopio para verificar la presencia o ausencia del ácaro, tanto en la cría como en las celdas. En las celdas con presencia de *Varroa destructor*, se contaron las ninfas y los adultos del ácaro. Finalmente, se determinó la infestación en cría, estableciendo una relación entre el número de celdas con ácaros y el número de celdas examinadas. De igual forma entre el número de celdas con estados inmaduros del ácaro y el número de celdas examinadas, para obtener la reproducción efectiva de *Varroa destructor* (Figura 2-3).

Figura 2-3: Procesamiento de muestras para medir la Infestación de *Varroa destructor* en cría y la reproducción efectiva.



Fuente: Elaboración propia.

Es preciso aclarar, que el muestreo de *Varroa destructor* en la cría se inició un mes después de tomada la primera muestra para adultos, debido a que se pretendía evidenciar cómo la cría del ácaro, es el reflejo de la reproducción de sus adultos.

2.3.3 Procesamiento de muestras de las condiciones internas de la colonia de *Apis mellifera scutellata* hib.

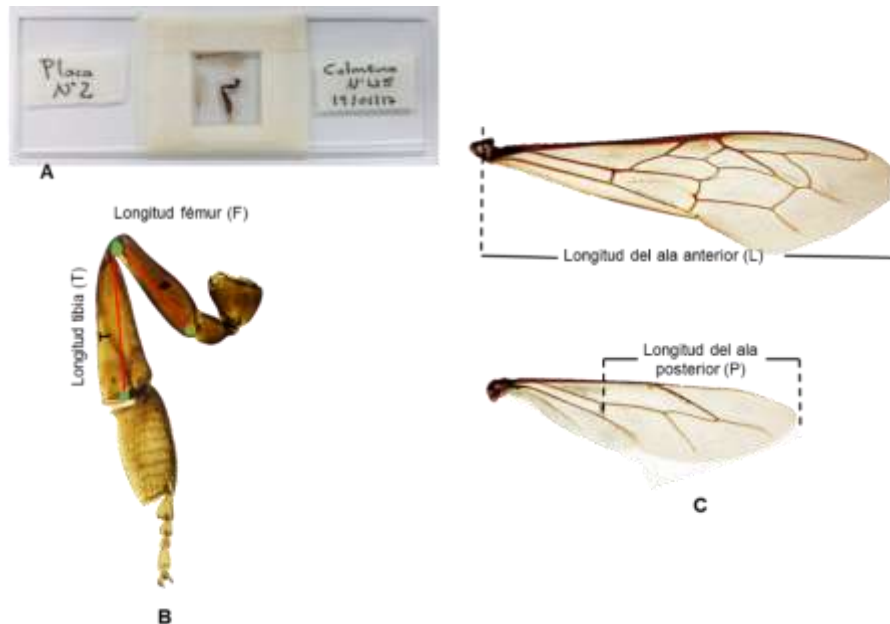
2.3.3.1 Determinación de los recursos (polen y néctar) y las poblaciones (cría y adultos) de las colonias

Las colmenas del Centro Apícola son tipo langstronth y se revisan cada 21 días, a cada colmena se le hace seguimiento en un registro donde se puede determinar la condición de la colonia (Anexo A). Los adultos se evalúan estimando la cantidad de marcos que son cubiertos por las abejas adultas, la cría contando los marcos con presencia de cría abierta (huevos, larvas) y cría operculada (pupas) en por lo menos un 50% de su área total, en el polen se registran los marcos que contienen polen almacenado en por lo menos un 20% de su área total y en la miel se registran los marcos que contienen miel almacenada en por lo menos un 20% de su área total.

2.3.3.2 Procesamiento de muestras para análisis de características morfológicas de las abejas

De cada una de las muestras de abejas obreras adultas colectadas en la cámara de cría se tomaron 10 abejas, a las cuales se les realizó la disección de la pata posterior, el ala anterior y el ala posterior del lado derecho con ayuda de una pinza entomológica y el estereoscopio. Cada una de estas estructuras se montaron en un porta objetos y se cubrieron con un cubre objetos sellado con cinta pegante en los bordes, finalmente se rotuló cada muestra con el número de la placa, el número de la colonia y la fecha de muestreo, de acuerdo con la metodología propuesta por Mantilla (1997) (Figura 2-4).

Figura 2-4: Muestra para análisis de características morfológicas (A) placa montada para realizar las medidas; (B) pata posterior de una abeja obrera; (C) alas anterior y posterior de una abeja obrera.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, en el estereoscopio y con un ocular milimétrico, se midió la longitud del ala anterior, la longitud del ala posterior, la longitud de la tibia de la pata posterior y la longitud del fémur de la pata posterior. Con estas medidas se halló el Factor discriminante (FDm) para cada muestra, con base en lo propuesto por Molina en 1979 adaptado de Daly & Balling en 1978, para determinar las características morfológicas en cada generación de abejas. Este factor se interpretó de la siguiente manera:

FDm = ($\Sigma a \times b$) - Cte

a = Promedio:

de la longitud de ala anterior

de la longitud del ala posterior

de la longitud del fémur

de la longitud de la tibia

Cte = -46.58884

b = Coeficiente:

coeficiente de la longitud del ala anterior = 2.7535

coeficiente de la longitud del ala posterior = 2.6834

coeficiente de la longitud del fémur = 70.0441

coeficiente de la longitud de la tibia = -19.5551

FD europeas: 0.9200

Punto medio: -0.8927

FD africanizadas: -2.7054

2.3.3.3 Observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de *Varroa destructor*

Dentro de los mecanismos de defensa natural que han desarrollado, las abejas africanizadas para el control del ácaro en sus colonias se encuentran tres estrategias: la disminución del tiempo en estado de pupa de las abejas africanizadas en comparación con el tiempo que emplean las abejas europeas en este estadio de desarrollo; el comportamiento de grooming que realizan las abejas en las colonias y la desoperculación de celdas con pupas de abejas con presencia de cría o adultos de *Varroa destructor*.

Para observar los mecanismos de defensa que han desarrollado las abejas, se instaló en la base (piso) de la colmena una lámina de acetato cubierta con una capa de vaselina, debidamente rotulada y cubriendo todo el piso, durante unas 3 horas. Las muestras obtenidas se almacenaron en condiciones ambientales (temperatura de 24 °C y humedad de 66%) mientras se procesaron. En el laboratorio, con la ayuda de una pinza entomológica y el estereoscopio se realizó la remoción de los ácaros inmersos en la vaselina, estos podían ser estados inmaduros (crías) o adultos, para finalmente almacenarlos en alcohol al 60% (Figura 2-5).

Figura 2-5: Instalación trampas de piso, para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de *Varroa destructor*.

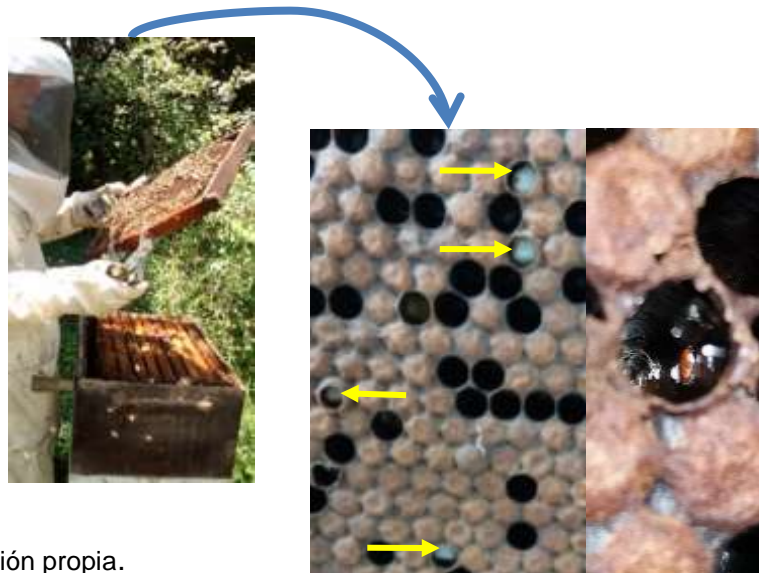


Fuente: Elaboración propia.

Los ácaros colectados fueron revisados ventral y dorsalmente con el fin de evidenciar daños causados por las abejas. A partir de lo encontrado se clasificaron los individuos en adultos con lesión, adultos sin lesión, estados inmaduros (cría) con lesión y estados inmaduros sin lesión, esta información se registró para cada colonia. De esta forma, se evaluó el comportamiento de grooming y la desoperculación de celdas que han desarrollado las abejas ante la infestación de *Varroa destructor*.

Con el propósito de corroborar los mecanismos de defensa natural de desoperculado de celdas que utilizan las abejas africanizadas, para bloquear el ciclo de desarrollo del *Varroa destructor*, se revisaron las celdas desoperculadas con pupas de abejas en el instar 5, con el fin de determinar el número de celdas con presencia o no del ácaro (adultos y/o cría). Seguidamente en el laboratorio, con la ayuda del estereoscopio y una pinza entomológica se extrajeron las pupas y se examinó detalladamente cada celda en búsqueda de adultos y/o ninfas de *Varroa destructor*. Finalmente, se registraron los datos obtenidos para cada colonia y se clasificaron las celdas, en celdas con presencia del ácaro y celdas con ausencia del ácaro.

Figura 2-6: Celdas desorperculadas para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de *Varroa destructor*.



Fuente: Elaboración propia.

2.3.4 Obtención de bases de datos para las condiciones externas de la colonia

2.3.4.1 Precipitación y Temperatura

Para recopilar la información de precipitación y temperatura se accedió a la plataforma de datos del Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) (https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/nosotros#quienes_somos), donde se obtuvo la información sobre precipitación y temperatura día a día durante la implementación del muestreo en este trabajo. Como unidades de obtención de información se seleccionaron las siguientes estaciones: la 203 localizada en el campus de la Universidad Nacional de Colombia, sede el Volador y la estación 60 Torre SIATA, localizada en el barrio Estadio de la ciudad de Medellín, por su cercanía al Centro Apícola. La información se recopiló en tablas del programa Excel y se realizó un promedio entre los datos de las dos estaciones seleccionadas, para determinar la información con la cual se trabajó.

2.3.5 Análisis estadístico

Utilizando el análisis de componentes principales (ACP) se buscó la relación entre los factores internos de las colonias de *Apis mellifera scutellata* (cría, polen, miel, población

de abejas adultas, características morfológicas) y la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y la reproducción efectiva del ácaro, también se relacionaron los recursos (polen, miel) y la población de las colonias (cría, adultos) con las características morfológicas de las abejas obreras y con los factores externos a las colonias. De igual forma, se relacionó la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y la reproducción efectiva del ácaro con los factores externos a las colonias (temperatura y precipitación).

Para dichos análisis se utilizó la herramienta estadística STATGRAPHICS Centurion XVI y se presentan gráficos tipo Bigplot para mostrar las relaciones realizadas entre los datos antes descritos.

3 Revisión bibliográfica

3.1 Proceso de africanización

Las abejas son insectos sociales que viven en colonias, pertenecen al orden Hymenoptera, a la familia Apidae. La familia Apidae cuenta con las subfamilias, Xylocopinae, Nomadinae y Apinae; esta última se subdivide en tribus como Apini, Bombini, Euglossini, Meliponini, entre otras. Dentro de la tribu Apini se encuentra el género *Apis*, con diversas especies, algunas de ellas son *Apis cerana*, *Apis koschevnikovi*, *Apis nigrocincta*, *Apis dorsata*, *Apis florea* y la abeja occidental *Apis mellifera*, esta última es la especie de mayor distribución en el mundo (Michener, 2000).

Las primeras abejas que llegan al continente americano fueron de procedencia europea, las cuales antes de 1950 eran las que predominaban en las colonias comerciales en casi todo el mundo, aunque también se introdujeron variadas especies de orígenes africanos, europeos y de oriente medio (Sanford, 2006). Estas abejas europeas se adaptan a las zonas templadas de Estados Unidos, sin embargo, no lo logran con éxito en las zonas tropicales (Rinderer, Oldroyd & Sheppard, 1994; Sanford, 2006).

El género *Apis* cuenta con diversidad de especies que se han adaptado a las condiciones ambientales y a la oferta de recursos en diferentes lugares. Es por esto que hace presencia a nivel mundial, teniendo a la especie *Apis mellifera* como la de mayor distribución en el planeta (Rinderer et al., 1994; Sanford, 2006; Crane, 2009).

Las abejas de origen europeo que ingresaron a las regiones del trópico americano no logran vincular su ciclo biológico con la longitud del día, factor que en zonas templadas enmarca la floración de las plantas; sin embargo, en zonas tropicales la duración del día no ofrece cambios significativos que permitan estimular la floración, por el contrario, en estas regiones las plantas responden a los periodos de lluvias, que son un factor

importante en la estimulación de la floración y por lo tanto en la disponibilidad de recursos para las colonias de abejas (Rinderer et al., 1994; Moore, Wilson & Skinner, 2015).

En relación con lo anterior, investigadores de Brasil, en conjunto con el gobierno de turno, en el año 1956 financiaron trabajos de investigación que buscaban mejorar el eslabón productivo de la apicultura en dicho país. Es por esto, que el ingeniero agrónomo Warwick E. Kerr, de la Universidad de Sao Paulo en Piracicaba, reconocido por sus valiosos estudios en genética y en abejas, es enviado a África con el propósito de obtener algunos ejemplares de *Apis mellifera scutellata* provenientes de África Oriental y Austral para estudiar su comportamiento en Brasil, aun teniendo información acerca del comportamiento más defensivo de las abejas Africanas en relación con el comportamiento de las abejas Europeas. El investigador Kerr adquirió 170 reinas provenientes de Angola, Sudáfrica y Tanzania; de las cuales logran sobrevivir 75 de Sudáfrica previamente fecundadas y son instaladas en núcleos y bajo estricta supervisión en un apiario en Río Claro, Sao Paulo, debido a que se iniciaría un programa de mejoramiento genético por medio de inseminación artificial (Rinderer et al., 1994; Mantilla, 1997; Gonçalves, 2001; Sanford, 2006; Moore et al., 2015). El profesor Kerr logró inseminar de 28 a 29 reinas con espermatozoides provenientes de zánganos de *Apis mellifera ligustica*. Para el año 1957 ocurre una situación que fractura el programa de investigación del Doctor Kerr y abre las puertas al proceso de africanización de la abeja europea en América (Sanford, 2006). En el apiario de investigación un apicultor visitante retira las rejillas excluidoras de reinas cuando vio que las abejas perdían el polen en la entrada a causa de la rejilla y se logran escapar 27 reinas cada una con un grupo de obreras. Este evento es considerado el inicio del proceso de africanización en América; las colonias silvestres de origen africano dominaron rápidamente gran parte del territorio de Brasil y continuaron con su expansión en países vecinos (Rinderer et al., 1994; Mantilla, 1997; Gonçalves, 2001; Sanford, 2006); sin embargo se encuentran reportes donde se evidencia que luego de la liberación se realizaban entregas de reinas africanas a los apicultores (Rinderer et al., 1994).

La abeja africanizada hacia 1970 avanzó a los territorios de la Guyana y Venezuela al norte, Paraguay, Uruguay y Bolivia al sur y al occidente del continente. Pasando luego a la costa occidental de Colombia, Ecuador y Perú. Adicionalmente, llega a Argentina y Chile y por ser estos países de condiciones templadas, no favorecieron con tanto éxito su establecimiento. En 1980 la abeja africanizada llega a Centroamérica y a México y finalmente sobrepasa la “zona de seguridad” que establecieron en conjunto, los gobiernos

de Estados Unidos y México para retardar su llegada a territorio norteamericano, dándose el inminente ingreso de las abejas africanizadas a Norteamérica. El 15 de octubre de 1990 son avistadas en el estado de Texas, en 1993 en el estado de Arizona y en 1994 en el sudeste de California, de igual forma ya hacen presencia en Nuevo México, Oklahoma, partes de Arkansas, Louisiana, Florida, Nevada y Utah, y la conquista de nuevos territorios continúa (Rinderer et al., 1994; Sanford, 2006; Moore et al., 2015), siendo una exitosa migración y un valioso proceso de adaptación de las abejas africanizadas que tardó en llegar a Norteamérica alrededor de 40 años (Rinderer, et al., 1994; Sanford, 2006). Es decir, la invasión biológica que las abejas han realizado en el continente americano es considerada una de las más exitosas y rápidas en el reino animal (Schneider, DeGrandi-Hoffman & Smith, 2004).

Las abejas africanizadas llegaron a territorio colombiano a finales de 1978 procedentes de Venezuela, ingresaron por Vichada, Arauca y Casanare. Aproximadamente para 1981 ya se consideraba que se había dado toda la africanización del territorio colombiano (Mantilla, 1997). Por otra parte, se tienen registros sobre el ingreso de abejas africanizadas por la Guajira y su distribución hacia el interior del país por la Cordillera Occidental y el Valle del Cesar (Mantilla, 1997). Actualmente la abeja africanizada se ha adaptado a todas las regiones del país y ha logrado establecerse en alturas superiores a los 1500 msnm (Mantilla, 1997; Salamanca, 2009).

Salamanca (2009), en su estudio sobre variabilidad genética del ADN mitocondrial de poblaciones de abejas en Colombia, afirma que en la actualidad continúan ocurriendo los procesos de hibridación, introgresión y expansión de las abejas africanizadas en el país, debido a que se ha evidenciado que persiste el intercambio genético de estas especies. En Colombia se conoce la presencia de 3 linajes para *Apis mellifera*; A, M y C, donde A representa subespecies africanas, M razas de Europa occidental y C abejas de Europa del este (Salamanca, 2009). A propósito de lo expuesto, el mismo autor reporta, que de los 13 haplotipos encontrados en el análisis de ADN mitocondrial de poblaciones de abejas africanizadas en Colombia, el 90,5% corresponden al linaje A, el 7,6% al linaje M y el 1,9% al linaje C. En la zona Noroccidente (Antioquia) el haplotipo A1 representa el 80% de la población estudiada y el haplotipo A4 el 20%. Sin embargo, Tibatá (2016), utilizando técnicas de amplificación por PCR y secuenciación de un fragmento de la región intergénica de los genes de la citocromo oxidasa I y II mitocondrial, encuentra para Antioquia 6 haplotipos del mitotipo africano, A1e, A26a, A4, A26d, A26c y A29a, siendo el

haplotipo A1e el más encontrado, evidenciando que el proceso de africanización se mantiene activo en la región y el país.

3.2 Análisis empleados para diferenciar el híbrido de las abejas africanizadas

A la par con el proceso de africanización se desarrollaron métodos que ayudaron a reconocer y validar dicho proceso. Es por esto que los científicos han anudado esfuerzos por tratar de seguir el ritmo y la velocidad de la africanización con el estudio, no solo del proceso, sino de las adaptaciones que ha realizado *Apis mellifera scutellata* híbrida, alrededor del mundo. En este sentido, se han empleado técnicas morfométricas, análisis enzimático, análisis de ADN mitocondrial, análisis de microsatélites nucleares, entre otros, que han facilitado a la comunidad científica descifrar el proceso de hibridación de *Apis mellifera scutellata* híbrida.

De esta manera, han surgido pruebas como los análisis del tamaño de las celdas de cera en los panales considerados no formales, que facilitan la diferenciación del híbrido (Sanford, 2006; Matías et al., 2010). Asimismo, los análisis de características morfológicas y pruebas moleculares, con el propósito de verificar si era posible la hibridación de abejas africanas y europeas, los investigadores iniciaron estudios morfométricos en los años ochenta, que posteriormente fueron comparados y validados con los resultados de los análisis enzimáticos y pruebas de ADN mitocondrial (Rinderer et al., 1994). En este tipo de análisis morfológico se requieren las medidas de diferentes partes del cuerpo (morfometría). Al respecto, Daly y Balling (1978) realizaron estudios sobre 25 caracteres morfométricos de *A. mellifera* en combinación con métodos estadísticos de análisis multivariado y mediciones múltiples, en donde se seleccionaron grupos de características que permiten diferenciar las abejas africanizadas de las europeas (Sanford, 2006; Rinderer et al., 1993; Daly & Balling, 1978). Estos procedimientos los ha usado ampliamente la comunidad científica para identificar el híbrido de abeja africanizada (AHB) (Rinderer et al., 1993).

De igual forma, los avances en la biología molecular han permitido utilizar el ADN mitocondrial para comparar la información genética de las abejas africanizadas con las abejas africanas y europeas, con el fin de llegar en el linaje materno hasta África o Europa,

considerando que las abejas y otras especies heredan las mitocondrias de la madre (Rinderer et al., 1994; Sanford, 2006).

Las pruebas con ADN mitocondrial permiten establecer si la descendencia proviene de un linaje materno portador de mitocondrias asociadas a *Apis mellifera scutellata*, sin tener presente la información genética que aporta el padre (zángano) a su descendencia (Szalanski et al., 2014). Sin embargo, se han desarrollado otros tipos de pruebas como microsatélites nucleares, que tienen lectura sobre el cambio en el tamaño y la forma del cuerpo de las abejas, debido a que estos son controlados por genes nucleares, este tipo de análisis también se puede realizar mediante técnicas morfométricas, pues esta estrategia es económica y eficiente, y también evalúa el proceso de africanización de *Apis mellifera* (Kono & Kohn, 2015).

Existen estudios en los que se han realizado pruebas con ADN mitocondrial, con microsatélites nucleares y con características morfológicas de *Apis mellifera* para diferenciar las abejas de origen europeo y las abejas africanizadas, como el efectuado por Kono & Kohn (2015), en su estudio sobre la prevalencia de abejas africanizadas en el condado de San Diego y su dispersión hacia el norte de California en Estados Unidos, donde utilizaron marcadores mitocondriales y análisis morfométricos para evaluar sus abejas. Allí se encontró que, al usar marcadores mitocondriales, el 65% de las abejas obreras portaban genes africanos y al utilizar mediciones morfológicas, el 61% de las abejas correspondían a abejas obreras africanizadas. Para las mediciones morfológicas se tomaron las longitudes de ala anterior y posterior derecha y las longitudes de la tibia y el fémur derecho de la pata posterior de abejas obreras, y con el factor discriminante calculado con las anteriores medidas fue posible clasificar el 17.84% de las abejas muestreadas del norte de San Diego, como africanas. Con la secuenciación del ADN mitocondrial se diferenciaron una mezcla de mitotipos europeos (C, O y M), linajes del Norte del Mediterraneo, Medio Oriente y Europa, y el mitotipo A característico de Africa subsahariana. De acuerdo con estos dos tipos de análisis, no hubo correlación entre el mitotipo y la morfología en el condado de San Diego, dejando abierta la posibilidad de que las abejas africanizadas son el resultado de la hibridación direccional (Kono & Kohn, 2015). Sin embargo, se propone utilizar tanto las mediciones morfológicas como las pruebas moleculares cuando sea posible (Szalanski et al., 2014; Kono & Kohn, 2015).

Sin embargo, la morfometría es una herramienta bastante rigurosa que demanda tiempo, pero es un método rápido, útil y económico que permite diferenciar las abejas europeas y africanizadas de acuerdo con sus características morfológicas. En búsqueda de disminuir el tiempo empleado en los análisis morfométricos los investigadores de manera rigurosa y con validez científica han reagrupado caracteres que permitan diferenciar el híbrido e incluso, se han evaluado con más detalle características de una parte del cuerpo de las abejas, como por ejemplo las alas (Francoy et al., 2007).

Adicionalmente, el uso en conjunto de diversas pruebas, para diferenciar las abejas africanizadas de las abejas europeas, se han empleado también en la identificación de subespecies de *Apis mellifera*, como lo reporta Oleska & Tofilski (2015), los cuales compararon microsatélites nucleares, la región intergénica COI-COII del ADN mitocondrial y morfometría geométrica de la venación de ala anterior de abejas obreras, encontrando correlación significativa entre los tres métodos empleados para diferenciar las subespecies *Apis mellifera mellifera* y *Apis mellifera carnica*. No obstante, se hace claridad sobre las desventajas que atañen las mediciones morfológicas en comparación con los microsatélites, puesto que durante la medición de características morfológicas se pueden presentar errores de medición y la morfología de las abejas se ve influenciada por el medio ambiente, pero no se descarta su uso y factibilidad (Oleska & Tofilski, 2015).

3.3 *Varroa destructor*

3.3.1 Generalidades y dispersión

El ácaro *Varroa destructor*, antes reseñado como *Varroa jacobsoni* Oudemans, fue descrito por primera vez por Oudemans en 1904 como un ácaro ectoparásito natural de la abeja melífera (*Apis cerana*) del este de Asia (De Jong, De Andrea Roma & Gonçalves, 1982). Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Phylum: Arthropoda

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Orden: Mesostigmata

Familia: Varroidae

Género: *Varroa*

Especie: *destructor*, *jacobsoni*, *underwoodi*, *rindereri*, entre otros.

Varroa destructor es considerado como un ectoparásito debido a que causa daños a los adultos y al desarrollo de la cría, ya que se alimenta de la hemolinfa de las abejas. Más tarde se cambió de hospedante a la abeja occidental (*Apis mellifera*) y ahora se ha convertido en una plaga grave de las abejas en todo el mundo (Anderson y Trueman, 2000; Serrano, Padilla & Pérez, 2007).

En el siglo XX lo más probable es que la dispersión del ácaro se inició con el traslado de abejas desde Rusia oriental al lejano Oriente, lo que permitió una interacción entre las dos especies de abejas *Apis cerana* y *Apis mellifera*, originándose el puente que posibilitó a *Varroa destructor* llegar hasta el nuevo huésped (Rosenkranz, Aumeier & Ziegelmann, 2010).

Hoy en día el parásito se encuentra en muchos países de Europa, África, Asia y América (Moretto et al., 2001). La apicultura comenzó a sentir un fuerte impacto debido a los efectos drásticos de *Varroa destructor* en diversas regiones del mundo, presentando en colonias de *Apis mellifera* altas tasas de infestación en cría y en adultos (De Jong et al., 1984).

Anderson y Trueman (2000) dan un nuevo nombre a *Varroa jacobsoni*, ahora *Varroa destructor* n. sp. Ellos observaron que las hembras adultas de *Varroa destructor* son significativamente más grandes y menos esféricas que las hembras de *Varroa jacobsoni*, además están reproductivamente aisladas de las hembras de *Varroa jacobsoni* (Anderson y Trueman, 2000).

El género *Varroa* (Acari: Varroidae) está representado por tres especies de ácaros ectoparásitos altamente especializados que se alimentan de la hemolinfa de las abejas (*Apis* spp.). En Asia, *Varroa jacobsoni* Oudemans fue el primero que se describió en *Apis cerana* Fabricius en Java, Indonesia, *Varroa underwoodi* Delfinado-Baker y Aggarwal en *Apis cerana* en Nepal y *Varroa rindereri* De Guzman y Delfinado-Baker, en *Apis koschevnikovi* Buttell-Reepen en Borneo (Anderson y Trueman, 2000; Rosenkranz et al., 2010). En el año 2000, Anderson y Trueman identificaron 18 haplotipos del ácaro y sólo dos de estos se han convertido en plagas para *Apis mellifera*, el más común es el haplotipo Corea, que se ha reportado atacando abejas en Europa, Asia, Oriente Medio, África y las

Américas y el menos común es el haplotipo Japón/Tailandia identificado agrediendo a *Apis mellifera* en Japón, Tailandia y América.

Al parecer, *Varroa destructor* llega a América del Sur por medio de una población de abejas parasitadas por el ácaro, introducida en Paraguay en 1971 mediante una afluencia de abejas provenientes de Japón. En Brasil se introdujo *Varroa destructor* en colmenas de abejas y cría transportadas a Sao Paulo en 1972, provenientes de un apicultor japonés que residía en Paraguay. En 1978 los ácaros son documentados por primera vez en Brasil, aunque para esa fecha ya se habían establecido en grandes áreas de los estados de Sao Paulo y Paraná (De Jong et al., 1984). En Colombia las primeras colmenas infestadas fueron reportadas para el departamento de Cundinamarca (Saldaña, 1994).

3.3.2 Biología de *Varroa destructor*

3.3.2.1 Morfología

El ácaro posee ocho patas y un aparato bucal, este último tiene una función penetrante y chupadora. Su cuerpo está compuesto por numerosos pelos sensoriales, los cuales utiliza como receptores para percibir su entorno; por otro lado, las patas están dotadas de ventosas que favorecen su adherencia al cuerpo de las abejas (Ritter, 2001). Tanto en el macho como en la hembra el cuerpo se divide en dos regiones, el gnatosoma y el idiosoma. El primero se encuentra localizado anteroventralmente y está compuesto por el aparato bucal, conformado por dos pedipalpos sensoriales y dos quelíceros. Los quelíceros se forman por tres segmentos, el basal, el medio y el distal. El último segmento es móvil y tiene dos dientes pequeños, en las hembras; mientras que en los machos el segmento móvil es una estructura que facilita la transferencia de espermatozoides en el tracto femenino y se conoce como espermatozóclito. En cuanto al idiosoma, se reconoce por ser la parte más grande y estar compuesta por un escudo dorsal y diferentes escudos ventrales (Rosenkranz et al., 2010).

El ácaro presenta diformismo sexual (Figura 3-1). La hembra en estado adulto es de forma elíptica y plana, de color rojizo-marrón, en promedio su cuerpo tiene 1 mm de largo y 1,6 mm de ancho y es bastante esclerotizado, además tiene patas cortas y fuertes; mientras que los machos son de menor tamaño, aproximadamente de 0,7 mm de largo por 0,7 mm de ancho, con un color pálido perlado, el cuerpo en forma de pera y menos esclerotizado, sus patas son más largas en relación con el tamaño corporal de las hembras y solo viven

dentro de las celdas con cría. Los machos son claramente más pequeños que las hembras en todas las etapas del desarrollo (Rosenkranz, Aumeier & Ziegelmann, 2010) (Figura 3-1).

El aparato reproductor femenino cuenta con dos sistemas, uno donde se localiza el ovario, el útero y la vagina que conduce a la abertura genital. Dicha abertura está ubicada en el segundo par de patas y es allí donde se liberan los óvulos; el segundo sistema permite la recepción y maduración del esperma, cuenta con dos poros, solenostomas, situados a cada lado entre las coxas III y IV que finalizan en forma de tubuli, seguido por el rami que confluye en el centro del cuerpo femenino y pasa al conducto espermático donde se encuentra la espermateca, órgano que sirve como reservorio para los espermatozoides hasta la fecundación de los óvulos (Alberti & Hänel, 1986).

Figura 3-1: Estados adultos de *Varroa destructor*. (A) Hembra diámetro 1,3-1,6 mm; (B) Macho diámetro 0,7 mm.



Fuente: Elaboración propia.

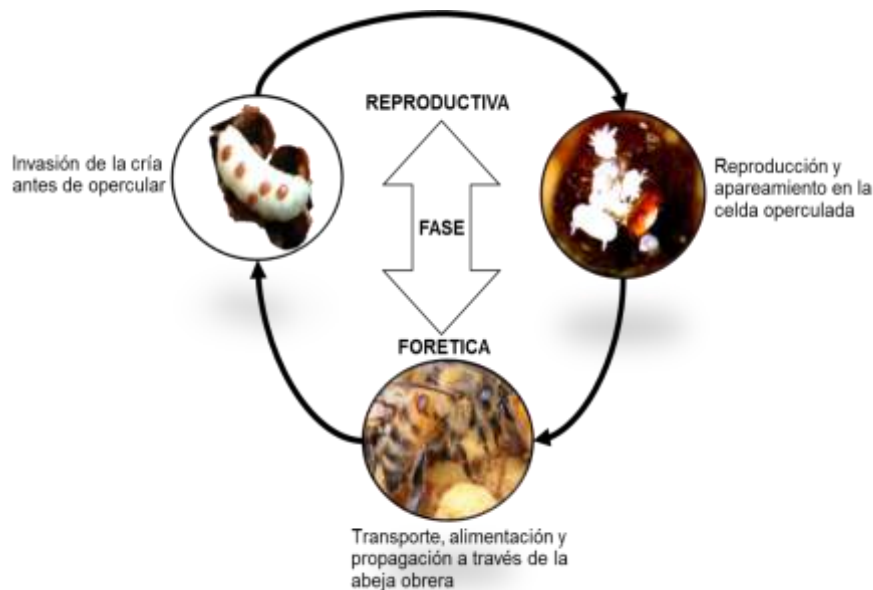
Los órganos sensoriales de las hembras de *Varroa destructor* están en todo su cuerpo, desde las patas, hasta las piezas bucales, se encuentran recubiertas de diferentes tipos de pelos, los cuales tienen funciones mecánico y quimiorreceptoras (Rosenkranz et al., 2010).

3.3.2.2 Ciclo de vida

El ectoparásito *Varroa destructor* presenta una fase forética (Figura 3-2), en la cual los ácaros adultos se transportan y se alimentan de la hemolinfa de las abejas, pues estos se adhieren con ayuda de sus patas y aparato bucal al cuerpo del insecto, especialmente en el abdomen, por debajo de los esternitos abdominales y en menos oportunidades en la

cabeza y el tórax (Vandame, 2000; Ritter, 2001; Rozenkranz, Aumeier, Ziegelmann, 2010); esta fase dura de 4 a 14 días reduciendo la longevidad y vitalidad del hospedero (Giacovino et al., 2011). También cuenta con una fase reproductiva, comprendida entre 12 y 13 días, esta etapa comienza cuando la hembra adulta del parásito abandona una abeja obrera adulta o un zángano y penetra en las celdas de cría de abejas obreras o zánganos para alimentarse de las larvas próximas a ser operculadas (Morse, 1980; De Jong et al., 1997; Guzman et al., 1999), el éxito de esta etapa, depende de transportarse en la abeja adulta adecuada, que la lleve a la celda apropiada, donde se encuentre la larva aproximadamente en el 5º instar, poco antes de ser operculada (Rozenkranz, Aumeier, Ziegelmann, 2010). Por lo tanto, cuando las colonias de abejas están en condiciones normales (buen número de crías y adultos), la población de *Varroa destructor* se distribuye entre las abejas adultas y la cría (Moretto, 2001).

Figura 3-2: Ciclo de vida de *Varroa destructor*, fase forética y fase reproductiva.



Fuente: Adaptado de Rosenkranz, Aumeier & Ziegelmann (2010).

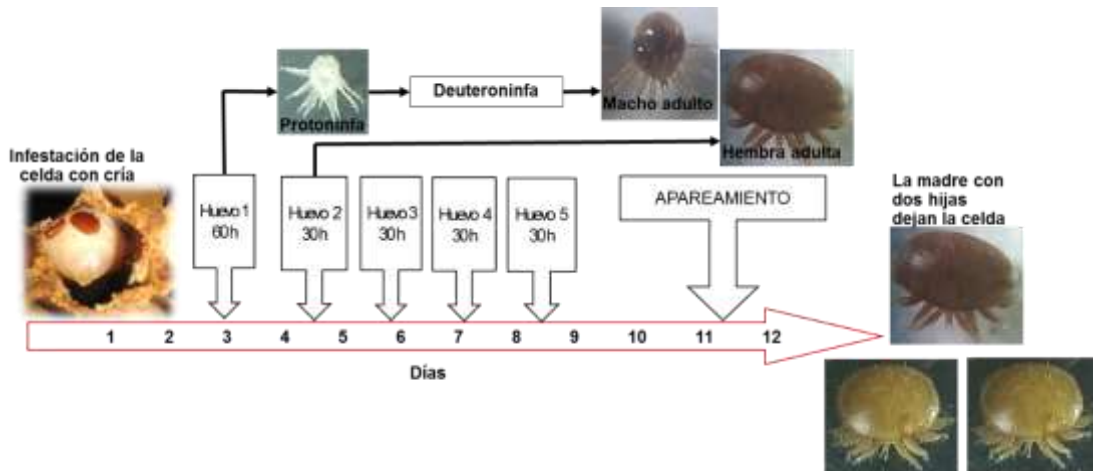
En la fase reproductiva (Figura 3-2) el ácaro *Varroa destructor*, luego de la fecundación, tarda entre 6 a 7 días en alcanzar su etapa adulta, tanto en hembras como en machos. Durante esta transición pasan por protoninfa, deutoninfa, deutocrisálida para finalmente convertirse en un ácaro adulto capaz de reproducirse (Figura 3-3). Para reproducirse, la hembra se introduce en las celdas con crías de zánganos o de obreras, preferiblemente

de zánganos, poco antes de ser operculadas, se desliza hasta la base de la celda y allí permanece inmóvil consumiendo el alimento larvario (Ritter, 2001).

Los ácaros cuentan con los peritremos, unas estructuras especializadas que les permiten respirar bajo estas condiciones. Cuando las abejas terminan de opercular la celda y el ácaro hembra se consume el alimento de la larva, comienza a desplazarse en la celda y consume la hemolinfa de la pupa. Los machos son maduros sexualmente antes que las hembras, estos esperan inmóviles a la primera hembra adulta que tarda aproximadamente unas 20 horas en alcanzar este estado. Antes de reproducirse el macho, limpia sus quelíceros, luego asciende a la hembra por su dorso y se desliza hacia el lado ventral, buscando los gonoporos que están ubicados transversalmente entre el tercer y cuarto par de patas; seguidamente mediante los quelíceros transfiere el espermátforo al gonoporo de la hembra, para depositar su semen. Luego de 2 días los espermatozoides se desplazan hacia la espermateca y adquieren una forma fusiforme. Este proceso continúa, debido a que para llenar la espermateca se requieren varios apareamientos (Rosenkranz et al., 2010).

Después de transcurridas las primeras 60 horas, la hembra pone el primer huevo y continúa con posturas en intervalos de 30 horas. Del huevo emerge una larva, que pasa por dos estadios ninfales que son protoninfa y deutoninfa, antes de llegar al estado de adulto (Figura 3-3). El primer huevo generalmente es no fecundado, dando como resultado un macho haploide, las posteriores posturas son provenientes de óvulos fecundados y corresponden a las hembras (Ritter, 2001; Rosenkranz, Aumeier & Ziegelmann, 2010) (Figura 3-3).

Figura 3-3: Ciclo reproductivo de *Varroa destructor* dentro de la celda de cría operculada de las abejas.



Fuente: Adaptado de Rosenkranz, Aumeier & Ziegelmann (2010).

Los machos tienen un aparato bucal que solo les es útil para la reproducción, debido a que por este se transporta exclusivamente el semen. El proceso de fecundación se realiza en la celda operculada y el número de ácaros que alcanza la etapa adulta depende del tiempo que permanezca la celda operculada y el tipo de celda, ya sea de zánganos o de obreras. Los zánganos tienen un periodo de desarrollo de 24 días, por lo tanto se pueden reproducir de 4 a 5 ácaros hembras, mientras que las abejas obreras tienen un periodo 19 a 20 días, por lo que en estas solo se desarrollarán hasta 3 ácaros hembras. Con relación a lo anterior, Calderón, van Veen, Sommeijer & Sanchez (2010) obtuvieron una fertilidad del ácaro en celdas de zánganos de 93,1%, con 3,2 descendientes por ácaro, mientras que en celda de obreras fue de 88,9% y se produjeron en promedio 4 descendientes por ácaro; adicionalmente en cría de obreras el 37,6% de los ácaros produjo hijas viables y en celdas de zánganos el 64,8% de los ácaros produjo hijas viables.

El tiempo que permanezcan operculadas las celdas de las abejas no es estándar, pues cuando baja la temperatura el desarrollo de la cría es más lento, de igual forma puede variar dependiendo de las especies de abejas (Ritter, 2001). Los machos y las ninfas del ácaro se encuentran en las celdas operculadas donde se alimentan y reproducen durante su corta vida (Figura 3-4) (Rosenkranz et al., 2010).

Figura 3-4: Estados inmaduros de hembras de *Varroa destructor*.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Infestación sanitaria de *Varroa destructor*

“La infestación del ácaro causa daños a la colonia y la consiguiente pérdida de la producción de miel, debido a una menor esperanza de vida de las abejas infestadas durante su desarrollo. Pero el porcentaje de abejas afectadas no es lo suficientemente alto para que la colonia muera. Por esto, la decisión sobre el uso de acaricidas, debe hacerse sólo después de comparar el ahorro previsto de las abejas y la producción de miel con el costo de: productos químicos, mano de obra y transporte, la pérdida potencial de las abejas debido a los efectos secundarios del tratamiento y el costo de la posible contaminación de miel u otros productos de la colmena” (De Jong et al., 1984).

Los estados larvales y la pupa son las etapas más sensibles de las abejas ante el daño causado por el ácaro *Varroa destructor* (Rosenkranz et al., 2010). En estos estados inmaduros se ha reportado una pérdida de peso que va desde 5% hasta el 25% e incluso se han evidenciado daños en las alas y en otros apéndices del insecto (De Jong et al., 1982). De igual forma, Contzen, Garedeu, Lamprecht & Schmolz (2004) encontraron que la infestación por *Varroa destructor* tuvo influencia en el contenido energético de pupas de abejas obreras de *Apis mellifera*, con una disminución de un 34% con relación al contenido inicial y un 15% por debajo del valor estimado después de finalizado el estado de pupa, cuando las celdas de abejas obreras estaban infestadas con cuatro a seis ácaros. Asimismo, hubo una disminución en el volumen total de la hemolinfa de las abejas obreras provenientes de pupas infestadas, concluyendo que la pérdida de energía puede ser generada por la disminución de la hemolinfa que puede llegar a ser hasta de un 35%.

Estos hallazgos exponen una clara influencia negativa del ectoparásito en el desarrollo de estados inmaduros de las abejas africanizadas (Contzen et al., 2004).

También, las altas poblaciones de este ectoparásito en las colonias pueden representar un debilitamiento de las poblaciones de abejas y, por ende, de su sobrevivencia. Por su parte, Martin & Medina (2004) determinan que en *Apis cerana* las poblaciones de ácaros son bajas, aproximadamente 800 ácaros por colonia, mientras que en abejas europeas las poblaciones pueden llegar a incrementarse hasta en 2000 veces al año, llegando a causar la muerte de la colonia, al contrario las abejas africanizadas logran estabilizar las poblaciones de *Varroa destructor* entre 1000 y 3000 ácaros por colonia, lo que permite la sobrevivencia de esta; por otra parte estiman que se requieren alrededor de 12000 ácaros por colonia de abejas africanizadas y de *Apis cerana* para acabarlas.

Mondragón, Spivak & Vandame (2005) reportan en su estudio sobre la resistencia de *Apis mellifera scutellata* híbrido al ácaro *Varroa destructor* en México, una cantidad media anual de ácaros por colonia de 3876, aunque los niveles encontrados al inicio y final de la investigación fueron de 4746 a 5843 ácaros respectivamente; en definitiva, se mostró un comportamiento similar a lo largo del año.

Adicionalmente las altas tasas de infestación del ácaro en las colonias de *Apis* tienen significativa relación con la prevalencia de una epidemia viral de la colonia, puesto que el ácaro *Varroa destructor* se ha reportado como vector de virus. Uno de los virus reportados pertenece a la familia Tymoviridae (Tymovirales; Tymoviridae), como es el caso del Bee Macula-like virus (BeeMLV) (Martin & Medina, 2004). Este virus parece estar estrechamente vinculado con *Varroa destructor*, con la más alta prevalencia encontrada, en muestras de USA, alcanzando un máximo en otoño, coincidiendo con el desarrollo natural de la población del ácaro (De Miranda et al., 2015).

Igualmente, estudios experimentales han demostrado que *Varroa destructor* transmite otros virus como, el virus de la parálisis lenta, virus de Kashmir y el virus de alas deformadas que pueden llegar a causar la muerte de la colonia (Ratnieks & Carreck, 2010; Shen, Yang, Cox-Foster & Cui, 2005). En Colombia se han reportado niveles de infestación de *Varroa destructor* desde valores menores al 1% hasta niveles por encima del 10%, con un nivel de infestación promedio de 4,6% (Salamanca, 2009; Tibatá, 2016). Adicionalmente, se han realizado aislamientos de virus como, virus de alas deformadas (DWV), virus de la parálisis aguda (ABPV), virus de la cría ensacada (SBV) y virus de la

celda real negra (BQCV) (Tibatá, 2016), evidenciando la vulnerabilidad de la sanidad apícola del país.

3.3.4 Mecanismos de defensa natural desarrollados por las abejas ante las infestaciones de *Varroa destructor*

Dentro de los mecanismos de resistencia natural que presentan las abejas africanizadas ante el ataque de plagas y enfermedades, en comparación con las abejas europeas, se resalta la respuesta del híbrido ante la afectación por el ácaro *Varroa destructor* (Martin & Medina, 2004; Mondragón, Spivak & Vandame, 2005; Moretto & Leonidas, 2003). Uno de estos mecanismos es el grooming, el cual hace parte de las estrategias de limpieza que utilizan las abejas dentro de la colonia y consiste en el acicalamiento de ellas mismas y entre ellas, permitiéndoles detectar, provocar lesiones y desprender el ácaro de su cuerpo (Araneda, Bernales, Solano & Mansilla, 2010). Este comportamiento se evidencia en trabajos con abejas africanizadas en Brasil, allí se parasitaron artificialmente las abejas con hembras adultas de *Varroa destructor* y se observó como las abejas se liberaron del parásito a través del movimiento vigoroso de su cuerpo (Moretto & De Mello, 1999). Este comportamiento de las abejas africanizadas también se observa en condiciones naturales, es decir, las abejas obreras pueden verse realizando los movimientos del cuerpo cuando están infestadas de *Varroa destructor* (Araneda, Bernales, Solano & Mansilla, 2010; Moretto, 2001).

Para corroborar el comportamiento de acicalamiento en las abejas africanizadas, Moretto (2001) realizó la evaluación y la comparación de la tasa de mortalidad diaria de *Varroa destructor* en colmenas de abejas africanizadas y europeas, encontró una proporción diaria de ácaros vivos de 6,3% para las africanizadas, mientras que en las europeas fue de 2,11% y una proporción de ácaros muertos de 2,45% en las africanizadas y 0,82% en las europeas. Así evidenció que el comportamiento de grooming es una de las herramientas que utilizan las abejas para regular las poblaciones y los niveles de infestación de *Varroa destructor* en la colonia.

Adicionalmente, Araneda et al. (2010) reportaron en su estudio sobre comportamiento de acicalamiento en abejas (*Apis mellifera carnica*) que de 2005 *Varroa destructor* caídas y evaluadas, el 95% estaban vivas y el 5% muertas. Además, el 49% de los ácaros presentaban lesiones, como daño dorsal o daño total y el 51% no presentó lesiones, lo que

permite evidenciar otra muestra de los efectos del comportamiento del grooming sobre la sanidad de la colonia que realiza *Apis mellifera*.

Igualmente, dentro del comportamiento higiénico las abejas realizan la desoperculación de celdas con pupas infectadas con el ácaro. De este último comportamiento, se han realizados estudios donde se comprueba que las abejas africanizadas tienen mayor capacidad para detectar y reaccionar ante celdas con cría infestada por el ácaro, en comparación con las abejas europeas (Vieira, Gonçalves & De Jong, 2000). Las colonias de abejas africanizadas retiran en promedio un 51% de la cría infestada, mientras que las abejas Italianas eliminan un 25% (Vieira, Gonçalves & De Jong, 2000).

Es importante considerar el hecho de que el tiempo empleado en el paso del estado de pupa a adulto en las abejas europeas es de 10,5 días y en las abejas africanizadas de 9,5 días, lo que permite a *Varroa destructor* tener mayor capacidad reproductiva en las colonias de abejas europeas, debido a que el ácaro produce una nueva generación cada 30 horas y este día de diferencia permite incrementar la población del ácaro (Camazine, 1986).

3.3.5 Factores ambientales, recursos de la colonia y la infestación de *Varroa destructor*

Las abejas africanizadas son las encargadas de regular el ambiente dentro de la colonia, especialmente en la cámara de cría donde las abejas realizan su ciclo reproductivo. Sin embargo, los factores climáticos externos y la disponibilidad de recursos, pueden influir en esta regulación. Aumentando o disminuyendo su vulnerabilidad ante la infestación de plagas, entre estas *Varroa destructor*. En regiones templadas se ha observado relación entre la infestación de *Varroa destructor* y los cambios estacionales. De Jong (1984) y Giacobino et al. (2017) encontraron niveles de infestación de *Varroa destructor* altos en invierno y otoño, y bajos en verano, debido a que las abejas obreras en regiones templadas durante el invierno deben permanecer más tiempo en la colmena que las abejas que se desarrollan en primavera y verano.

Por su parte, Harris et al. (2003) encuentran que durante los periodos bajos de lluvia registrados entre los años 1998 y 2000 en Luisiana, EE. UU., se tuvo tasas de crecimiento de *Varroa destructor* bajas en las colonias, mientras que la temperatura y la humedad relativa se correlacionaron con la tasa de crecimiento del ácaro, sin embargo, hacen

claridad sobre la necesidad de monitorear los cambios de la temperatura y la humedad relativa dentro de la colmena, pues éstas condiciones son reguladas tanto por el ambiente del entorno, como por las abejas. Como lo evidenciaron en su estudio, donde la disminución de la reproducción del ácaro tuvo relación con una refrigeración inadecuada dentro de la colmena durante períodos cálidos y secos (Harris et al, 2003). Puesto que *Varroa destructor* puede vivir en un rango de temperatura dentro de la colmena entre 32-35 °C y una humedad relativa que va desde 55% hasta 70%, valores que se encuentran dentro de las condiciones aptas para las abejas en la colmena (Nazzi & Le Conte, 2016).

En las regiones tropicales de Suramérica las precipitaciones y la temperatura son más estables durante el año, permitiendo a las colonias reproducirse constantemente y tener presencia de estados inmaduros, en los cuales se reproduce *Varroa destructor*. Sin embargo, las infestaciones del ácaro no han logrado desestabilizar las colonias de abejas africanizadas en el trópico (De Jong, 1984; Moretto & Leonidas, 2003).

En regiones con condiciones climáticas subtropicales y templadas como Argentina han encontrado que *Varroa destructor* produce menor descendencia viable en el subtropico, donde solo el 54% de los ácaros hembras dejan descendencia viable, y en el clima templado las hembras que proporcionan descendencia viable equivalen a un 74% (Del Hoyo, 2001). Por otra parte, en regiones como Brasil donde la mayoría de las abejas son africanizadas se encontraron mayor infestación de *Varroa destructor* en las regiones más frías (De Jong, 1984). De igual forma, en Colombia, Salamanca, 2012 encontró que en regiones con ambientes húmedos y fríos se favorece la infestación de *Varroa destructor*, mientras que en regiones cálidas esta se reduce.

La disponibilidad de recursos también puede favorecer o desfavorece la infestación de *Varroa destructor*. Las colonias de *Apis mellifera* satisfacen sus necesidades nutricionales con polen y néctar, los cuales recolectan del ambiente en cantidades que sobre pasan su demanda y los almacenan en forma de pan de abejas y miel (DeGrandi-Hoffman & Chen, 2015). La miel es la fuente de carbohidratos para todas las etapas de la vida de las abejas y el polen es la fuente de proteína, lípidos, azúcares, fibras, sales minerales, aminoácidos y vitaminas para las abejas, lo cual les permite desarrollarse y reproducirse (Carpes et al, 2009; Nicolson et al, 2018; DeGrandi-Hoffman & Chen, 2015). La disponibilidad de polen como alimento para las abejas en los primeros días de vida es en forma de pan de abejas. El pan de abejas es una mezcla de néctar o miel con polen que se almacena en los panales

para ser consumido por las abejas jóvenes (nodrizas) (Nicolson, et al., 2018), éste recurso es fundamentales para garantizar una adecuada acumulación de proteínas para el resto de sus vidas, además condiciona la vida útil de las abejas y determina su capacidad para desempeñar el rol de nodrizas y de forrajeras en la colonia (Amdam et al., 2004).

Al afectarse la floración de las plantas de las cuales las abejas extraen el polen y el néctar, se presenta disminución en las poblaciones de las colonias, debilitándolas y esto a su vez incrementa la infestación de *Varroa destructor* (García et al., 1997), existiendo una relación entre la nutrición e inmunidad de las colonias cuando son afectadas por el ácaro (DeGrandi-Hoffman & Chen, 2015). En relación con lo anterior, Giacobino et al. (2011) establece que la disponibilidad de polen y néctar regula de manera indirecta la reproducción de *Varroa destructor*, debido a que las abejas controlan su reproducción de acuerdo con la oferta de estos recursos y por tanto la disponibilidad de celdas de cría donde se reproduce el ácaro es menor.

De acuerdo con la importancia nutricional del polen en la vida de las abejas y la supervivencia de las colonias Dooremalen et al. (2013), realizaron estudios sobre el efecto de la reducción en la disponibilidad de polen y la infestación de *Varroa destructor*, encontrando que las abejas infestadas o no por *Varroa destructor* y a las cuales se les redujo el suministro de pan de abejas presentaron un peso menor que las abejas que tuvieron un consumo adecuado, por otro lado, al comparar el peso corporal de abejas infestadas por *Varroa destructor* en la etapa de pupa y con suministro o no de pan de abejas se obtuvo una diferencia en el peso corporal de las abejas en la primera semana de vida, encontrando una disminución en el peso de las abejas infestadas por el ácaro en comparación con las no infestadas. Sin embargo, después de una semana de vida, las abejas jóvenes infestadas por *Varroa destructor* y que disponían de abundante polen presentaron pérdida de peso corporal y baja concentración de proteína abdominal, lo que permitió concluir que las abejas no compensan las deficiencias causadas por *Varroa destructor* en su etapa de pupa, aún si contaran con buena disponibilidad de polen, demostrando que tanto la disponibilidad de polen como la infestación de *Varroa destructor* en la colonias tienen efectos en las abejas jóvenes (Dooremalen et al, 2013).

4 Resultados y Discusión

4.1 Infestación de *Varroa destructor* en adultos

La infestación promedio de *Varroa destructor* en las colonias monitoreadas durante este estudio fue 6,16%. Las colonias procedentes del Valle de Aburrá presentaron la mayor infestación promedio (6,3%), seguida de las colonias de la Costa Atlántica (6,1%) y de las colonias del Suroeste de Antioquia (5,9%).

Al considerar los valores dentro de cada procedencia se tiene que el valor máximo para la infestación de *Varroa destructor* en las colonias del Valle de Aburrá fue de 9,6% el cual se presentó durante el mes de octubre y el valor mínimo fue de 2,06% durante el mes de marzo. Para las colonias del Suroeste, el valor máximo en la infestación del ácaro fue de 11,53% en el mes de noviembre y el mínimo de 2,38% para el mes de febrero. Mientras que para las colonias de la costa Atlántica la infestación máxima de *Varroa destructor* fue de 7,9% en el mes de abril y la mínima de 3,6% en el mes de septiembre (Figura 4-1).

Figura 4-1: Porcentaje (%) de infestación de *Varroa destructor* en adultos de *Apis mellifera scutellata* híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica).



Las colonias que presentaron el valor más alto de infestación del ácaro fueron las de procedencia del Suroeste de Antioquia durante el mes de noviembre del año 2016, mientras que las colonias procedentes del Valle de Aburrá presentaron el valor más bajo en marzo del año 2017.

La población de ácaros adultos en general en las colonias fue muy estable durante los meses evaluados (Figura 4-1). Sin embargo, el nivel de daño que pueda ocasionar *Varroa destructor* en las colonias de abejas no se ha determinado como un valor fijo de ácaros por colonia, puesto que éste puede ser muy variable y no solo depende de su población, sino de otros factores como la población de abejas y la reproducción en la colonia, el estado sanitario de la colonia y las condiciones bióticas y abióticas que las influyen (Rosenkranz et al., 2010).

En cuanto a los niveles de infestación de *Varroa destructor* en las colonias de abejas africanizadas en esta investigación, son semejantes a los reportados en Brasil (2-5% IVA), donde se ha encontrado que, dentro de este rango, no causan efectos negativos importantes sobre la productividad y sobrevivencia de las colonias en el trópico (Francoy et al., 2007; G. Moretto & Leonidas, 2003; Vieira et al., 2000). Además, se relaciona con lo reportado por Salamanca et al. (2012), quienes encontraron en su evaluación de la infestación del ácaro en varias regiones de Colombia, que los niveles de infestación con mayor fuerza se ubicaron en las categorías de exposición significativa a severa (4% al 10%), como se presentó en este estudio, donde la infestación osciló entre 4% y 6%.

De otra manera, si se supone que una colonia de abejas africanizadas se compone de 80000 abejas y en este estudio se encontró que por cada 100 abejas hay en promedio 9 ácaros, entonces en una colonia se tendrían 5600 ácaros, suma que se encuentra por debajo de los niveles de riesgo para las abejas africanizadas, de acuerdo con lo reportado por Martin & Medina (2004), quienes estiman que se requieren alrededor de 12000 ácaros por colonia para llegar a causar su pérdida. Asimismo, se encuentra relación con lo hallado por Mondragón, Spivak, & Vandame (2005), en abejas africanizadas de México, donde la cantidad promedio de ácaros por colonia fue de 3876 individuos por año y no se evidenció relación positiva o negativa con el crecimiento de la población de abejas de la colonia. De igual forma Carneiro, Barroso, Strapazzon & Moretto (2014) reportan en Brasil, una cantidad de aproximadamente 4,15 ácaros por cada 100 abejas adultas, infestación que

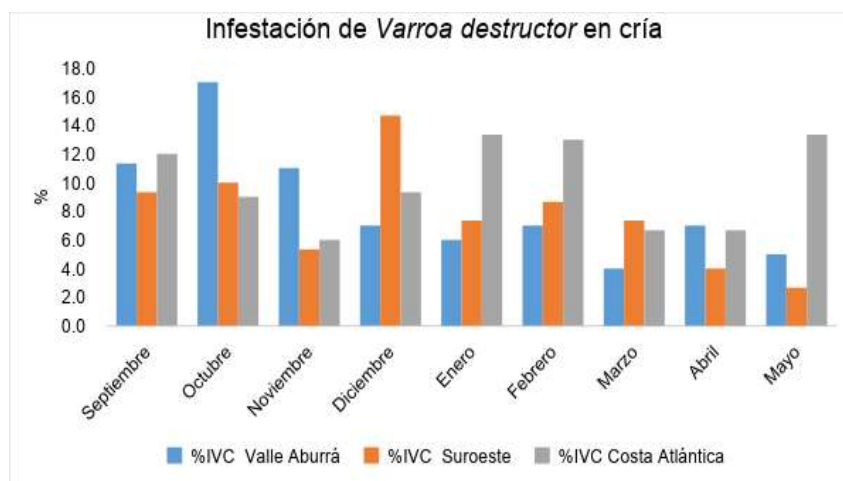
no logra afectar la colonia. Por lo tanto, se considera que los niveles de *Varroa destructor* encontrados no afectan el desarrollo de las colonias evaluadas.

4.2 Infestación de *Varroa destructor* en cría

El porcentaje promedio de infestación de *Varroa destructor* en cría para las colonias fue de 8,6%. Donde las colonias procedentes de la Costa Atlántica presentaron la mayor infestación promedio durante el muestreo (9,9%), seguidas por las colonias del Valle de Aburrá con una infestación de 8,3% y las colonias del Suroeste de Antioquia con una infestación de 7,7%.

Los niveles máximos y mínimos de infestación del ácaro en la cría de las abejas para cada procedencia se distribuyeron de la siguiente forma: para las colonias procedentes del Valle de Aburrá el valor máximo fue de 17% en el mes de octubre y el valor mínimo de 4% en el mes de marzo, para las procedentes del Suroeste el valor máximo fue de 14,6% y el mínimo de 2,6% en el mes de mayo y para las de la costa Atlántica el valor máximo fue de 13,3% en los meses de enero y mayo y el mínimo de 6% en el mes de noviembre (Figura 4-2).

Figura 4-2. Porcentaje (%) de Infestación de *Varroa destructor* en cría de *Apis mellifera scutellata* híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica).



Estos resultados encuentran relación con lo reportado por Moretto & Leonidas (2003) en Brasil, donde los niveles de infestación de *Varroa destructor* en la cría de abejas africanizadas fue 5,06% \pm 2,47, lo cual es considerado bajo en consonancia con el tiempo que llevan las colonias de abejas africanizadas en contacto con el ácaro en ese país y sin

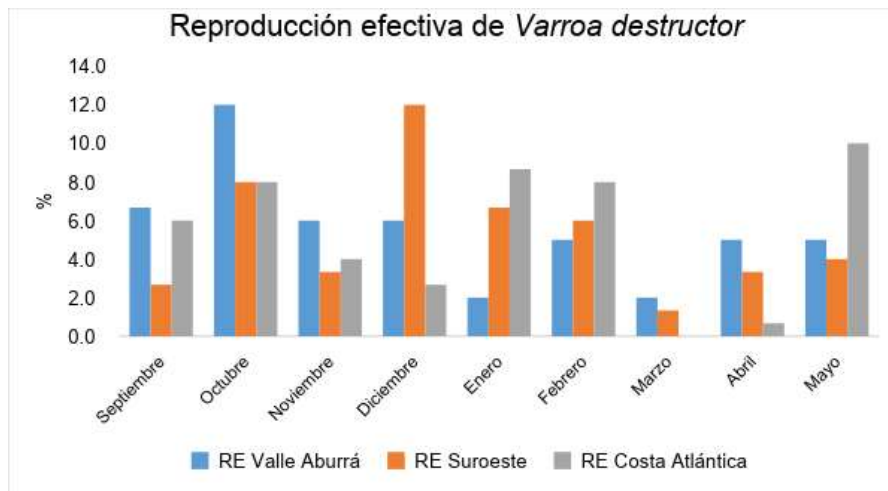
ser sometidas a ningún tratamiento de control para el ectoparásito, además en estos niveles de infestación no se reflejan efectos negativos sobre las poblaciones de abejas.

Igualmente, hay concordancia con lo hallado por Carneiro et al. (2014), en abejas africanizadas en la región central del sur de Brasil, donde se obtuvo una tasa de infestación de *Varroa destructor* en cría del 4,11% y se mantuvo la población de ácaros adultos menor del 5% en colonias que no fueron tratadas químicamente para el manejo de las poblaciones del ácaro.

4.3 Reproducción efectiva de *Varroa destructor*

Al relacionar la cantidad de celdas con presencia de estados inmaduros de *Varroa destructor* con el total de celdas con cría de abejas revisadas para cada colonia, se obtuvo un valor promedio durante el muestreo de 5,3% en la reproducción efectiva del ácaro. Encontrando que para las colonias del Valle de Aburrá el porcentaje de reproducción efectiva del ácaro fue del 5,52%, para las colonias con procedencia del Suroeste de 5,26% y para las colonias de la Costa Atlántica del 5,33% (Figura 4-3).

Figura 4-3: Porcentaje de Reproducción efectiva (%) de *Varroa destructor* en colonias del Centro Apícola procedentes del Valle de Aburrá, Suroeste, Costa Atlántica.



Las colonias procedentes del Valle de Aburrá presentaron en el mes de octubre el nivel más alto en la reproducción efectiva (12%), las colonias del Suroeste en el mes de diciembre (12%) y las colonias de la Costa Atlántica en el mes de mayo (10%). Mientras que las colonias procedentes de los tres sitios presentaron niveles bajos en la reproducción

efectiva del ácaro en el mes de marzo, las colonias del Valle de Aburrá con 2%, las colonias del Suroeste con 1,33% y las colonias de la Costa Atlántica con 0%.

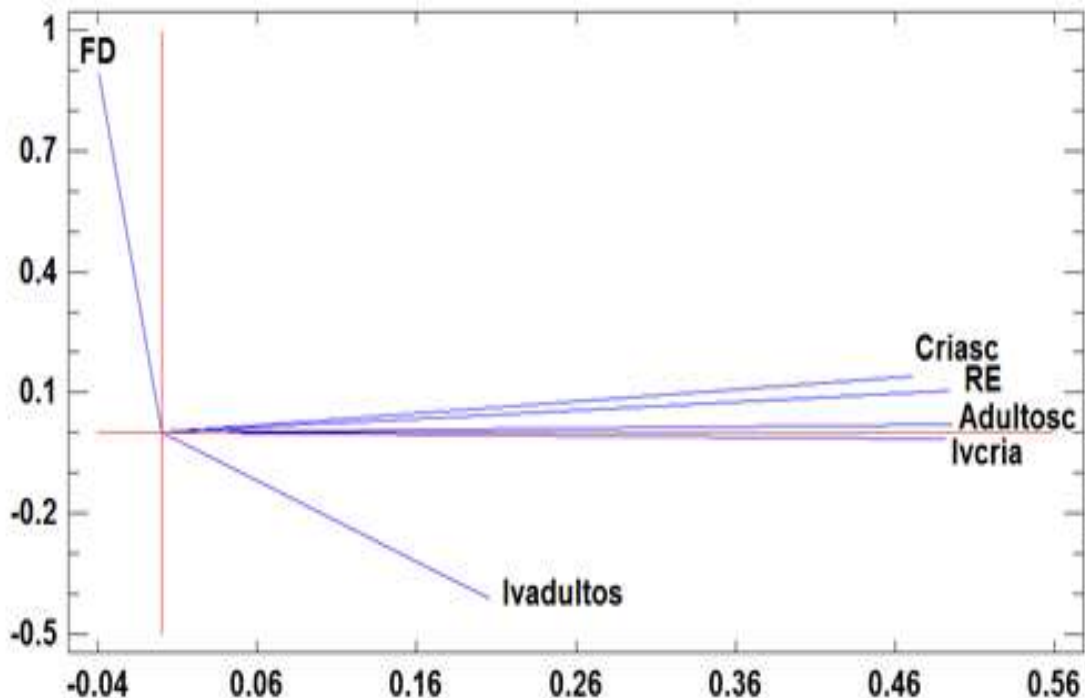
Se encontró un promedio de 5,2% para la reproducción efectiva de *Varroa destructor* en las colonias evaluadas, alcanzando un máximo de 8% y un mínimo de 1%. Estos resultados coinciden con lo planteado por Corrêa-Marques, Medina, Martin & De Jong (2003), quienes sugieren que lugares del mundo como América tropical donde el *Varroa destructor* no es un problema, la cantidad de ácaros adultos que pueden ser fértiles es menor en comparación con Europa y Norteamérica, donde la capacidad de reproducción del ácaro es alta y puede llegar a causar la pérdida de las colonias si no son tratadas. De igual forma, Rosenkranz & Engels (1994), en su estudio sobre infertilidad de hembras de *Varroa destructor* en cría de abejas, confirman que en las crías de abejas africanizadas las hembras de *Varroa destructor* son menos fértiles (infertilidad 43,2%) que en las crías de abejas europeas (infertilidad 21%).

Asimismo, Villa, Danka & Harris (2016), en su estudio, encuentran que al analizar la fecundidad del ácaro (número de estados inmaduros del ácaro por hembra adulta) durante diferentes generaciones, fue baja moviéndose en un rango entre 2,7 y 3,3. Por lo tanto, sugieren que en la selección de abejas que logren desarrollar un mecanismo de defensa contra la reproducción de *Varroa destructor* se requiere considerar diversas variables que tienen efectos por sí solas o que pueden interactuar entre ellas. Entre estas variables se pueden considerar la adaptación de los ácaros al huésped, la pérdida de alelos de resistencia del ácaro y los efectos ambientales que influyen las poblaciones del ácaro en la colonia.

Por otro lado, Corrêa-Marques, Medina, Martin & De Jong (2003) encontraron que la capacidad reproductiva del ácaro, en abejas africanizadas de Brasil y México fue similar, mientras que para las abejas europeas en Inglaterra fue mayor, sin embargo, reportan que las abejas africanizadas tuvieron una tasa más alta de reproducción efectiva que las abejas de origen europeo (3,66), aunque presentan similitud con las encontradas en Brasil (3,15). De ahí la importancia al considerar, que factores como el comportamiento higiénico de las colonias pueden sesgar los resultados y se hace necesario conocer la importancia de estos y otros elementos para determinar de manera más precisa el crecimiento de las poblaciones de *Varroa destructor*.

Igualmente, se analizó la relación entre los niveles de infestación del ácaro en adultos y los niveles de infestación en cría, obteniendo una relación positiva moderada de las variables ($r=0.2658$), con una correlación estadísticamente significativa ($P_valor=0.0368$), es decir, la correlación es diferente de cero. Al confrontar la tasa de reproducción efectiva del ácaro y los niveles de infestación de éste en cría, se observa una correlación positiva ($r=0.7992$) estadísticamente significativa ($P_valor < 0.001$), constatando que a mayor presencia de adultos mayor será la infestación del ácaro en la cría de las abejas. De igual forma, se encuentra relación entre la cantidad de crías y adultos de *Varroa destructor* encontrados en las celdas, con la reproducción efectiva del ácaro, corroborando la capacidad de reproducción que posee *Varroa destructor* en las colonias evaluadas (Figura 4-4).

Figura 4-4: Análisis de componentes principales: el Factor discriminante (FD), cantidad de crías de *Varroa destructor* por celda (Criasc), Reproducción efectiva (RE), cantidad de adultos de *Varroa destructor* por celda (Adultosc), infestación de *Varroa destructor* en cría (Ivcria) e infestación de *Varroa destructor* en adultos (Ivadultos).



Nota: líneas interpuestas indican correlación entre las variables.

4.4 Análisis de características morfológicas de *Apis mellifera scutellata* híbrido

El valor promedio del factor discriminante, obtenido por morfometría para los tres lugares de procedencia durante el tiempo evaluado, estuvo por debajo de -2,7054, lo cual indica que las abejas del Centro Apícola no expresaron durante este periodo características morfológicas de las abejas Europeas (Figura 4-5). Estos resultados son contrarios a lo reportado por Mantilla en 1995, el cual halló en este apiario, para las colonias procedentes del Valle de Aburrá que un 20% de sus generaciones correspondieron a abejas africanizadas y un 80% a abejas de origen europeo, para las colonias procedentes de la Costa Atlántica el 13% de las generaciones fueron africanizadas y el 87% europeas y para las colonias procedentes del Suroeste de Antioquia el 20% de sus generaciones fueron africanizadas y el 80% europeas (Tabla 4-1). Sin embargo, se encontró relación con lo reportado por Tibatá, 2016, donde el 98,7% de las muestras evaluadas en seis departamentos de Colombia, donde se incluye al departamento de Antioquia presentan mitotipo africanizado y el 1,3% mitotipo europeo.

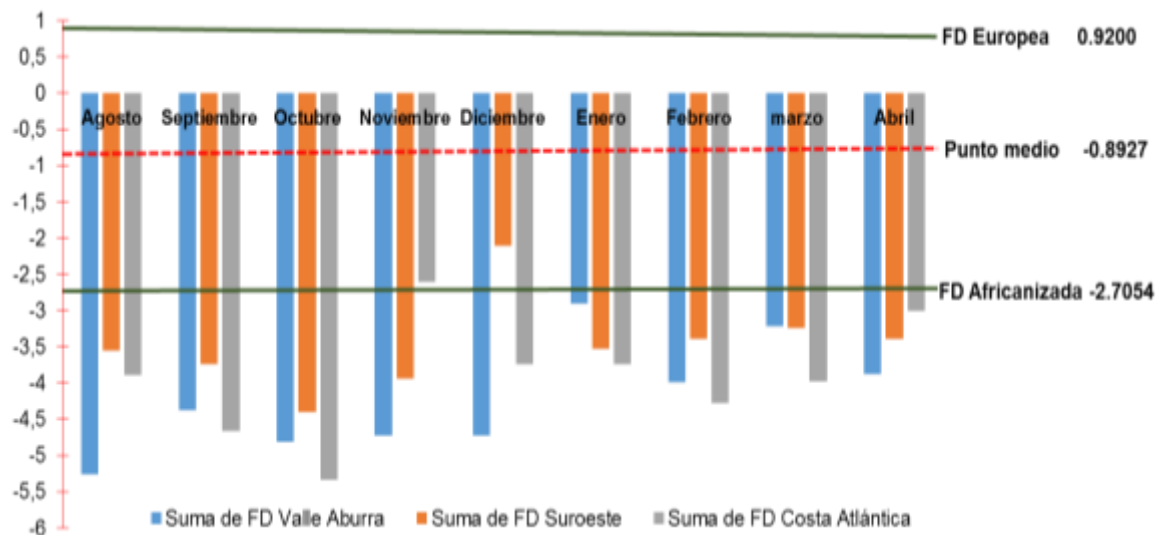
Tabla 4-1: Resultados de análisis morfométrico (Factor discriminante) en colmenas del Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en el año 1991 y en entre 2016-2017.

Procedencia	Factor Discriminante (FD)		
	1991		2016-2017
	Europea	Africanizada	Africanizada
Valle de Aburrá	-0,04	-1,73	-4,11
Costa Atlántica	0,47	-1,78	-3,92
Suroeste de Antioquia	0,06	-1,89	-3,48

Las colonias procedentes del Valle de Aburrá presentaron un factor discriminante promedio de -4,2089, las del Suroeste de -3,4767 y las de la Costa Atlántica de -3,9155. Sin embargo, algunas colonias presentaron valores mayores a -2,7054, como es el caso de

las colonias 41 (procedente de la Costa Atlántica), 31 y 37 (procedentes del Suroeste) que en el mes de diciembre registraron valores de -2,5772, -1,9021 y -1,3409, respectivamente, además la colonia 45 (procedente de la Costa Atlántica) durante el mes de agosto alcanzó un factor discriminante de -2,6503, en noviembre de -1,4677 y en abril del 2017 de -2,2106; de igual forma la colonia 23 (procedente del Valle de Aburrá) obtuvo en el mes de marzo un factor discriminante de -2,5738. Mientras que la colonia 22 (procedentes del Valle de Aburrá) en el mes de agosto obtuvo el valor menor para el factor discriminante (-6,0728) durante el tiempo de estudio.

Figura 4-5: Factor discriminante obtenido por morfometría de *Apis mellifera scutellata* híbrido en las colonias del Centro Apícola (Valle de Aburrá, Suroeste y Costa Atlántica).



De acuerdo con el análisis morfométrico realizado se encontró para todas las colonias un Factor Discriminante (FD) menor de -2,7054, lo cual indica que en cada generación de abejas obreras predominaron las características morfológicas de abejas africanas. Se obtuvo un valor promedio de -3,7856 para el FD en las colonias, con una lectura máxima de -2,9157 y mínima de -4,7833. Además, se encontró que el factor discriminante calculado en base a la morfometría no tiene relación con los niveles de infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y con la reproducción efectiva del ácaro ($r=-0,2686$, $r=-0,5173$ y $r=-0,4239$) y su correlación no es estadísticamente significativa, con $p=0,4847$ y $p=0,1892$ y $p=0,2953$, respectivamente (Figura 4-4). Es decir, las características morfológicas de las abejas africanizadas no tienen efecto sobre la infestación de sus colonias por *Varroa destructor*.

Estos hallazgos se sustentan dentro del proceso de hibridación de *Apis mellifera* en el trópico, como lo plantea Taylor en el 2009, quien asevera que dicho suceso permite que las poblaciones de abejas africanizadas se tornen con el tiempo más africanas y predominen sus rasgos genéticos en las colonias. Adicionalmente, el proceso de adaptación a las condiciones ambientales del trópico de las abejas africanizadas ha sido superior a las europeas llegando a desplazarlas, principalmente por la competencia por recursos (De Jong, Soares & de Mattos, 2016; Sanford, 2006).

Por otra parte, Rinderer, Oldroyd y Sheppard (1994) estudiaron la morfología y la composición del ADN mitocondrial en colonias silvestres de Argentina, colectadas entre el norte y el sur del país, encontrando en el ADN mitocondrial hallazgos de la hibridación, además encontraron rasgos físicos intermedios entre los predominantes para las abejas europeas y las africanas; en cuanto a los análisis morfométricos hallaron colonias con morfología africana y ADN mitocondrial europeo o ADN mitocondrial y morfología europea. De igual forma, lo muestra Uribe, Novoa, Hunt, Correa, & Zozaya en el 2003, al analizar 416 colonias de abejas comerciales en una región del altiplano mexicano con pruebas morfométricas y moleculares que permitieron conocer la presencia del mitotipo africano y el europeo, obteniendo que el 13,7% corresponden al mitotipo africano y el 70,91% al europeo, en conclusión, ambos tipos de pruebas permitieron verificar la introgresión de genes africanos en las colonias de abejas en México.

En consonancia con lo anterior, Salamanca (2009) muestra en sus estudios con análisis de ADNm en abejas de diferentes regiones de Colombia como los procesos de hibridación, introgresión y expansión de las abejas africanizadas continúan. Encontró para Colombia 3 linajes de *Apis mellifera*: A, M y C, donde A representa subespecies africanas, M razas de Europa occidental y C abejas de Europa del este, donde el 90.5% corresponden al haplotipo A, el 7,6% al Haplotipo M y el 1,9% al Haplotipo C. En la zona Noroccidente (Antioquia) el haplotipo A1 representa el 80% de la población estudiada y el haplotipo A4 el 20%, evidenciando que el proceso de africanización se mantiene activo en esta región (Salamanca, 2009). Sin embargo, Tibatá (2016), encontró en seis departamentos de Colombia 17 haplotipos de abejas africanizadas y 2 haplotipos de abejas europeas.

De acuerdo con esto y, con los resultados obtenidos en las colonias evaluadas del Centro Apícola, se encontró que predomina la expresión de características morfológicas de las abejas africanizadas, las cuales se han establecido de manera exitosa en las condiciones

ambientales y la oferta de recursos del Valle de Aburrá, sosteniendo unos niveles de infestación de *Varroa destructor* que no afectan el desarrollo de las colonias.

Además, es importante anotar que es conveniente integrar los diversos métodos que permiten analizar el proceso de hibridación de *Apis mellifera* en el trópico, ampliando dichos hallazgos con el uso de herramientas como el ADN mitocondrial y análisis de microsatelites nucleares. Asimismo, es importante resaltar que el proceso de africanización de *Apis mellifera scutellata* hib. es dinámico, es decir, el ingreso y salida de enjambres del territorio colombiano es continuo, facilitando el intercambio de genes entre las abejas que se establecen en las zonas de influencia de las abejas africanizadas en el continente americano.

Como se mencionó anteriormente no se encontró relación entre las características morfológicas de las abejas africanizadas y la infestación de *Varroa destructor*, encontrando relación con lo reportado por Moretto & Leonidas (2001), en sus estudios con abejas africanizadas en el sur de Brasil, donde el nivel de infestación del ácaro se conservó bajo, alrededor de 2 ácaros por cada 100 abejas durante 5 años de monitoreo, información similar a lo hallado en otras regiones de Brasil. De la misma forma, Carneiro et al. (2014), encontraron que el ácaro *Varroa destructor* causa poco daño en las colonias de abejas africanizadas del estado de Santa Catarina en Brasil y los niveles de infestación se conservan bajos y estables, con una infestación promedio de 4,11%. Corroborándose la hipótesis sobre la regulación de la infestación de *Varroa destructor* que realizan las abejas africanizadas en sus colonias mediante los mecanismos de defensa natural que estas han desarrollado, permitiendo en la apicultura de Brasil el no uso de acaricidas de síntesis químico (Sanford, 2006; Moretto & Leonidas, 2001; Carneiro et al., 2014).

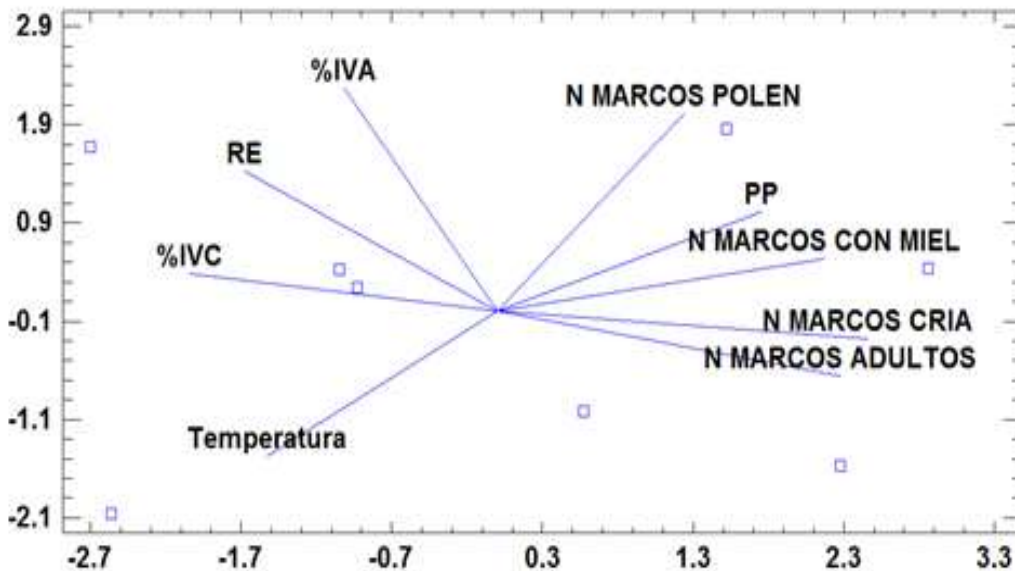
4.5 Recursos (polen y miel) de las colonias de *Apis mellifera scutellata* hib. y su relación con la infestación por *Varroa destructor*

Las condiciones internas de las colonias monitoreadas en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (cría, adultos, polen y néctar) presentaron de manera generalizada un promedio de 7,5 marcos con cría, 10 marcos con adultos, 6,5 marcos con polen y 11,6 marcos con miel (Tabla 4-2). La temperatura

considerada como una condición externa a la colonia oscilo entre 21°C y 24°C y la precipitación acumulada durante el tiempo del estudio fue de 1412 mm.

De acuerdo con el manejo y los historiales de registros de estas colonias, se considera que conservaron los criterios de selección establecidos al inicio del estudio y que dichas condiciones son favorables para la estabilidad de las colonias. Sin embargo, se considera importante la relación existente entre las condiciones externas a las colonias (precipitación y temperatura) con los recursos (polen y miel) y la población de éstas (cría y adultos) (Gráfico 5). Aunque en esta investigación de acuerdo con el análisis de componentes principales no se encontró relación entre los recursos (polen y miel), la precipitación ($r=0,4875$ y $r=0,4772$) y su correlación no es estadísticamente significativa, con $p=0,1831$ y $p=0,1939$. De igual forma no hubo relación entre el polen y la miel con la temperatura ($r=-0,5241$ y $r=-0,4393$) y su correlación no es estadísticamente significativa, con $p=0,1475$ y $p=0,2368$ (Figura 4-6).

Figura 4-6: Análisis de componentes principales: Temperatura, Infestación de *Varroa destructor* en cría (%IVC), Reproducción efectiva (RE), Infestación de *Varroa destructor* en adultos (%IVA), N° de marcos con polen, precipitación (PP), N° de marcos con miel, N° de marcos con cría de abejas y N° de marcos con abejas adultas.



Nota: líneas interpuestas indican correlación entre las variables.

Sin embargo, la flora apícola de la cual se benefician las abejas en el Centro Apícola tiene una alta participación de *Eucalyptus saligna*, Myrtaceae, *Lamiaceae/Fraxinus* spp, Mimosa spp., Arecaceae, Bignoniaceae, *Cecropia* spp (Valencia L et al., 2014), las cuales son favorecidas por los niveles de precipitación en la zona, debido a que la cantidad y distribución de las lluvias y la temperatura fueron las necesarias para garantizar la floración de las plantas y de esta forma facilitar la obtención de recursos por parte de las abejas, lo que se traduce en una población fuerte, con suficientes crías y adultos por colonia (Tabla 4-2).

Tabla 4-2: Registro de población y recursos de las colonias monitoreadas en el Centro Apícola de la Universidad Nacional, sede Medellín.

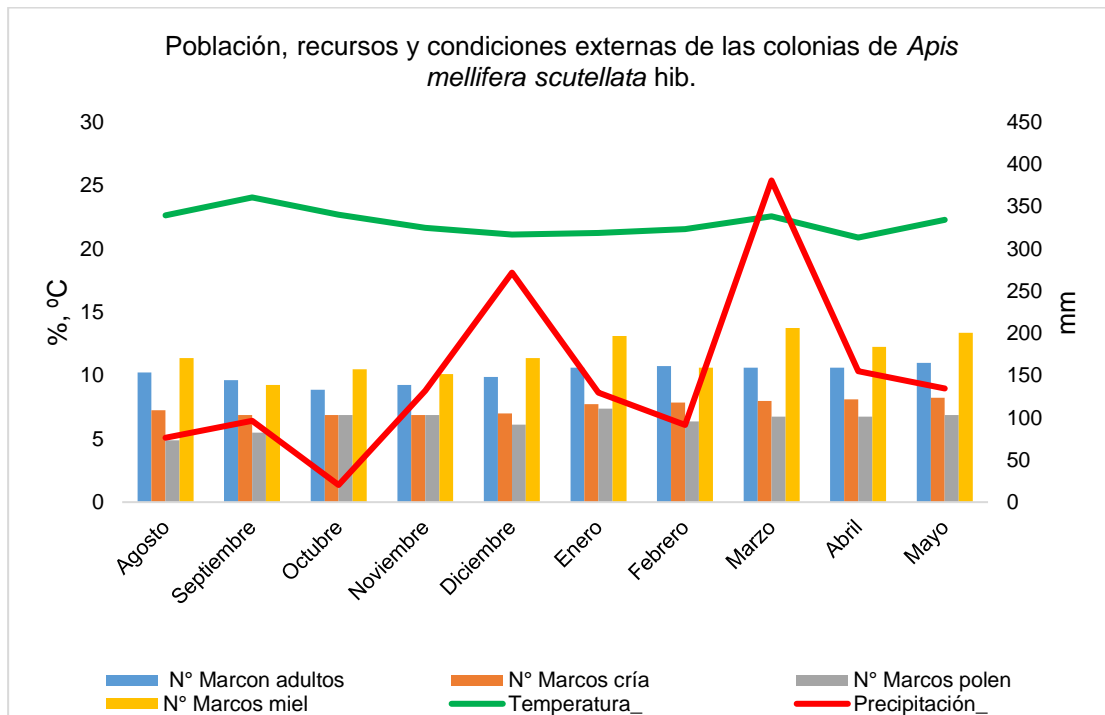
Muestreo	Marcos con adultos	Marcos con cría	Marcos con polen	Marcos con miel
Agosto	9,9	7,3	6,4	11,6
Septiembre	9,9	7,4	6,4	11,6
Octubre	10,0	7,4	6,5	11,5
Noviembre	10,0	7,5	6,5	11,6
Diciembre	10,0	7,5	6,5	11,6
Enero	10,1	7,5	6,5	11,7
Febrero	10,1	7,6	6,4	11,6
Marzo	10,1	7,6	6,4	11,5
Abril	10,1	7,5	6,5	11,4
Promedio	10,0	7,5	6,5	11,6

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se considera que las colonias del apiario del Centro Apícola mantuvieron durante el periodo del muestreo unos niveles estables en la población de abejas y los recursos independientemente de las condiciones ambientales que las influenciaron (Figura 4-7). A diferencia con lo hallado en México por Medina et al. (2014), quienes encontraron una relación inversa entre la temperatura y la producción de miel de las colonias de abejas africanizadas, al incrementar la temperatura la producción de miel se redujo, mientras que

la relación fue directa entre las lluvias y la producción de miel, es decir, cuando incrementaron las lluvias aumento la producción de miel. Por su parte, Harrison & Fewell (2002) encuentran que en temperaturas ambiente menores a 20-25°C, en climas templados, las abejas no logran regularse térmicamente, lo cual impide estabilizar más rápidamente su temperatura torácica, por lo tanto, hay más gasto energético y se hace más ineficiente su vuelo, afectado la búsqueda, recolección y transporte de néctar y polen a las colmenas. Castellanos et al, 2016, encuentra que el incremento global de la temperatura y los cambios en las frecuencias, duración y volumen de la precipitación en algunas regiones del trópico pueden llegar a limitar la actividad de pecoreo de néctar, polen y agua de *Apis mellifera* y por consiguiente la disminución en la postura en las colonias (Castellanos, 2016).

Figura 4-7: Población de las colonias monitoreadas (cría, adultos), recursos (polen, néctar) y las condiciones externas (precipitación y temperatura) en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.



Al relacionar los recursos de las colonias con la infestación de *Varroa destructor* no se encontró relación entre el polen y la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y la reproducción efectiva del ácaro ($r=0,2503$, $r=-0,3860$ y $r=-0,0124$) y su correlación no fue estadísticamente significativa ($p=0,5159$, $p=0,3450$ y $p=0,9767$), de igual forma cuando

se relacionó la miel con la infestación de *Varroa destructor* en las colonias ($r=-0,1459$, $r=-0,5298$ y $r=-0,4579$) y su correlación no fue estadísticamente significativa ($p=0,7080$, $p=0,1769$ y $p=0,2539$).

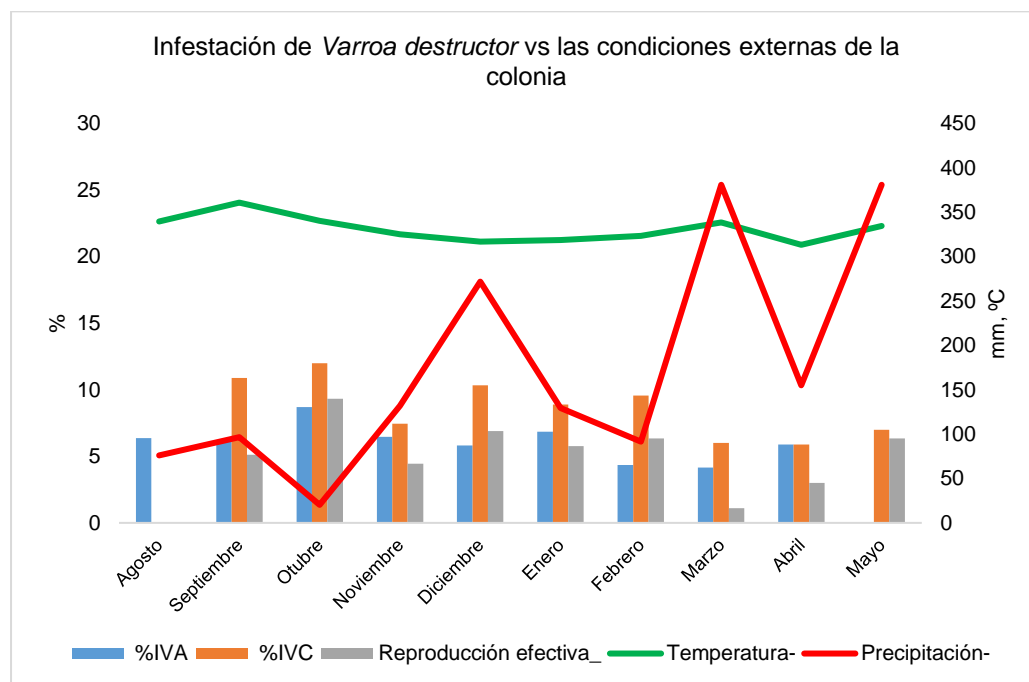
Durante esta investigación cada una de las colmenas presentó recursos adecuados en relación con la disponibilidad de polen y miel, sin embargo, con la información estadística obtenida no se halla evidencia suficiente para determinar que la cantidad de recursos inciden en la disminución de la infestación de *Varroa destructor*, en este sentido Dooremalen et al. (2013) reportan que la disponibilidad o no de polen en las colonias no puede compensar el daño energético que causa *Varroa destructor* en las abejas y no es un único factor que determine la presencia o no del ectoparásito. Por otra parte, en estudios con abejas en EE.UU. donde evaluaron el efecto de *Varroa destructor* sobre los índices nutricionales de las abejas en sus primeros días de vida encontraron que cuando suministraron polen a las abejas como fuente principal de proteínas no se obtuvo diferencias en la infestación de *Varroa destructor* con las abejas a las que el suministro fue nulo, sin embargo, el peso de las pupas de las colonias afectadas por el ácaro fue bajo, indicando que *Varroa destructor* puede afectar el estado nutricional de la colonia, debido a que el contenido de proteínas en las pupas disminuyó y el contenido de aminoácidos libres aumentó, generando consecuencias en el crecimiento de las abejas (Arostein et al., 2012). Asimismo, Alaux et al. (2011) encontraron en abejas infestadas con *Varroa destructor* alimentadas con polen menos prevalencia de agentes patógenos en sus colonias.

La disponibilidad de recursos en las colonias favorece su reproducción y sanidad, permitiendo un adecuado crecimiento de las abejas y un óptimo servicio de polinización en los ecosistemas. Sin embargo, la presencia de agentes patógenos como *Varroa destructor* compromete la sanidad y nutrición de las colonias. Como lo reportó De Grandi-Hoffman & Chen, 2015, quienes establecen en su estudio sobre nutrición, inmunidad e infecciones virales de las abejas melíferas, que la nutrición y la inmunidad de la colonia se ven comprometidas cuando ésta presenta infestaciones de *Varroa destructor*.

4.6 Infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y la reproducción efectiva y su relación con las condiciones externas de las colonias (precipitación y temperatura)

La infestación de *Varroa destructor* en adultos en las colonias del Valle de Aburrá presentó dos situaciones, en las cuales al disminuir la precipitación (agosto, septiembre, octubre, enero y febrero) se evidenció un incremento en la infestación del ácaro, mientras que al aumentar la precipitación (noviembre, diciembre y marzo) disminuyó la infestación del ácaro. Por el contrario, la temperatura durante el tiempo de estudio fue muy estable con un valor medio de 22°C y no se observó efecto sobre la infestación de *Varroa destructor* (Figura 4-8).

Figura 4-8: . Infestación de *Varroa destructor* y las condiciones externas (precipitación y temperatura) de las colonias de *Apis mellifera scutellata* hib.



De acuerdo con el análisis de componentes principales no se encontró relación entre la precipitación y la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y con la reproducción efectiva del ácaro ($r=0,0447$, $r=-0,3317$ y $r=-0,1476$) y su correlación no es estadísticamente significativa, con $p=0,9091$, $p=0,4222$ y $p=0,7273$. De igual forma no hubo relación entre la temperatura y la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría

y con la reproducción efectiva del ácaro con la temperatura ($r=0,-0,0616$, $r=0,3865$ y $r=-0,0107$) y su correlación no es estadísticamente significativa, con $p=0,8750$, $p=0,3442$ y $p=0,9800$ (Figura 4-9). Es decir, las condiciones externas como precipitación y temperatura no presentaron efecto sobre la infestación de *Varroa destructor* en las colonias de *Apis mellifera scutellata* hib.

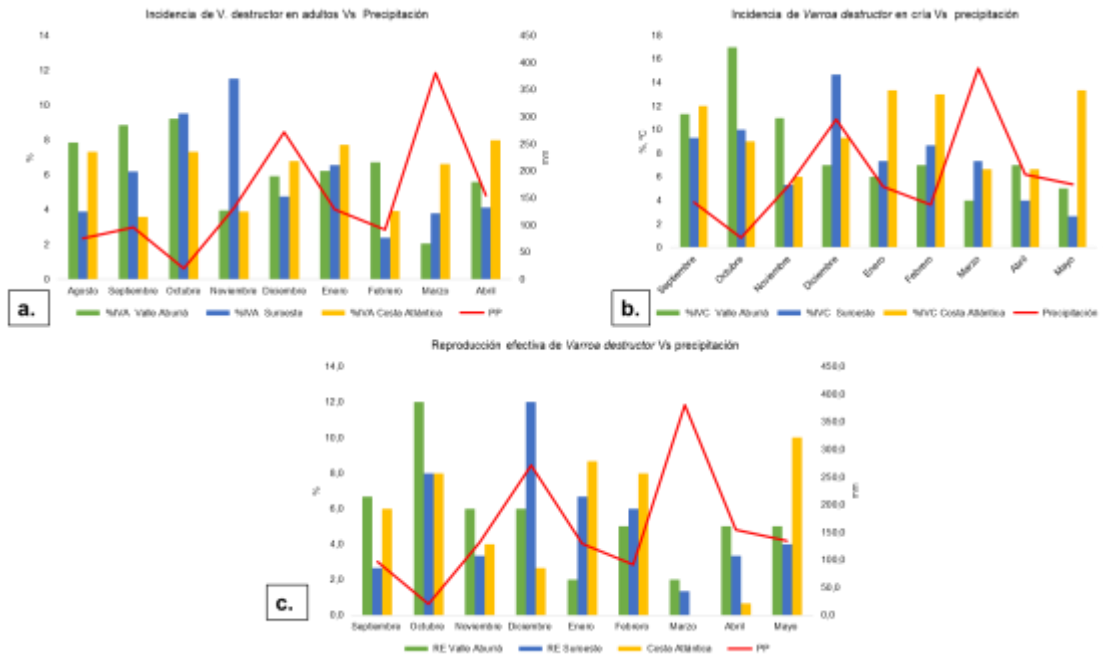
De igual forma, las colonias procedentes del Suroeste incrementaron los niveles de *Varroa destructor* cuando las precipitaciones fueron bajas (agosto, septiembre, octubre, noviembre) y los disminuyeron cuando éstas aumentaron (diciembre, marzo), sin embargo, durante los meses de enero y febrero cuando la precipitación fue baja la infestación del ácaro no presentó un comportamiento similar al anterior, sino que aumentó y disminuyó de un mes a otro. Por el contrario, en las colonias procedentes de la Costa Atlántica cuando se presentaron los valores máximos en la precipitación (diciembre y marzo) la infestación de *Varroa destructor* incrementó y cuando los niveles fueron bajos (octubre y febrero) la infestación del ácaro disminuyó; presentando esta procedencia un comportamiento poco afín a las demás colonias evaluadas (Figura 4-6).

En algunas de las colonias, cuando la precipitación incrementó (diciembre, marzo) la infestación de *Varroa destructor* en cría disminuyó, con excepción de las colonias procedentes del Suroeste que en diciembre aumentaron la infestación del ácaro. Por otra parte, se observó un incremento en la infestación del ácaro en la cría de las abejas de las colonias evaluadas cuando la precipitación disminuyó (octubre, febrero y mayo). Sin embargo, en el mes de mayo en las colonias procedentes del Valle de Aburrá y el Suroeste se evidenció una disminución en la infestación de *Varroa destructor* en la cría (Figura 4-9).

El comportamiento de la reproducción efectiva del ácaro *Varroa destructor* durante el estudio mostró en algunas colonias que al disminuir la precipitación (octubre, febrero y mayo) se incrementó la reproducción efectiva del ácaro, con excepción de las colonias del Suroeste en el mes de febrero que disminuyó. Por otro lado, al incrementarse la precipitación el ácaro disminuyó su reproducción en las colonias, aunque este comportamiento para las colonias procedentes del Suroeste fue diferente, es decir, cuando la precipitación aumentó (diciembre) la reproducción efectiva del ácaro aumentó; por otra parte en las colonias procedentes de la Costa Atlántica en uno de los meses con mayor precipitación (marzo) no se registró reproducción efectiva del ácaro y en el siguiente mes ésta fue de las más bajas durante el muestreo (Figura 4-9).

Las condiciones ambientales precipitación y temperatura relacionadas con la infestación de *Varroa destructor* durante el tiempo en el cual se realizó esta investigación no presentaron influencia sobre los niveles del ácaro y las colonias tuvieron un normal desarrollo y comportamiento. Se encontró diferencia con lo reportado por Salamanca et al 2012, quienes en su estudio sobre incidencia forética de *Varroa destructor* en colonias de abejas africanizadas en diferentes regiones de Colombia encontraron que los niveles de infestación mayores se obtuvieron en ambientes más fríos, con mayor precipitación y menores temperaturas. Asimismo, De Jong (1984), encontró en colonias de abejas africanizadas en Brasil infestaciones menos severas de *Varroa destructor* en regiones más frías que en regiones cálidas, y abren la posibilidad a la hipótesis sobre la existencia de adaptaciones que han desarrollado las abejas africanizadas para adoptar cierta resistencia a *Varroa destructor*, teniendo presente que la abeja africanizada se ha extendido por casi todo el territorio brasilero.

Figura 4-9: a. Infestación de *Varroa destructor* en adultos en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación. b. Infestación de *Varroa destructor* en cría en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación. c. Reproducción efectiva de *Varroa destructor* en las colonias del Centro Apícola vs la precipitación.



Por otro lado, investigaciones realizadas en regiones templadas como las hechas por Giacobino et al. (2017), quienes encuentran para diferentes regiones de Argentina donde

las condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación son más extremas en comparación con las regiones del trópico, una relación entre la oferta ambiental y la infestación por *Varroa destructor* en sus colonias, sin embargo, también resaltan las repercusiones que tienen las condiciones naturales de las regiones estudiadas (oferta de flora apícola) y las prácticas de manejo de las colmenas como factores que intervienen en las infestaciones del ácaro.

Bajo otro entorno y contexto, Harris et al. (2003) encuentran en colonias de abejas en Luisiana EE.UU. niveles bajos de infestación del ácaro cuando se presentaron periodos donde se incrementaron las lluvias y las tasas menores de infestación del ácaro durante tres años consecutivos de sequía en la región. Adicionalmente, encontraron correlación entre la humedad relativa y la infestación de *Varroa destructor* en las colonias y observan la necesidad de evaluar el impacto que generan las condiciones ambientales internas en las colonias, debido a que las abejas regulan estas variables en su interior.

Sin embargo, en este estudio el tiempo de monitoreo de las condiciones ambientales solo reflejan 9 meses comprendidos entre el tercer trimestre del año 2016 y el segundo trimestre del año 2017, épocas donde históricamente se han presentado eventos con mayor y menor precipitación, dentro del comportamiento bimodal anual de las lluvias en el Valle de Aburrá, con una temperatura muy estable en promedio de 22 °C. Bajo las anteriores condiciones climáticas y considerando que no se presentó correlación entre la temperatura, la precipitación la infestación de *Varroa destructor*, se sugiere ampliar los tiempos de monitoreo, de tal forma que se pueda concluir con mayor veracidad sobre la relación existente entre las condiciones ambientales y la infestación de *Varroa destructor* en el tiempo.

4.7 Mecanismos de densa natural desarrollados por *Apis mellifera scutellata* hib. contra *Varroa destructor*

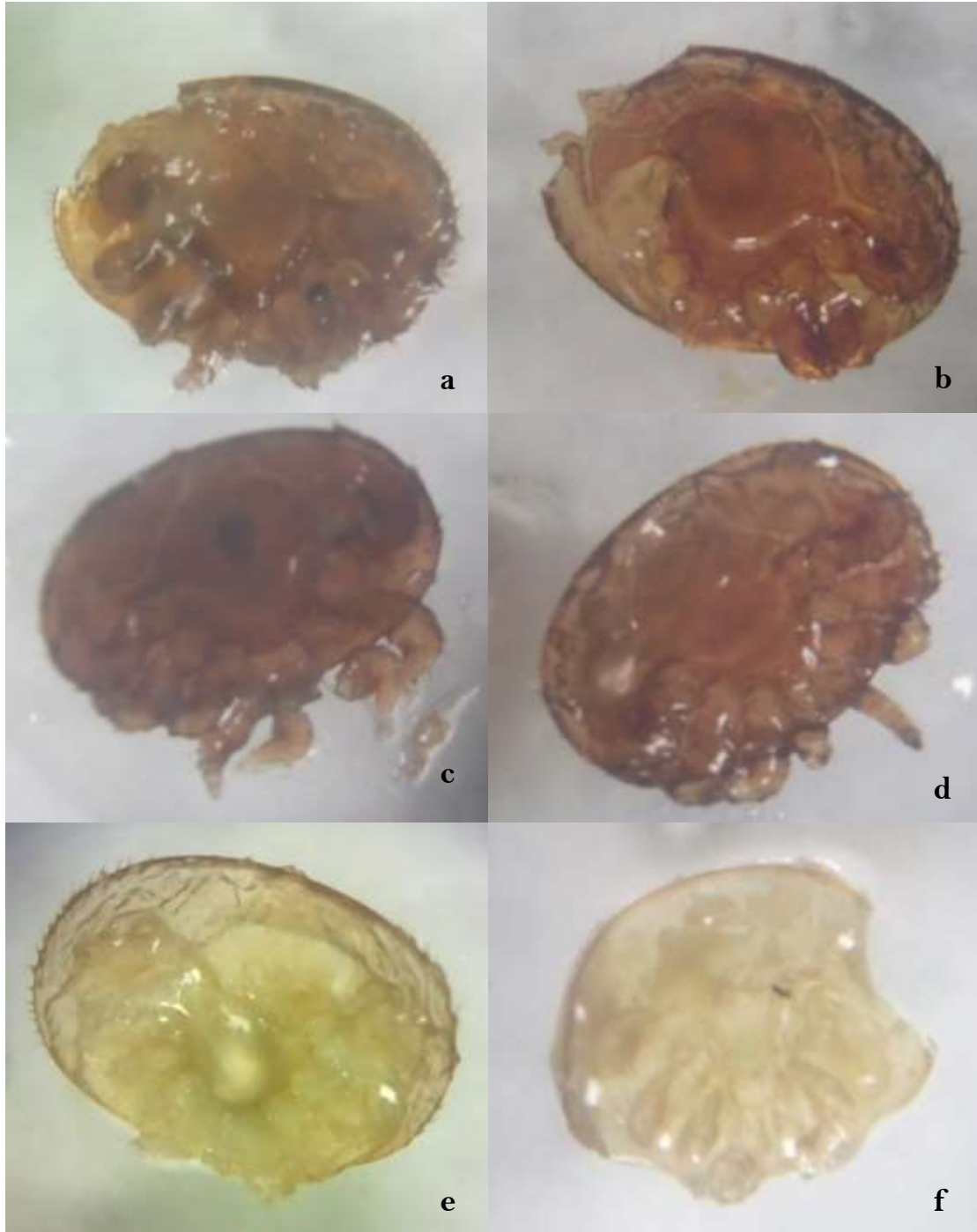
En total se colectaron 232 ácaros, de los cuales el 77,2% corresponden a ácaros adultos y el 22,8% a estados inmaduros (ninfas). Además, se halló que el 19,4% presentó lesiones y el 80,65% de los ácaros no evidenciaba daños. Encontrando relación con lo hallado por Araneda, Bernales, Solano, & Mansilla (2010), quienes reportaron en su estudio que el 49% de las *Varroa destructor* colectadas presentaron daños, mientras que el 51% de los ácaros no tenían lesiones.

De los ácaros adultos colectados en las trampas de piso el 96,6% fueron hembras y el 3,4% machos. De los cuales el 11% de las hembras presentaron lesiones y el 16,6% de los machos tenían daños. La presencia de machos en las trampas de caída para ácaros es otra muestra que permite evidenciar el comportamiento de desoperculado de celdas que realizan las abejas ante la presencia de *Varroa destructor* en sus crías, puesto que la fase reproductiva del ácaro se da en las celdas de cría de las abejas, donde después de 60 horas la hembra del ácaro pone el primer huevo que usualmente suele ser no fecundado (macho) y continúa con posturas de hembras cada 30 horas, asimismo la hembra adulta es la única que posee la capacidad para vivir fuera de las celdas de crías y el macho tiene una función exclusivamente reproductiva (Rosenkranz, Aumeier, & Ziegelmann, 2009).

La lesión que se presentó con mayor frecuencia en adultos y ninfas fue la amputación de las patas, en los ácaros adultos con un 84,2% y en las ninfas con un 78,3%. Otras lesiones fueron cuerpo con mordida en un 9,6%, *Varroa destructor* secas con 18,3% y ácaros con mordida en cuerpo y amputación de patas el 9,6%. Similar a lo reportado por Araneda et al en el 2010, quienes encontraron que el daño en las extremidades fue de 37,1% mientras que los daños dorsales fueron del 11,2%, considerando este tipo de lesiones debidas al comportamiento de grooming de las abejas (Figura 4-10).

Por otra parte, Guzmán-Novoa, et al. (2012) encontraron diferencias significativas entre el número de ácaros caídos por efecto del grooming y los genotipos evaluados, siendo las abejas africanizadas entre otras, las que eliminaron más ácaros de sus cuerpos en comparación con las abejas europeas; teniendo las abejas africanizadas 7,8 veces más probabilidad de eliminar los ácaros que las abejas europeas. De igual forma, la posibilidad de encontrar ácaros sin lesiones también es insumo para corroborar el comportamiento de grooming, pues las abejas despojan de su cuerpo el ácaro, ya sea porque lo hacen con sus patas o mediante movimientos rápidos de sus cuerpos sin ocasionar daños al ectoparásito.

Figura 4-10: Lesiones causadas por las abejas en *Varroa destructor* (a, b) *Varroa destructor* adultas mordidas. (c, d) *Varroa destructor* adultas con patas amputadas. (e) *Varroa destructor* adulta disecada. (f) ninfa mordida.

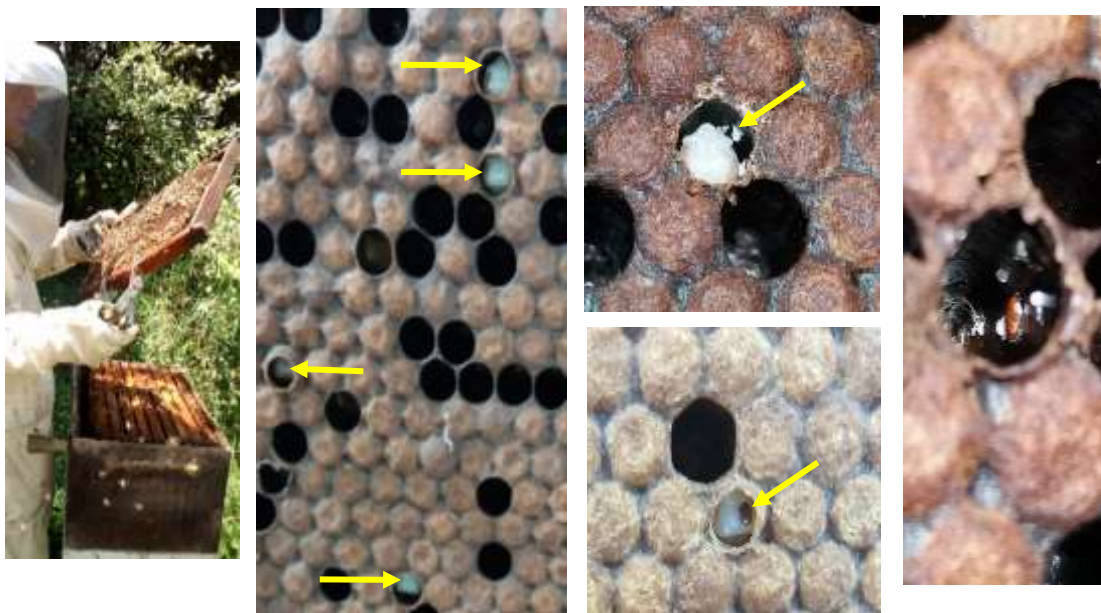


Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, Bak y Wilde en el 2015, compararon el comportamiento de grooming de diferentes especies de *Apis mellifera* y obtuvieron que todas las subespecies mostraron evidencias de este mecanismo cuando eran parasitadas por *Varroa destructor*, especialmente la subespecie que tuvo mayor respuesta ante la presencia de los ácaros fue *Apis mellifera mellifera*, debido a que el 98% de las abejas obreras intentaron remover el ácaro de sus cuerpos; mientras que *Apis mellifera caucasica* fue quien eliminó el mayor número de ácaros de su cuerpo (11%).

Se encontraron en total 45 celdas desoperculadas de las cuales el 26% tenían presencia de *Varroa destructor* y en el 74% de éstas no se observaron individuos del ácaro. En similitud con lo hallado por Vieira, Gonçalves, & De Jong, (2000), los cuales reportan que las abejas africanizadas fueron significativamente más eficientes en la remoción de cría infestada por *Varroa destructor*, retirando en promedio un 51% de la cría con presencia del ácaro, mientras que las abejas italianas removieron un 25% de la cría infestada (Figura 4-11).

Figura 4-11: Celdas desoperculadas para la observación de mecanismos de defensa natural de las abejas ante la presencia de *Varroa destructor*.



Fuente: Elaboración propia.

Después de evidenciar que las condiciones ambientales, la predominancia o no de genes africanos y las condiciones internas de la colonia no explicaron la estabilidad de la infestación de *Varroa destructor* en las colonias de abejas africanizadas durante el tiempo monitoreado, se podría considerar que las abejas africanizadas del Centro apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín han desarrollado mecanismos de defensa natural que les permiten regular las poblaciones de *Varroa destructor* en sus colonias.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- ✓ Las condiciones internas y externas a las colonias de *Apis mellifera scutellata* hib. del Centro Apícola no presentaron correlación con la infestación de *Varroa destructor* en adultos, en cría y con la reproducción efectiva del ácaro.
- ✓ Las abejas del Centro apícola posiblemente regulan las poblaciones de *Varroa destructor* en sus colonias mediante los mecanismos de defensa natural como el grooming y la desoperculación de celdas con presencia del ácaro.
- ✓ Las abejas africanizadas del Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, conservaron unos niveles relativamente constantes de *Varroa destructor*, durante el tiempo de muestreo.
- ✓ Se encontró una relación entre los niveles de infestación del ácaro en adultos y los niveles de infestación en cría, constatando que a mayor presencia de adultos mayor será la infestación del ácaro en la cría de las abejas.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Con el propósito de brindar un panorama más claro sobre el comportamiento del ácaro en el tiempo y su posible relación con las condiciones ambientales, es necesario realizar muestreos en años sucesivos.

- ✓ Profundizar en el estudio de los mecanismos de defensa natural que han desarrollado las abejas para regular la presencia de *Varroa destructor* en sus colonias, mediante la estructuración de un trabajo de investigación focalizado en éste tema.

- ✓ Favorecer el uso de prácticas culturales dentro del manejo de los apiarios, con el fin de inducir en las colonias los mecanismos de defensa natural desarrollados por las abejas para el manejo de *Varroa destructor*.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Alaux, C., Dantec, C., Parrinello, H., & Le Conte, Y. (2011). Nutrigenomics in honey bees: digital gene expression analysis of pollen's nutritive effects on healthy and varroa-parasitized bees. *BMC genomics*, 12:496.
- Alberti, G., & Hänel, H. (1986). Fine structure of the genital system in the bee parasite, *Varroa destructor jacobsoni* (Gamasida: Demanyssina) with remarks on spermiogenesis, spermatozoa and capacitation. *Experimental & Applied Acarology*, 2, 63–64.
- Amdam, G.V., Hartfelder, K., Norberg, K., Hagen, A. and Omholt S.W. (2004). Altered physiology in worker honey bees (Hymenoptera: Apidae) Infested with the Mite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae): A factor in colony loss during overwintering?. *Journal of Economic Entomology*, 97(3), 741-747
- Anderson y Trueman. (2000). *Varroa destructor jacobsonii* is more than one species. *Experimental and Applied Acarology*, 24, 165–189.
- Araneda, X. ., Bernales, M. ., Solano, J., & Mansilla, K. (2010). Comportamiento de acicalamiento de abejas (Hymenoptera: Apidae) sobre *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 36(2), 232–234.
- Arostein, K., Saldivar, E., Vega, R., Westmiller, S., and Douglas, A. (2012). How Varroa Parasitism Affects the Immunological and Nutritional Status of the Honey Bee, *Apis mellifera*. *Insects*. 3, 601-615; <https://doi.org/10.3390/insects3030601>
- Bak, B., Wilde, J. (2015). Grooming behavior by worker bees of various subspecies of honey bees to remove *Varroa destructor destructor* mites. *Journal of Apicultural Research*, 54, 207-215.
- Calderón, R. A., van Veen, J. W., Sommeijer, M. J., & Sanchez, L. A. (2010). Reproductive biology of *Varroa destructor* in Africanized honey bees (*Apis mellifera*). *Experimental*

- & *Applied Acarology*, 50, 281–297. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9325-4>
- Camazine, S. (1986). Differential Reproduction of the Mite, *Varroa destructor jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae), on Africanized and European Honey Bees (Hymenoptera: Apidae). *Ann. Entomol. Soc. Am*, 79, 801–803.
- Carneiro, F. E., Barroso, G. V., Strapazzon, R., & Moretto, G. (2014). “Reproductive ability and level of infestation of the “*Varroa destructor destructor*“ mite in “*Apis mellifera*“ apiaries in Blumenau, State of Santa Catarina, Brazil “ - doi: 10.4025/actascibiolsci.v36i1.20366. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 36(1). Doi: 10.4025/actascibiolsci.v36i1.20366
- Carpes, S.T., Barreto M. G., de Alencar, S.M. and Masson, M.L. (2009). Chemical composition and free radical scavenging activity of *Apis mellifera* bee pollen from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12(3), 220-229, doi: 10.4260/BJFT 2009800900016
- Castellanos, B., Gallardo, F., Sol, A., Landeros, C., Díaz, G., Sierra, P., Santibañez, J. (2016). Impacto potencial del cambio climático en la apicultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. Vol. 2 (1), 1-19.
- Contzen, C., Garedew, A., Lamprecht, I., & Schmolz, E. (2004). Calorimetric and biochemical investigations on the influence of the parasitic mite *Varroa destructor destructor* on the development of honeybee brood. *Thermochimica Acta*, 415(1–2), 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.06.006>
- Corrêa-Marques, M. H., Medina, L. M., Martin, S. J., & De Jong, D. (2003). Comparing data on the reproduction of *Varroa destructor destructor*. *Genetics and Molecular Research*, 2(1), 1–6.
- Crane, E. (2009). *Apis Species: (Honey Bees)*. *Encyclopedia of Insects* (Second Edi). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00009-6>
- Daly H.V. & Balling, S.S. (1978). Identification of Africanized honeybees in the Western Hemisphere by discriminant analysis. *J. Kansas Entomologic, Soc.* 51(4):857-869.
- DeGrandi-Hoffman G. and Chen, Y. (2015). Nutrition, immunity and viral infections in honey bees. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 1-210. Doi: 10.1016/j.cois.2015.05.007
- De Jong, D., De Andrea Roma, D., & Gonçalves, L. S. (1982). a Comparative Analysis of Shaking Solutions for the Detection of *Varroa destructor Jacobsoni* on Adult

- Honeybees (1). *Apidologie*, 13(3), 297–306. <https://doi.org/10.1051/apido:19820308>
- De Jong, D., Gonçalves, L. S., & Morse, R. A. (1984). Dependence on climate of the virulence of *Varroa destructor* Jacobsoni. *Bee World*, 65(3), 117–121. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1984.11098789>
- De Jong, D., Mantilla, C.C. (1986). *Varroa destructor jacobsoni*, informe sobre biología, diagnóstico y evaluación de infestaciones. FMRP-USP, Brasil. Mimeografiado, 8.
- De Jong, D., Soares, A. E. E., & de Mattos, I. M. (2016). Island population of European honey bees in Northeastern Brazil that have survived *Varroa destructor* infestations for over 30 years. *Apidologie*, 47(6), 818–827. Doi: 10.1007/s13592-016-0439-5
- Del Hoyo, M., Goncalves, L., Palacio, A & Bedascarrasbure. (2001). Influence of climate on *Varroa destructor* reproduction. Proc. 37th Int. Apic. Congr., 28 Oct – 1 Nov 2001, Durban, South Africa ISBN: 0-620-27768-8
- De Miranda, J. R., Scott Cornman, R., Evans, J. D., Semberg, E., Haddad, N., Neumann, P., & Gauthier, L. (2015). Genome characterization, prevalence and distribution of a macula-like virus from *Apis mellifera* and *Varroa destructor* destructor. *Viruses*, 7(7), 3586–3602. <https://doi.org/10.3390/v7072789>
- Dooremalen, C.van, Stam, E., Gerritsen, L., Cornelissen, B., Steen, J. van der., Langevelde, F., & Blacquièrre, T. (2013). Interactive effect of reduced pollen availability and *Varroa destructor* infestation limits growth and protein content of young honey bees. *Journal of Insect Physiology*, 59, 487–493.
- Ellis, A. & Delaplane, K.S. (2008). Effects of nest invaders on honey bee (*Apis mellifera*) pollination efficacy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127, 201–206.
- Faita, M., Matosso, R., Vieira Alves-Junior, V., & Chaud-Netto, J. (2014). Defensive behavior of africanized honeybees (Hymenoptera : Apidae) in Dourados-Mato Grosso do Sul , Brazil. *Revista Colombiana de Entomologia*, 40(2), 235–240.
- Francoy, T., Rodrigues, P., Goncalves, L., Costa, L., & De Jong, D. (2007). *Nosema ceranae* has infected *Apis mellifera* in Europe since at least 1998 and may be more virulent than *Nosema Apis*. *Apidologie*, 38(6), 558–565. <https://doi.org/10.1051/apido>
- García Fernández, P. (1997). Influence of the environment and the host on parasitization by *Varroa jacobsoni* Oud.The varroosis in the Mediterranean region. Zaragoza :

- CIHEAM, p. 33-47 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 21). Disponible en: <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=97605906>.
- Giacobino, A., Bulgacio, C., Merke, J., Orellano, E., Signorini, N., Salto, C. (2011). Aspectos generales de la biología de *Varroa destructor* destructor (Acari: Varroidae) y situación actual de la varroosis en la provincia de Santa Fe. *Revista FAVE Ciencias Veterinarias* 10 (1) 2011.
- Giacobino, A., Pacini, A., Molineri, A., Cagnolo, N.B., Merke, J., Orellano, E., Bertozzi, E., Masciangelo, G., Pietronave, H. & Signorini M. (2017). Environment or beekeeping management: What explains better the prevalence of honey bee colonies with high levels of *Varroa destructor*? *Research in Veterinary Science*, 112, 1–6.
- Gonçalves, L. S. (2001). Africanized Honey Bee : Introduction, Adaptation and Benefits. *APIMONDIA, Proc. 37th*, 28–31.
- Guzman-Novoa, E., Emsen, B., Unger, P., Espinosa-Montaña, L. G., & Petukhova, T. (2012). Genotypic variability and relationships between mite infestation levels, mite damage, grooming intensity, and removal of *Varroa destructor* destructor mites in selected strains of worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Invertebrate Pathology*, 110(3), 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.03.020>.
- Harris, J.W., Harbo, J.R., Villa, J.D. & Danka, R.G. (2003). Variable population growth of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in colonies of honey bees (Hymenoptera: Apidae) during a 10-year period. *Environmental Entomology*, 32(6), 1305-1312.
- Harrison, J. & Fewell, J. (2002). Environmental and genetic influences on flight metabolic rate in the honey bee, *Apis mellifera*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 133 (2002) 323–333.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica. 216 p.
- Kono Y. & Kohn, J.R. (2015). Range and frequency of africanized honey bees in California (USA). *PLoS ONE* 10(9): e0137-407. doi: 10.1371/journal.pone.0137407.
- Lobo, J., Del Lama, M., & Mestriner, M. A. (1989). Population Differentiation and Racial Admixture in the Africanized Honeybee (*Apis mellifera* L.). *Evolution*, 43(4), 794–802.
- Mantilla, C.C. (1989). Ensayos preliminares orientados hacia la obtención de híbridos mejorados de abejas africanizadas. *Miscelanea Sociedad Colombiana de Entomología*, 16, 78-96.

- Mantilla, C.C. (1995). Obtención de híbridos mejorados de abejas africanizadas II Etapa. Ensayos preliminares orientados hacia la obtención de híbridos mejorados de abejas africanizadas. *Miscelanea Sociedad Colombiana de Entomología*, 32, 73-98.
- Mantilla, C.C. (1997). Principios de Apicultura africanizada. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Martin, S. J., & Medina, L. M. (2004). Africanized honeybees have unique tolerance to *Varroa destructor* mites. *Trends in Parasitology*, 20(3), 109–112. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2003.12.005>.
- Matías, M., Damiani, N., Ruffinengo, S., de Jong, D., Principal, J., & Eguaras, M. (2010). Brood cell size of *Apis mellifera* modifies the reproductive behavior of *Varroa destructor*. *Experimental and Applied Acarology*, 50(3), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9314-7>.
- Medina, L. M., Martin, S. J., Espinosa, L., & Ratnieks, F. L. (2003). Reproduction of *Varroa destructor* in worker brood of Africanized honey bees (*Apis mellifera*). *Experimental & applied acarology*, 27(1–2), 79–88.
- Medina, S., Portillo, M., García, J., Álvarez, Terrazas, G., and Nevárez, L. (2014). Influencia del ambiente sobre la productividad de la segunda cosecha de miel de abeja en Aguascalientes de 1998 a 2010. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. XX (2), 159-165. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.031>.
- Michener, C. D. (2000). *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press (Vol. 85). [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0290:FMBLZH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0290:FMBLZH]2.0.CO;2).
- Molina, P.A. (1979). La abeja africanizada: algunos aspectos sobre su origen, biología y manejo. Seminario, VI Congreso SOCOLEN; Cali-Colombia. 40 págs.
- Mondragón, L., Spivak, M., & Vandame, R. (2005). A multifactorial study of the resistance of honeybees *Apis mellifera* to the mite *Varroa destructor* over one year in Mexico. *Apidologie*, 36(6), 345–358. <https://doi.org/10.1051/apido>.
- Moore, P., Wilson, M., & Skinner, J. (2015). Africanized Bees : Better Understanding, Better Prepared.
- Moretto, G. (2001). Reproduction of the mite *Varroa destructor jacobsoni* Oud. in africanized and italian bees (*Apis mellifera*) during different seasonal periods. *Apiacta*,

2.

- Moretto, G., & De Mello, L. J. (1999). *Varroa destructor jacobsoni* infestation of adult Africanized and Italian honey bees (*Apis mellifera*) in mixed colonies in Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, 22(3), 321–323. <https://doi.org/10.1590/S1415-47571999000300006>.
- Moretto, G., & Leonidas, J. de M. (2003). Infestation and distribution of the mite *Varroa destructor* in colonies of africanized bees. *Brazilian Journal of Biology*, 63(1), 83–86.
- Nazzi, F. & Le Conte, Y. (2015). Ecology of *Varroa destructor*, the major ectoparasite of the Western honey bee, *Apis mellifera*. *Annual Review of Entomology*, 61, 417–32. Doi: 10.1146/annurev-ento-010715-023731
- Nicolson, S.W., Da Silva D.N., S., Human, H. & Pirk C. W.W. (2018). Digestibility and nutritional value of fresh and stored pollen for honey bees (*Apis mellifera scutellata*) *Journal of Insect Physiology*, 107, 302–308.
- Oleska, A, & Tofilski. (2015). Wing geometric morphometrics and microsatellite analysis provide similar discrimination of honey bee subspecies. *Apidologie*, 46, 49–60. Doi: 10.1007/s13592-014-0300-7.
- Orantes-Bermejo, F., Pajuelo, G. J., Megías, M.A., Píñar, F. M., Torres, C. (2010). Pesticide residues in beeswax and beebread samples collected from honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) in Spain. Possible implications for bee losses. *Journal of Apicultural Research*, 49 (3), 243.
- Ratnieks, F. L. W., & Carreck, N. L. (2010). Carity on honey bee collapse? *Science*, 327(2010), 152–153. Doi: 10.1126/science.1185563.
- Rinderer, T., Buco, S., Rubink, W., Daly, H., Stelzer, J., Riggio, R., & Baptista, F. (1993). Morphometric identification of Africanized and European honey bees using large reference populations. *Apidologie*, 24(6), 569–585. Doi: 10.1051/apido:19930605.
- Rinderer, T., Oldroyd, B., Sheppard, W. (1994). Dispersión de las abejas africanizadas. *Investigación y Ciencia*, 209, 38-45.
- Ritter, W. (2001). Enfermedades de las abejas. Zaragoza: Acribia, S.A.
- Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103(SUPPL. 1), S96–S119.

- <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016>.
- Rosenkranz, P., & Engels, W. (1994). Infertility of *Varroa destructor jacobsoni* females after invasion into *Apis mellifera* worker brood a tolerance factor against *Varroa destructor*. *Apidologie*, 25(4), 402–411. <https://doi.org/10.1051/apido:19940407>
- Salamanca Grosso, G. (2009). Variabilidad genética del ADN mitocondrial de poblaciones de abejas *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) en Colombia. *Zootecnia Tropical*, 27(4), 373–382.
- Salamanca, G., Osorio, M., Rodríguez, N. (2012). Presencia e incidencia forética de *Varroa destructor* A. (Mesostigma: Varroidae) en colonias de abejas *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), en Colombia. *Zootecnia Tropical*, 30(2), 183-195.
- Saldaña, F. D. (1994). La Varroosis: grave amenaza para la apicultura. *Agricultura de las Américas*, 219:32-34.
- Sanabria, J. L., Demedio, J., Pérez, T., Peñate, I., Rodríguez, D., & Lóriga, W. (2015). Índices de infestación por *Varroa destructor* en colmenas sin medidas de control. *Rev. Salud Anim*, 37(2), 118–124. Recuperado a partir de <http://scielo.sld.cu/pdf/ras/v37n2/ras07215.pdf>.
- Sanford, T. M. (2006). The Africanized Honey Bee in the Americas: A Biological Revolution with Human Cultural Implications. *American Bee Journal*, Five Parts, March thru July.
- Schneider, S., DeGrandi-Hoffman, G., & Smith, D. R. (2004). The African Honey Bee: Factors Contributing to a Successful Biological Invasion. *Annual Review of Entomology*, 49(1), 351–376. Doi: 10.1146/annurev.ento.49.061802.123359.
- Serrano, J. M. F., Padilla, F., & Pérez, A. (2007). Aspectos aplicados del ciclo biológico de *Varroa destructor* y de su dinámica estacional. *El Colmenar*, (88).
- Shen, M., Yang, X., Cox-Foster, D., & Cui, L. (2005). The role of *Varroa destructor* mites in infections of Kashmir bee virus (KBV) and deformed wing virus (DWV) in honey bees. *Virology*, 342(1), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2005.07.012>.
- Szalanski, A.L. & Tripodi, A.D. (2014). Assessing the utility of a PCR diagnostics marker for the identification of africanized honey bee, *Apis mellifera* L., (Hymenoptera: Apidae) in the United States. *Sociobiology*, 61(2), 218-220.

- Taylor, O. R. (2009). Neotropical african bees. Encyclopedia of Insects (Second Edi). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00187-9>.
- Tibatá, V.M. (2016). Detección de patógenos causantes de enfermedades de impacto en apicultura y determinación de los mitotipos de africanización en tres regiones de Colombia. Tesis PH.D. Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, Colombia.
- Uribe Rubio, J. L., Novoa Guzmán, E., Hunt, G., Correa Benítez, A., & Zozaya Rubio, J. A. (2003). Efecto de la africanización sobre la producción de miel, comportamiento defensivo y tamaño de las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en el altiplano mexicano. *Veterinaria México*, 34(1), 47–59.
- Valencia, L., & Velásquez, C. (2014). Caracterización palinológica de mieles del apiario del Laboratorio de Investigaciones Melitológicas y Apícolas de la universidad nacional de Colombia sede Medellín. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 3 N°1, 19-40.
- Vieira, J., Gonçalves, L., & De Jong, D. (2000). Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) are more efficient at removing worker brood artificially infested with the parasitic mite *Varroa destructor jacobsoni* Oudemans than are Italian bees or Italian/Africanized hybrids. *Genetics and Molecular Biology*, 23(1), 89–92. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572000000100016>.
- Villa, J. D., Danka, R. G., & Harris, J. W. (2016). Selecting honeybees for worker brood that reduces the reproduction of *Varroa destructor*. *Apidologie*, 47(6), 771–778. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0433-y>.

Anexo A. Registro de cada colmena utilizado en el Centro Apícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín”.

APIARIO _____ UBICACION _____

PROPIETARIO _____ COLMENA # _____

REGISTRO AÑO _____

Revisión	FECHA	COLMENA			CAMARA DE CRIA			C. MIEL			
		No.	Mes/día	C.C	Alza	R.E	Adultos	Cria	Polen	Nectar	Miel

OBSERVACIONES:

Anexo B. Resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas. Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. Factor discriminante (FD), cantidad de crías de *Varroa destructor* por celda (Criasc), Reproducción efectiva (RE), cantidad de adultos de *Varroa destructor* por celda (Adultosc), infestación de *Varroa destructor* en cría (Ivcria) e Infestación de *Varroa destructor* en adultos (Ivadultos).

	Ivadultos	Ivcria	RE	Adultosc	Criasc	FD
Recuento	72	70	71	70	70	70
Promedio	6.1656	8.6286	5.3239	0.0949	0.1180	-3.7656
Desviación Estándar	3.9064	5.9908	5.0250	0.0775	0.1418	0.8824
Coefficiente de Variación	0.6336	0.6943	0.9439	0.8167	1.2017	-0.2343
Mínimo	0.7299	0	0	0	0	-6.0728
Máximo	17.9688	28	20	0.40	0.58	-1.3409
Rango	17.2388	28	20	0.40	0.58	4.7319

Anexo C. Esta tabla muestra las correlaciones halladas mediante el análisis de componentes principales. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Factor discriminante (FD), infestación de *Varroa destructor* en crías, Reproducción Efectiva (RE), infestación de *Varroa destructor* en adultos, precipitación (PP).

	FD	N MARCOS POLEN	N MARCOS ADULTOS	N MARCOS CRIA	N MARCOS CON MIEL	%IVA	%IVC	RE	PP	Temperatura
FD		0.2194	0.5264	0.4176	0.4823	-0.2686	-0.5173	-0.4239	0.4690	-0.7434
		0.5706	0.1454	0.2634	0.1885	0.4847	0.1892	0.2953	0.2028	0.0217
N MARCOS POLEN	0.2194		0.0313	0.3350	0.4159	0.2503	-0.3860	-0.0124	0.4875	-0.5241
	0.5706		0.9363	0.3781	0.2655	0.5159	0.3450	0.9767	0.1831	0.1475
N MARCOS ADULTOS	0.5264	0.0313		0.8945	0.6636	-0.6371	-0.4931	-0.4847	0.5092	-0.3931
	0.1454	0.9363		0.0011	0.0513	0.0650	0.2143	0.2235	0.1615	0.2953
N MARCOS CRIA	0.4176	0.3350	0.8945		0.7390	-0.5141	-0.6418	-0.5359	0.6515	-0.4538
	0.2634	0.3781	0.0011		0.0229	0.1568	0.0862	0.1710	0.0573	0.2199

Anexo C: continuación

	FD	N MARCOS POLEN	N MARCOS ADULTOS	N MARCOS CRIA	N MARCOS CON MIEL	%IVA	%IVC	RE	PP	Temperatura
N MARCOS CON MIEL	0.4823	0.4159	0.6636	0.7390		-0.1459	-0.5298	-0.4579	0.4772	-0.4393
	0.1885	0.2655	0.0513	0.0229		0.7080	0.1769	0.2539	0.1939	0.2368
%IVA	-0.2686	0.2503	-0.6371	-0.5141	-0.1459		0.2768	0.4917	0.0447	-0.0616
	0.4847	0.5159	0.0650	0.1568	0.7080		0.5069	0.2158	0.9091	0.8750
%IVC	-0.5173	-0.3860	-0.4931	-0.6418	-0.5298	0.2768		0.8678	-0.3317	0.3865
	0.1892	0.3450	0.2143	0.0862	0.1769	0.5069		0.0052	0.4222	0.3442
RE	-0.4239	-0.0124	-0.4847	-0.5359	-0.4579	0.4917	0.8678		-0.1476	-0.0107
	0.2953	0.9767	0.2235	0.1710	0.2539	0.2158	0.0052		0.7273	0.9800
PP	0.4690	0.4875	0.5092	0.6515	0.4772	0.0447	-0.3317	-0.1476		-0.5995
	0.2028	0.1831	0.1615	0.0573	0.1939	0.9091	0.4222	0.7273		0.0880
Temperatura	-0.7434	-0.5241	-0.3931	-0.4538	-0.4393	-0.0616	0.3865	-0.0107	-0.5995	
	0.0217	0.1475	0.2953	0.2199	0.2368	0.8750	0.3442	0.9800	0.0880	

Correlación

Valor p

