

Ensayo de Investigación

Efecto de la africanización de *Apis mellifera* en parámetros productivos en el sur de Oaxaca, México

Recibido: 30-09-2020 Aceptado: 09-08-2021 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El propósito de esta investigación fue analizar el proceso de africanización de colonias manejadas de abejas (*Apis mellifera*) mediante análisis PCR-RFLP del DNA mitocondrial y su relación con aspectos sanitarios, defensivos y de producción en 33 apiarios mediante un muestreo aleatorio estratificado en un gradiente de 450 a 1,500 msnm en cinco comunidades rurales de la Sierra sur de Oaxaca. Los resultados mostraron un promedio de 60% de apiarios africanizados con un comportamiento sanitario similar al europeo. El comportamiento higiénico se registró como alto para ambos mitotipos 90.9% y 92.1% respectivamente, con valores similares en grado de defensividad de las abejas africanizadas (3.73) versus no africanizadas (3.57), consideradas como regularmente mansas. Se identificó una asociación negativa media ($r = -0.47$, $p \leq 0.001$), entre la altitud de ubicación de los apiarios y la defensividad de las abejas. La producción promedio de miel fue de 14 kg alza⁻¹, similar en ambos haplotipos. La hibridación es un fenómeno que conlleva comportamientos impredecibles, debido a la compleja interacción genotipo ambiente que influye en apiarios del sur de Oaxaca.

Abstract

The purpose of this research is to analyze the Africanization process of honeybee (*Apis mellifera*) colonies by means of PCR-RFLP analysis of mitochondrial DNA and its relationship with sanitation, defensiveness and production in 33 apiaries. Stratified random sampling was used in a gradient from 450 to 1,500 meters above sea level in five rural communities in the southern highlands of Oaxaca. The results showed an average of 60% of Africanized apiaries with a health behavior similar to that of the European variety. High hygienic behavior is recorded for both 90.9% and 92.1% mitotypes respectively, with similar values regarding defensiveness for Africanized bees (3.73) versus non-Africanized bees (3.57), considered to be regularly tame. An average negative association ($r = -0.47$, $p \leq 0.001$) was identified between the location altitude of the apiaries and the defensiveness of the bees. The average production of honey was 14 kg per hive⁻¹ which was similar for both haplotypes. Hybridization is a phenomenon that leads to unpredictable behaviors, due to the complex interaction genotype environment that influences apiaries in southern Oaxaca.

Résumé

Le but de cette recherche il a été d'analyser le processus d'africanisation de colonies d'abeilles (*Apis mellifera*) gérées par analyse PCR-RFLP de l'ADN mitochondrial et sa relation avec les aspects sanitaires, défensifs et de production dans 33 ruchers à travers un échantillonnage aléatoire stratifié en gradient de 450 à 1,500 mètres d'altitude dans cinq communautés rurales du sud de la Sierra d'Oaxaca. Les résultats ont montré une moyenne de 60% de ruchers africanisés avec un comportement sanitaire similaire à celui européen. Le comportement hygiénique est enregistré comme élevé pour les deux mitotypes respectivement 90.9% et 92.1%, avec des valeurs similaires en degré de défense des abeilles africanisées (3.73) par rapport aux abeilles non africanisées (3.57), considérées comme régulièrement apprivoisées. Une association négative moyenne a été identifiée ($r = -0.47$, $p \leq 0.001$), entre l'altitude de localisation des ruchers et le caractère défensif des abeilles. La production moyenne de miel était de 14 kg lift⁻¹, similaire dans les deux haplotypes. L'hybridation est un phénomène qui entraîne des comportements imprévisibles, en raison de l'interaction complexe génotype environnement qui influence les ruchers du sud d'Oaxaca.

Dulce Nayeli Contreras Ramírez¹
Juan Florencio Gómez Leyva^{2*}
Salvador Lozano Trejo¹
María Isabel Pérez León¹
Ernesto Castañeda Hidalgo¹

Palabras clave: Defensividad, haplotipos, varroa, DNAm.
Keywords: Defensiveness, haplotypes, varroa, mtDNA.
Mots-clés: Défensive, haplotypes, varroa, ADNmt.

¹ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

² Instituto Tecnológico de Tlajomulco

^{1,2} Tecnológico Nacional de México

Correspondencia:
*jfgleyva@hotmail.com

Introducción

La apicultura en México es una de las principales actividades generadoras de divisas en nuestro país. Las abejas son una especie fundamental para el equilibrio de los agroecosistemas, ya que, en el proceso de búsqueda de alimento, son agentes polinizadores de diversas especies vegetales, perpetúan la reproducción de las especies, contribuyendo a la generación de oxígeno y aumento del rendimiento de los cultivos (FAO, 2017).

En México existen cinco regiones apícolas: Región Norte, Centro, Pacífico, Golfo de México y Península de Yucatán; clasificadas con base en los factores del clima, suelo, vegetación y nivel de tecnificación de los apiaros, con cerca de 43,000 apicultores y 2 millones 172 mil colmenas hasta el año 2020; lo que propicia que cada región produzca mieles de diferentes aromas, colores y sabores (Lastra-Marín y Peralta-Arias, 2017; SADER, 2020). En cuanto a la calidad, las características de la miel mexicana cubren las expectativas del mercado internacional, lo que da lugar a una importante producción y exportación; se ha alcanzado el noveno y quinto lugar, respectivamente en dicho mercado. En el año 2019 se cosecharon 61.9 ton lo que representó el 6.1% más que el promedio de los últimos 10 años. Sin embargo, en el 2020 se presentó un ligero descenso en la producción con 54.1 ton de miel y un ingreso de 2,187 millones pesos. Dentro del inventario nacional Yucatán, Campeche, Chiapas, Jalisco, Veracruz y Oaxaca, se encuentran entre los principales productores de miel y solventan gran parte de la demanda del producto en el mercado (SADER, 2020).

Oaxaca ocupa el sexto lugar como productor de miel en el contexto nacional, con una producción anual de 4,668 ton, y un valor de producción de 185 millones de pesos anuales con su mayor producción en el distrito de la Costa (2,059 ton año⁻¹). El distrito Huajuápan de León el segundo en el estado, tiene como principal productor, al municipio de Putla Villa de Guerrero, con un registro de producción, en el último año de 502 ton (SIAP, 2020).

No obstante, la situación de la apicultura es crítica, al estar amenazada por los efectos del cambio climático, cambio de uso de suelo, uso de pesticidas, la africanización y la presencia de enfermedades (Puc et al., 2011). La africanización de las colmenas representa una gran pérdida económica y una amenaza para los apicultores, debido a la agresividad que caracteriza a las abejas, principalmente por su difícil manejo; lo que obliga a los apicultores, a colocar los apiarios en lugares apartados (Guzmán-Novoa et al., 2011).

Adicionalmente, la varroosis producida por el acaro *Varroa destructor*, vector de múltiples enfermedades reduce la proteína en la hemolinfa de las abejas durante todos los estadios de la colmena y afecta la vida de las abejas, acortando o evitando su nacimiento

(Medina-Flores et al., 2014). Este ectoparásito reduce hasta un 65% de la producción e incrementa costos por la prevención y control.

Las abejas se caracterizan por ser organismos sociales sumamente cooperativos, lo que les permite desarrollar mecanismos de defensa mediante la resistencia. Sobresalen por su importancia el comportamiento higiénico y el acicalamiento, acciones realizadas para deshacerse del ectoparásito, y la remoción de crías muertas en la colmena (Lattoforff et al., 2015). Las abejas africanizadas son más resistentes a *V. destructor* y a diversas enfermedades, debido a su alto comportamiento higiénico y acicalamiento; se caracterizan además por ser de menor tamaño y menor peso, lo que les confiere ventajas en la adaptabilidad, en comparación a las abejas europeas. Se estima que actualmente cubren un 95% de las zonas apícolas del país (Guzmán-Novoa et al., 2011).

La abeja africanizada fue introducida en el continente americano procedente del sur de África en 1957, mientras que en México ingresó por la frontera de Guatemala en 1986 (Ratnieks et al., 1991). Su proceso de adaptación ha sido exitoso, debido a la diversidad de climas, lo que ha facilitado su propagación; aunque ha desplazado a las colonias europeas y ha ocasionado la hibridación en las colmenas. El uso de métodos morfométricos ha permitido diferenciar a 28 subespecies, que se clasifican de acuerdo a las zonas geográficas. Dichas subespecies corresponden a cuatro linajes: África (A), Europa Occidental (M), Europa Sudoriental (C) y Oriente Medio (O), sin embargo, las metodologías basadas en caracteres morfométricos se consideran imprecisas (Uribe et al. 2003). Actualmente se han desarrollado métodos moleculares de mayor precisión para discriminar entre especies y subespecies, así como entre las razas y las poblaciones, basados en el análisis de polimorfismo mitocondrial (ADNmt) y nuclear de la secuencia del ADN (Crozier et al., 1991; Wu et al., 2017).

La hibridación es un proceso complejo entre las colmenas que se ha recurrido a métodos moleculares, mediante los cuales se han identificado cinco linajes de *A. mellifera*, que coinciden con las ramas morfológicas A, M y C. El cuarto linaje mitocondrial O del Medio Oriente, se dividió en linajes mitocondriales C y Z (Wu et al., 2017). El objetivo de la presente investigación fue identificar el nivel de africanización

de *Apis mellifera* en colmenas del municipio de Putla Villa de Guerrero y Mesones Hidalgo, Oaxaca y su relación con el comportamiento sanitario y productivo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en las comunidades de Concepción Progreso (629,989 mE, 1'858,017 mN UTM-14), Concepción Guerrero (620,903 mE, 1'886,019 mN UTM-14), Concepción Las Mesas (611,193 mE, 1'866,473 mN UTM-14), Putla Villa de Guerrero (615,843 mE, 1'874,815 mN UTM-14) y Asunción Atoyacillo (629,995 mE, 1'857,806 mN UTM-14); ubicadas sobre un gradiente altitudinal de 450 a 1,500 m, y una superficie de cobertura aproximada de 2,627 km², pertenecientes a los municipios de Mesones Hidalgo y Putla Villa de Guerrero en el Distrito de Huajuápan de León (ver la Figura 1). Dicha microrregión cuenta con un clima cálido sub húmedo (*Aw*), con lluvias intensas en verano, temperatura promedio 24.1 °C y precipitaciones anuales de 1,319 mm en promedio, con un mosaico de vegetación conformado por bosques de pino-encino, encino-pino, encinares, vegetación inducida, selva baja caducifolia y sub caducifolia (SIATL-INEGI, 2017).

Las comunidades fueron consideradas como los estratos, distribuidos a través de la gradiente altitudinal.

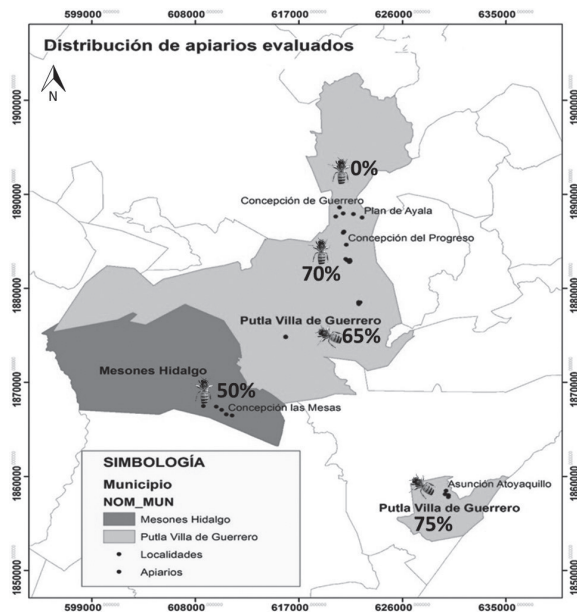


Figura 1. Distribución de apiarios y porcentaje de africanización en las comunidades rurales de los municipios de Mesones Hidalgo y Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

Fuente: Elaboración propia

Fueron muestreados 33 apiarios con dos repeticiones cada uno, se obtuvieron 66 subunidades muestrales (colmenas) con un total de 1,320 organismos para la prueba molecular; 6,600 organismos para el comportamiento sanitario y 66 colmenas seleccionadas para la evaluación de rendimiento de miel.

Comportamiento higiénico (CH)

Para su evaluación se realiza la prueba de CH, que consiste en elegir un bastidor al azar con cría y seleccionar 100 celdas operculadas que deben ser punzadas con una aguja de insulina, mediante un piquete profundo que atraviese toda la cría. Con tinta indeleble se marca la zona utilizada. Después de 24 h se registra el número de crías des operculadas y removidas por las abejas obreras. Para su cálculo se utiliza la fórmula (1).

$$CH = \frac{\text{Total alveolos punzados} - \text{Total alveolos no limpiados}}{\text{Total alveolos punzados}} \times 100 \quad (1)$$

Infestación de varroa en cría (Ivc)

Para evaluar la *Ivc* se elige un bastidor con cría operculada; posteriormente se realiza un corte de panal con una superficie de 15 cm² con 200 celdas aproximadamente, las que posteriormente son llevadas y extraídas en laboratorio; finalmente, con la ayuda de un estereoscopio se realiza el conteo de varroa en todos sus estadios. Dicha actividad se desarrolló en el Laboratorio de Reproducción Animal del ITVO. Para su cálculo se utilizó la fórmula (2).

$$Ivc = \frac{\text{Total de varroas encontradas}}{\text{Total de celdillas revisadas}} \times 100 \quad (2)$$

Infestación de varroa en abeja adulta (Ivaa)

La prueba de *Ivaa* se realiza con el uso de un frasco con alcohol con el que se hace un barrido al bastidor, en la que se depositan aproximadamente 100 abejas obreras (De Jong et al., 1982). Posterior al barrido, cada muestra se agita de manera que la varroa se desprenda del cuerpo de las obreras. Finalmente, cada una de las muestras se vierte en una malla, con el objetivo de retener el paso de las abejas y facilitar únicamente el paso de la varroa. Finalmente se hace el conteo de varroa por cada muestra. Se utiliza la fórmula (3).

$$Ivaa = \frac{\text{Total de varroas encontradas}}{\text{Total de abejas en la muestra}} \times 100 \quad (3)$$

Acicalamiento

Para realizar esta prueba se utilizan placas de plástico untadas con vaselina, se ingresan por la piquera y se colocan en el piso de la colmena. Las placas se mantienen por 24 h. Pasado este tiempo, las placas se retiran y colocan en bolsas para su posterior conteo y observación en laboratorio. Para su cálculo se utiliza la fórmula (4).

$$\text{Acicalamiento} = \frac{\text{Número de varroas lesionadas (VL)}}{\text{Total de varroas en la muestra (VT)}} \times 100 \quad (4)$$

Producción de miel

Para estimar la producción de miel, se realizaron dos muestreos en los meses de marzo y mayo, que comprenden la época floral de primavera. Se contabiliza la cantidad de bastidores por cada alza cosechada de cada colmena, en cada apiario que se evalúa. Después se retiran los opérculos con navaja, se pesan los bastidores con miel de manera individual. Se extrae la miel y se vuelve a pesar el bastidor vacío; la diferencia de peso representa la cantidad de miel contenida en cada bastidor por caja o alza (Manual Básico de Apicultura-SAGARPA, 2001).

Defensividad

La prueba consiste en aplicar humo inmediatamente después de que se levanta el techo de la colmena, para observar el comportamiento de las obreras. Al comportamiento se le asigna un valor, dentro de una escala del uno al cinco: (1) Muy mansa: se mantienen dentro de la colmena, hacen un ligero zumbido y se trabaja con muy poco humo, (2) Mansa: se pueden manipular bien y con poco humo, (3) Regularmente mansa: reaccionan con un zumbido fuerte y constante, aunque todavía son manejables, pero se necesita mayor cantidad de humo, (4) Defensiva: reaccionan inmediatamente con un zumbido fuerte, pueden manejarse con una gran cantidad de humo; finalmente la categoría (5) Altamente defensivas: son casi intolerantes para el apicultor, además tienen facilidad para dispersarse rápido, picar a personas y animales que se encuentran cercanos (Vandame et al., 2017).

Extracción de ADN

La extracción de ADN se realizó empleando el método de Doyle y Doyle (1987) modificado: se depositan 5 individuos en un mortero, adicionando amortiguador de extracción (Tris-HCl 100mM, NaCl 1.5M, EDTA 20 mM pH 8, CTAB 4%, PVP 40.4%, ácido ascórbico

0.1%, β -mercaptoetanol 0.3%) precalentado, recuperando la fase acuosa en tubos cónicos. Se recuperan 500 μ l de la fase acuosa, se incubaron a 60° en baño maría durante 1 hora y se agitó cada 15 minutos; se deja reposar hasta llegar a temperatura ambiente. Se agregaron 500 μ l de cloroformo: alcohol isoamilico (49:1 v/v). El tubo se agitó hasta mezclar y formar una emulsión. Se centrifugó a 14,000 rpm durante 5 min y la fase acuosa se transfirió a un tubo nuevo con una micropipeta; se agregó un volumen de isopropanol frío y se dejó incubar a -20°C durante 15 minutos. Se centrifugó a 5,000 rpm durante 5 minutos y el sobrenadante fue descartado. La pastilla obtenida fue lavada con etanol frío al 70 %, se agita para lavarla completamente, se centrifuga a 14,000 rpm durante 2 minutos; se retira el etanol y se deja secar a temperatura ambiente. Finalmente, la pastilla se suspendió en 200 μ l de agua inyectable y se almacenó a -20°C. El DNA se observó en un gel de agarosa al 0.6% y se cuantificó por absorbancia a 260 nm.

Amplificación por PCR del DNA mitocondrial

Amplificación por PCR del ADN mitocondrial: La región de 485 pb del gen citocromo b, fue amplificado usando los oligos CytbA-F (5' TATGTACTAC-CATGAGGACAAATATC) y CytbA-R (5' ATTACACCTCC-TAATTTATTAGGAAT). Se empleó un equipo PCR Mca. Genius, modelo Techne, programando las condiciones de corrida: 94°C (2 min), seguida por 30 ciclos 94°C (1 min), 50°C (1 min) y 72°C (1 min), después del ciclo final 72°C (7 min). Los productos de la amplificación fueron separados por electroforesis en un gel de agarosa al 2% (Crozier et al., 1991).

Análisis de restricción

Después de la amplificación las muestras 10 μ L de los productos de PCR fueron analizados con 1 U de enzima de restricción *Bgl* II (Invitrogen), a 37°C durante 4 horas. La digestión fue sometida a electroforesis en un gel de agarosa (2%), visualizada bajo luz ultravioleta. Los sitios de restricción fueron medidos como: Mitotipo Europeo (Eur), se visualiza un patrón de dos fragmentos (194 y 291 pb), o Mitotipo Africano (Af), se visualiza un fragmento único sin digerir de 485 pb (Crozier et al., 1991).

Análisis estadísticos

Las variables de comportamiento sanitario, defensividad y rendimiento de miel fueron analizadas bajo el modelo lineal general (GLM) de efectos aleatorios,

para identificar la posible asociación de los haplotipos sobre las variables mencionadas, con transformación arco seno para las porcentuales y raíz cuadrada para las variables discretas. Se realizó una prueba de covarianza para la variable altitud, también se realizaron pruebas de comparación múltiple de medias por el método de Duncan ($p \leq 0.05$). Se realizaron pruebas de independencia χ^2 y correlación no paramétrica de Spearman, los datos fueron analizados con el programa SAS (versión 9.0).

Resultados y discusión

Los análisis realizados a través ADNmt registraron 26 colonias de abejas no africanizadas y 40 colonias de abejas africanizadas con diferentes porcentajes de africanización 75 al 50% a manera de gradiente ya que en la localidad de Concepción de Guerrero no se detectó africanización (ver la Figura 1). La enzima de restricción *Bgl* II no realiza un corte del ADNmt del gen citocromo b de las abejas africanizadas, mientras que se generan dos fragmentos de 291 y 196 pares de bases (ver la Figura 2) en el mitotipo no africanizado, probando ser altamente efectivo para este tipo de análisis (Wu et al., 2017).

Dado que DNAm es de origen materno, significa que no hay un manejo adecuado en la selección de reinas. Tanto la producción de miel como el comportamiento defensivo de las abejas están altamente influenciados por efectos genéticos (Collins et al., 1984).

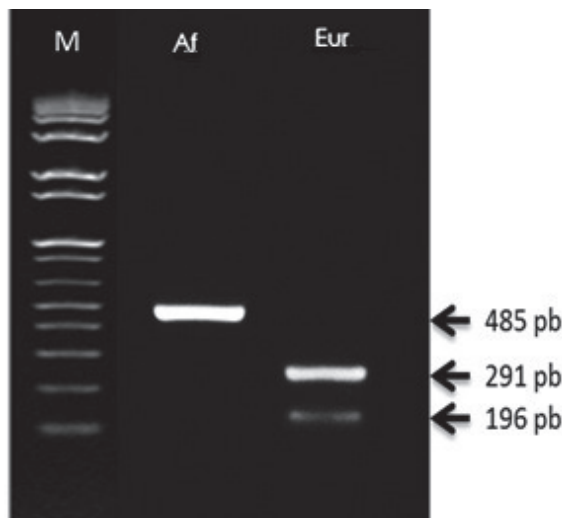


Figura 2. Amplificación del ADNmt de *Apis mellifera* del sur de Oaxaca, digerido con la enzima de restricción *Bgl* II, para determinación de africanización. Af: Mitotipo Africano (sin digerir), Eur: Mitotipo Europeo (doble bandeado). M: marcador de talla molecular.

Fuente: Elaboración propia

La defensividad de las abejas no presentó diferencia significativa entre haplotipos ($P \leq 0.05$) (ver la Tabla 1), sin embargo, de acuerdo a la calificación utilizada (De Jong et al., 1982), la conducta de las abejas africanizadas se clasifica como defensivas (3.73), y el de las no africanizadas como ligeramente mansas (3.57) ($p \leq 0.05$).

El comportamiento defensivo ha caracterizado a las abejas africanizadas como resultado de la dominancia genética, que han ejercido sobre las colmenas no africanizadas (Nates-Parra, 2011). La defensividad es un comportamiento biológico que se expresa en diferentes proporciones, cuando la colonia se siente amenazada y el objetivo es atacar y retraer al enemigo; en este sentido, el comportamiento defensivo es considerado una táctica antidepredador (Papachristoforou et al., 2010). Se debe agregar que la condición climática y particularmente la temperatura pueden incidir directamente en el temperamento de esta especie. Para este estudio se encontró que a mayor altitud la defensividad se expresa en menor magnitud ($r = -0.47$, $p \leq 0.001$), que en las zonas bajas; probablemente asociado a temperaturas templadas en las zonas de mayor elevación; ya que se ha demostrado que en regiones montañosas la temperatura puede descender de 0.5 a 1.0 °C por cada 100 m de elevación en la altitud a través del año o las condiciones de humedad (Medina-Flores et al., 2015).

Los resultados obtenidos indican que en el comportamiento higiénico entre haplotipos, no presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) (ver la Tabla 1). Las colonias no africanizadas expresaron el 90.9% de CH y las africanizadas el 92.1%. La infestación por varroa en crías de abeja, entre las colonias africanizadas y no africanizadas fue estadísticamente similar

Tabla 1. Características de producción, comportamiento sanitario y defensivo de los apiarios estudiados en relación a su mitotipo en el sur de Oaxaca

Característica	Mitotipo	
	Africano	Europeo
Defensividad (1 a 5)	3.73 ± 0.91a	3.57 ± 0.90a
Comportamiento higiénico (%)	90.9 ± 13.57a	92.1 ± 8.57a
Varroa en cría (%)	10.57 ± 1.05a	7.65 ± 0.68b
Varroa en abeja adulta (%)	6.53 ± 5.36a	4.45 ± 2.92b
Producción de miel (kg alza ⁻¹)	14.54 ± 1.87a	14.07 ± 1.90a
Acicalamiento (%)	42.37 ± 35.8a	45.43 ± 35.6a

Medias ± Desviación Estándar. Letras iguales el mismo renglón indican que no existe diferencia significativa por Duncan a $p \leq 0.05$.

Fuente: Elaboración propia

($p \leq 0.05$) (ver la Tabla 1); la diferencia numérica, puede explicarse a que las crías de las colonias de abejas africanizadas resultaron más infestadas por varroa.

Ambos haplotipos se consideran higiénicos, ya que removieron más del 80% de las crías muertas, lo que indica que la hibridación en las colmenas no está del todo asociado a este comportamiento. El mismo resultado fue obtenido en un estudio realizado en Tabasco, México, donde se evaluaron colonias africanizadas y abejas carneolas; el comportamiento fue similar (Contreras et al., 2016). Por otra parte, una evaluación de este comportamiento en colmenas italianas, señala que estas abejas tienen el olfato más sensible, motivo por el que expresan eficientemente el comportamiento higiénico y que los factores ambientales explicarían parte del comportamiento que asumen las abejas (Papachristoforou et al., 2010).

La prueba de infestación por varroa en abeja adulta presentó diferencia significativa entre haplotipos ($P \leq 0.05$) (Tabla 1), 6.53% en abejas africanizadas y 4.45% no africanizadas. En el presente estudio, el índice de acicalamiento fue similar en los haplotipos ($p \leq 0.05$) (ver la Tabla 1). Las abejas africanizadas mostraron un comportamiento de acicalamiento de 42.37% versus 45.43% en las no africanizadas.

En la presente investigación las colmenas de ambos haplotipos, presentaron gran fortaleza en cuanto a la densidad de población, lo que pudiera explicar mayor actividad higiénica; razón por la cual no se detectó diferencia entre ellas (Principal et al., 2008). Los factores involucrados en el *CH* son múltiples, pero se piensa que hay un factor más preciso como el genético, lo que induce que el comportamiento se exprese en su máximo potencial o actué como un gen recesivo (Nates-Parra, 2011). El comportamiento higiénico en insectos sociales es de suma importancia para el sistema inmunológico de la colonia, de tal manera que les confiere resistencia ante múltiples enfermedades, propiciando que desarrollen adecuadamente sus labores en la colmena. Se ha planteado que colonias con mayor comportamiento higiénico reportan mayor producción de miel (Manrique y Soares, 2004), lo cual parece concordar con este estudio al encontrar una correlación positiva, aunque débil entre las variables ($r=0.35$, $p \leq 0.01$).

Respecto al efecto de la varroa en crías de abejas, la diferencia en el porcentaje podría deberse a

que no se trabajó con el mismo número de colmenas para cada raza y a la presencia de una mayor variabilidad. A su vez, los resultados no coinciden con estudios anteriores, lo que demuestra que la varroa expresa mayor preferencia por las crías de abejas europeas, incluso puede llevar a la muerte a toda la colmena. Si bien las abejas africanizadas fueron las más infestadas, se plantea que éstas generan mayor resistencia, ante la presencia de estos ectoparásitos; incluso resistiendo el impacto que pueden producir en su colmena (Locke y Fries, 2011). En ambas colonias de abejas, el ácaro se ve fuertemente atraído por las crías de zángano, debido a que el tamaño de la celda es mucho mayor, al igual que el tiempo de desarrollo del zángano, lo que hace se lleven más días en comparación a las obreras; asimismo, su dinamismo es superior en climas cálidos, mientras que su actividad se reduce en clima frío (Guzmán-Novoa et al., 2011).

La Norma Oficial Mexicana (NOM-056-ZOO-1995) indica que un porcentaje mayor al 5% de infestación en abejas adultas, es alta y la medicación es prioritaria; por lo tanto, en el haplotipo africano es necesario su control. Diversos estudios han demostrado que las abejas europeas son dos veces más susceptibles a este ácaro, generando grandes pérdidas (Medina-Flores et al., 2014). Al igual que en los otros índices evaluados, la infestación por varroa en abeja adulta no solo se ve afectada por la genética, se le relaciona con la interacción de factores ambientales como la vegetación y la estación del año. Para el estudio se toma como base la época de máxima floración de la vegetación local, en esta región del país se presenta en los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre. Otros estudios han señalado también, que un mayor grado de infestación de varroa pudiera producir mayor defensividad de las abejas (Won et al., 2014).

Respecto del acicalamiento, en el estado de Tabasco se reporta que en abejas carneolas y africanizadas en temperaturas similares a las de Putla, tampoco presentaron diferencias en acicalamiento (Principal et al., 2008). Resultados obtenidos de la comparación de este comportamiento en colmenas de Brasil, señalan que las abejas africanizadas son 6.3 % más eficaces para expresar el acicalamiento en comparación al 2.1 % en las abejas europeas.

A pesar de las múltiples pruebas, este mecanismo

no es del todo claro, pues se debe tomar en cuenta que la cantidad de ácaros lesionados es cuestionada, ya que las lesiones en ellos no siempre son ocasionadas por las abejas (Wu et al., 2017), o el encontrarlas en el fondo de la colmena tampoco implica que haya acicalamiento; su presencia en el piso podría deberse a una caída por accidente o por muerte natural (Araneda et al. 2010).

La producción de miel entre haplotipos fue similar ($p \leq 0.05$) (ver la Tabla 1), con efecto de interacción genotipo-ambiente ($p \leq 0.05$). Para las colonias africanizadas se estimó 14.54 kg en cada alza versus 14.07 kg en las no africanizadas. Tal parece que el vigor híbrido no es el único factor que garantiza una producción deseada. Depende también del tipo del material que el productor emplee en sus colmenas. Sin embargo, con una vegetación y condiciones favorables, la producción puede ascender hasta 45 kg. De igual manera se debe considerar el nivel de tecnificación, debido a que se puede aprovechar eficientemente lo producido. Para el presente caso, la zona está clasificada como semi tecnificada, y debería superar los 45 kg por cada colmena al año (Contreras et al., 2016); sin embargo, los resultados suelen ser menores a los obtenidos en el estado de Jalisco (Contreras-Escareño et al., 2013).

La merma del rendimiento de miel en las colmenas, se debe a múltiples factores que al igual que en los otros índices evaluados no solo proviene de la genética; el cambio climático ha generado un desorden en los tiempos de floración en las especies de importancia apícola, de esta manera las plantas responden ante las variaciones climáticas con adaptación y migración; así la dinámica poblacional de las colonias de abejas, se reduce a causa de la poca actividad de pecoreo y a la escasez de alimento (Castellanos-Potenciano et al., 2016).

Conclusiones

El fenómeno de la hibridación en el sur de Oaxaca se estima en un promedio del 60%, debido manejo de reinas. La defensividad se mostró similar entre haplotipos africanos y europeos; sin embargo, se detectó que, a elevaciones superiores a los 950 msnm, las abejas se comportan menos defensivas. En los índices evaluados y comparados con las colonias no africanizadas, no se detectaron diferencias significativas, lo que muestra que el comportamiento de la hibridación

no es del todo predecible respecto del comportamiento higiénico, pero fue notoria la mayor incidencia de varroa en abejas adultas de los apiarios africanizados.

Agradecimientos

A los apicultores participantes en el estudio en la toma de datos y las facilidades proporcionadas para llevar a cabo esta investigación. El presente trabajo forma parte de la tesis Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas de Dulce N. Contreras - ITVO.

Bibliografía

- Araneda, D.X., Bernales, M.M., Solano, S.J. y Mansilla, V.K. (2010). Comportamiento de acicalamiento de abejas (Hymenoptera: Apidae) sobre varroa (Mesostigmata: Varroidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 36(6): 232-234.
- Castellanos-Potenciano, B.P., Gallardo-López F., Sol-Sánchez Á., Landeros-Sánchez C., Díaz-Padilla, G., Sierra-Figueroa, P. y Santibañez-Galarza J.L. (2016). Impacto potencial del cambio climático en la apicultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1): 1-19.
- Collins, A.M., Rinderer, T.E., Harbo, J.R. and Brown, M.A. (1984) Heritabilities and correlations for several characters in the honey bee. *Journal of Heredity*, 75:135-140.
- Contreras, R.D.N., Pérez, L.M.I., Payró, de la Cruz E., Rodríguez, O.G., Castañeda, H.E. y Gómez, U.R.M. (2016) Comportamiento defensivo, sanitario y producción de ecotipos de *Apis mellifera* L. en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8): 1867-1877.
- Contreras-Escareño, F., Pérez-Armendáriz, B., Echazarretac, C.M., Cavazos-Arroyo, J., Macías-Macías, J.O. y Tapia-González, J.M. (2013). Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(3): 387-398.
- Crozier, Y.C., Koulianos S., and Crozier, R.H. (1991). An improved test for africanized honeybee mitochondrial DNA. *Experientia*, 47 (9):968-969.
- De Jong, D., De Andrea, R.D. and Goncalves, L.S. (1982). Comparative analysis of shaking solutions for the detection of *Varroa jacobsoni* on adult honeybees. *Apidologie*, 13(3):297-306.
- Doyle, J.J. & Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19: 11-15.
- FAO, (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Santiago. Chile 2014. 56p. Recuperado el 02 de noviembre de 2020, de <http://www.fao.org/3/a-i3547s.pdf>
- Guzmán-Novoa, E., Correa, B.A., Espinoza, M.L.G. y Guzmán, N.G. (2011). Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanas en México. *Veterinaria México*, 42 (2): 149-177.

- Lastra-Marín IJ, Peralta-Arias MA. (2017) Situación actual y perspectiva de la Apicultura en México 2000. Publicaciones de la Dirección General de Ganadería o del Centro de Estadística Agropecuaria. Recuperado el 09 de noviembre de 2017, de <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/26/sppa00.pdf>.
- Lattoforff, H.M., Buchholz, J., Fries, I., Moritz, R.F. (2015). A selective sweep in a *Varroa destructor* resistant honeybee (*Apis mellifera*) population. *Infection, Genetics and Evolution*, 31:169-76.
- Locke, B. & Fries, I. (2011). Characteristics of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Sweden surviving *Varroa destructor* infestation. *Apidologie*, 42(4), 533-542.
- Manrique, A.J. y Soares, A.E. (2004). Relación entre la producción de propóleos y la tasa de infestación de varroas (*Varroa destructor*) en abejas africanizadas (*Apis mellifera*). *Zootecnia Trop.*, 22(3): 289-298.
- Manual Básico de Apicultura-SAGARPA, (2001). Manual de patología apícola. Coordinación General de Ganadería. Recuperado el 06 de julio de 2021, de https://www.miel-demalaga.com/data/manual_basico_apicultura.mex.pdf.
- Medina-Flores, C., Guzmán-Novoa, E., Hamiduzzaman, M., Aguilera, J. y López, M. (2015). Africanización de colonias de abejas melífera (*Apis mellifera*) en tres regiones climáticas del norte de México. *Veterinaria México*, 2(4):1-9.
- Medina-Flores, C.A., Guzmán-Novoa, E., Aréchiga, F.F., Gutiérrez, B.H. y Aguilera, S. (2014). Producción de miel e infestación con *Varroa destructor* de abejas africanizadas (*Apis mellifera*) con alto y bajo comportamiento higiénico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2): 157-170.
- Medina-Flores, C.A., Guzmán-Novoa, E., Hamiduzzaman, M.M., Aréchiga-Flores, C.F. and López-Carlos, M.A. (2014). Africanized honey bees (*Apis mellifera*) have low infestation levels of the mite *Varroa destructor* in different ecological regions in Mexico. *Genetics and Molecular Research*, 13(3): 7282-7293.
- Nates-Parra, G. (2011). Genética del comportamiento: Abejas como modelos. *Acta Biologica Colombiana*, 16 (3): 213-230.
- Papachristoforou, A., Rortais, A., Sueur, J. and Arnold, G. (2010). Attack or retreat: Contrasted defensive tactics used by Cyprian honeybee colonies under attack from hornets. *Behav Process*, 86(2): 236-241.
- Principal, J., Barrios, C., Aubeterre, R., Puzzar, S., García, S. and Fuselli, S. (2008) Comportamiento higiénico de las abejas africanizadas (*Apis mellifera* scutellata Lepeletier) en apiarios del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 26(2): 167-173.
- Puc, M.J.F., Escamilla, A., Hernández, K.I., Rodríguez, L.M. y Aguilera M.E. (2011). Prevención de varroosis y suplementación. Manual de capacitación. INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología Animal 2011. ISBN: 978-607-425-555-3, Cuajimalpa. D. F. Folleto técnico 6: 9-8.
- Ratnieks, F.L.W., Piery, M.A. and Cuadriello, I. (1991). The natural nest and nest density of the africanized honeybee (Hymenoptera, Apidae) near tapachula, Chiapas, Mexico. *The Canadian Entomologist*, 123(2):353-359.
- SADER, (2020). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/produjo-mexico-61-9-mil-toneladas-de-miel-en-2019-que-representa-6-1-por-cienprodujo-mexico-61-9-mil-toneladas-de-m>.
- SIAP (2020) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Ganadera por estado: http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/indexnal.jsp.
- SIATL-INEGI, (2010) Simulador de Flujos de Agua de Cuenca Hidrográficas. Serie V de uso de suelo y vegetación: unidades climáticas y uso del suelo y vegetación (vectoriales). Recuperado el 2 de noviembre de 2017, de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#.
- Uribe, R.J.L., Guzmán-Novoa, E., Hunt, G.J., Correa, B.A. y Zozaya, R.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): 48-57.
- Vandame, R., Gänz, P., Garibay, S., y Reyes, T. (2012). Manual de apicultura orgánica. Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México 7-42. Recuperado el 3 de noviembre de 2017, de <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/en/publications/vandame-et-al-2012-manual-apicultura.pdf>.
- Won, J.J., Woong, P.K., Hyun, W.O. and Wook. K.H. (2014). Structural and functional differences in the antennal olfactory system of worker honey bees of *Apis mellifera* and *Apis cerana*. *J Asia-Pac Entomol.*, 18 (1): 639-646.
- Wu, M.C., Lu, T.H., Lu, K.H. (2017). PCR-RFLP of mitochondrial DNA reveals two origins of *Apis mellifera* in Taiwan. *Saudi J. Biol Sci.*, 24(5): 1069-1074.