



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en
Zonas Áridas

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE ABEJAS REINA DE
Apis mellifera (HYMENOPTERA: APIDAE) ANTE VARIACIONES
TÉRMICAS.**

T E S I S

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

Presenta:

KAREN FRAIRE GALINDO

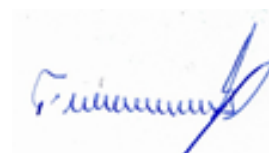
Bajo la supervisión del Dr. Fabián García González

Bermejillo, Durango, México. Mayo 2024



Tesis realizada por **KAREN FRAIRE GALINDO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**



DIRECTOR

Dr. Fabián García González



CO- DIRECTOR

Dr. Pedro Abellán Rodenas



ASESOR

Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa



ASESOR

Dra. Karin Gastreich

Contenido

AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
RESUMEN GENERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I	10
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	10
1.2 JUSTIFICACIÓN	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivo específico	13
1.4 HIPÓTESIS GENERAL	13
1.5 REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
1.5.1 Generalidades sobre <i>Apis mellifera</i>	14
1.5.1 Efecto de las variaciones climáticas en los insectos.....	17
CAPITULO II.....	23
Evaluación del efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfológicas y estructuras reproductivas de abejas reina de <i>Apis mellifera</i>	23
2.1 RESUMEN	24
2.2 INTRODUCCIÓN.....	25
2.3 MATERIAL Y MÉTODOS	27
2.3.1 Ubicación del área de estudio	27
2.3.2 Diseño y conducción experimental.....	27
2.3.3 Análisis estadístico	28
2.4 RESULTADOS	30
2.5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	31
2.6 LITERATURA CITADA	33

Índice de tablas

Tabla 1. Ciclo de vida de <i>Apis mellifera</i> según sus castas. -----	16
Tabla 2. Valores residuales estandarizados. -----	39
Tabla 3. Asociación de Cramer's V. -----	39
Tabla 4. Pruebas Post Hoc de Bonferroni, en la columna izquierda se muestran los tratamientos térmicos testigo, 36°C, 37°C, 38°C y 39°C; mientras que en la columna derecha se presentan los valores de significancia.-----	40
Tabla 5. Diferencias significativas entre tratamientos térmicos considerando las variables evaluadas: Tiempo de Emergencia, Volumen de la Espermoteca y Largo del Tórax. -----	41

Índice de figuras

Figura 1. Correlación entre las variables. -----	42
--	----

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la UACH-URUZA por permitir desarrollarme dentro de sus instalaciones, así como también, por brindar los medios para la realización de mis estudios de posgrado.

Al apicultor Fernando Morales Chávez por su apoyo incondicional y conocimientos compartidos durante el desarrollo del proyecto.

A mi comité asesor: Dr. Fabián García González, Dr. Pedro Abellán Rodenas, Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa y Dra. Karin Gastreich, por las observaciones realizadas y el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este proyecto de investigación.

A los profesores del posgrado que contribuyeron en mi formación durante mi periodo de estudios.

A la M.C. Araceli Sandy y la Ing. Margarita Maldonado, por apoyarme, motivarme y compartir sus conocimientos.

DEDICATORIA

Dedico y agradezco a mis padres, Lucio Fraire García y Marina Galindo Favila, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por los buenos valores que me han inculcado, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi desarrollo personal y profesional, y, sobre todo, por ser un excelente ejemplo en mi vida.

A mi hermano Edgar, del cual espero ser una guía y ejemplo a seguir, y que siempre contará con mi apoyo incondicional.

A Jorge Luis, gracias por apoyarme y estar a mi lado en todo momento.

A aquellos amigos y compañeros que han formado parte de mi desarrollo personal y profesional, gracias por estar a mi lado.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Karen Fraire Galindo.

Fecha de nacimiento: 15 de septiembre de 1999.

Lugar de nacimiento: Diez de Abril, Santa Clara, Durango.

CURP: FAGK990915MDGRLR06

Profesión: Biólogo

Cédula profesional: 13675568



Desarrollo académico

Preparatoria: Colegio de Bachilleres del Estado de Durango #19 plantel “Santa Clara”. Santa Clara, Durango, México. (2014-2017).

Licenciatura: Facultad de Ciencias Biológicas- Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango (2017-2021).

Desarrollo científico

Participación como instructor del curso-taller “Importancia de la polinización de las abejas” en el kínder J. de N. “Francisco Villa”, (2023).

Intervención como moderador en la Convención Nacional “Retos y oportunidades de la extensión rural en México”, organizada por la Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) (2023).

Colaboración como comité organizador del Simposio sobre Agricultura Sostenible de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A. C. (2022).

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE ABEJAS REINA DE *Apis mellifera* (HYMENOPTERA: APIDAE) ANTE VARIACIONES TÉRMICAS.

RESUMEN GENERAL

La calidad de las reinas de las abejas melíferas es fundamental para determinar una producción exitosa de abejas y para una apicultura económicamente redituable. Por lo tanto, una reina de alta calidad es esencial para la supervivencia de la colonia de abejas. Sin embargo, se ha reportado que los factores ambientales pueden llegar a tener un efecto en características morfométricas y fisiológicas de las abejas reina, pudiendo impactar en la productividad y la longevidad de estas, lo cual puede generar una deficiencia en el rendimiento de la colmena. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfométricas y estructuras reproductoras de reinas de *A. mellifera*. Para esto, en el presente estudio se sometieron a los tratamientos térmicos de 37°C, 38°C, 39°C y el testigo, las larvas de abejas reina de *A. mellifera* en sus diferentes etapas de desarrollo para medir el efecto de la temperatura en las variables mencionadas en este estudio. Los resultados sugieren que la temperatura influye durante el proceso de desarrollo de las larvas afectando de manera negativa algunas de sus características morfométricas, así como el tiempo de emergencia. Dentro de las estructuras afectadas se encuentra la espermateca, la cual, de acuerdo a las evidencias disminuye su tamaño conforme aumenta la temperatura de incubación durante su proceso de desarrollo, esto puede llegar a comprometer su capacidad reproductiva ante los escenarios del calentamiento global.

Palabras clave: *Apis mellifera*; abeja reina; reproducción; espermateca; temperatura.

Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.
Autor: Karen Fraire Galindo
Director de tesis: Dr. Fabián García González

EVALUATION OF THE VULNERABILITY OF QUEEN BEES OF *Apis mellifera* (HYMENOPTERA: APIDAE) TO THERMAL VARIATIONS.

GENERAL ABSTRACT

The quality of honey bee queens is essential in determining successful bee production and economically profitable beekeeping. Therefore, a high-quality queen is essential for the survival of the bee colony. However, it has been reported that environmental factors can have an effect on morphometric and physiological characteristics of queen bees, potentially impacting their productivity and longevity, which can generate a deficiency in hive performance. The objective of this work was to evaluate the effect of increasing temperature on mortality, emergence time, morphometric characteristics and reproductive structures of *A. mellifera* queens. For this, in the present study, the queen bee larvae of *A. mellifera* were subjected to the thermal treatments of 37°C, 38°C, 39°C and the control, in their different stages of development, to measure the effect of the temperature in the variables mentioned in this study. The results suggest that temperature influences the development process of larvae, negatively affecting some of their morphometric characteristics, as well as emergence time. Among the affected structures is the spermatheca, which, according to evidence, decreases in size as the incubation temperature increases during its development process. This can compromise its reproductive capacity in the face of global warming scenarios.

Keywords: *Apis mellifera*; queen bee reproduction; spermatheca; temperature.

Thesis of Master of Science in Posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Author: Karen Fraire Galindo
Advisor: Dr. Fabián García González

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Una de las mayores amenazas que ponen en riesgo la biodiversidad a nivel mundial es el cambio climático global (Obeso y Herrera, 2018). De acuerdo a la ONU (Organización de las Naciones Unidas), este hace referencia a los cambios de las temperaturas y los patrones climáticos a largo plazo. Estos cambios han ocurrido de manera natural durante toda la historia de nuestro planeta, desde su formación (hace millones de años) hasta nuestros días (Lastra et al., 2008) lo cual se ve reflejado en el incremento en la temperatura global de 1.8 a 4 °C y cambios en los patrones de lluvia de los escenarios de proyección (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b; Conde, 2010).

El cambio climático es un fenómeno multifacético global que afecta significativamente la distribución y abundancia de los diferentes organismos, como plantas y polinizadores. Por ejemplo, las temperaturas cálidas tienen mayor impacto sobre la dinámica poblacional de los insectos, alterando el ciclo de vida, fecundidad y dispersión, comprometiendo su supervivencia (Vercelli, 2021). Price et al. (2008) y Reddy et al. (2012) documentaron que a efecto del cambio climático los polinizadores disminuían su eficiencia en la polinización de las diferentes especies florísticas. Esto quiere decir que el mutualismo existente planta-insecto está siendo perturbado debido a las alteraciones en las diferentes variables climáticas.

Sin embargo, existe evidencia que las actividades antrópicas contribuyen en la aceleración de estos patrones climáticos, debido a la alteración de los ciclos de los elementos, principalmente los ciclos del carbono y del nitrógeno (Obeso y Herrera, 2018). En este sentido, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publicó la proyección de una serie de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) basados en las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y en los patrones y tendencias de la temperatura en la superficie a escala continental proyectando los posibles cambios sociales,

económicos y ecológicos a nivel global, involucrando los posibles efectos sobre las actividades agropecuarias del sector primario (IPCC, 2021).

La apicultura, como parte del sector primario y al igual que cualquier otra actividad agropecuaria, depende de condiciones climáticas específicas para su óptimo desarrollo (Delgado et al., 2012). Generalmente, esta actividad es asociada específicamente con la producción de miel, sin embargo, también se obtiene una gran gama de productos como polen, jalea real, propóleo y cera. Así mismo, las abejas son fundamentales para mantener el equilibrio en los diferentes ecosistemas y agrosistemas ya que juegan un rol fundamental en la polinización de diferentes especies vegetales. Se estima que, dentro del 90 % de la polinización que ocurre en plantas con flor en todo el mundo, un 67 % es llevado a cabo por insectos, constituyéndose como el grupo de polinizadores más importante, tanto para especies de plantas silvestres como cultivadas (Reyes-Carrillo et al., 2014; Zavala Beltrán et al., 2021).

La apicultura es una actividad que propicia el crecimiento económico del sector primario de países en desarrollo, como México, el cual se ubica en el sexto lugar en producción de miel y ocupa la tercera posición como exportador de dicho producto, esto en un escenario global (Gallardo-López et al., 2021). Así mismo, en el periodo 2014-2018 se registró un promedio de producción anual de 57,995 toneladas de miel en México, siendo 34,000 toneladas exportadas a países como Estados Unidos, Alemania, Bélgica, Arabia Saudita y Reino Unido con un ingreso promedio anual de 124 millones de dólares, lo cual ratifica que la actividad apícola es una fuente primordial de divisas para la economía mexicana (INEGI y AGRICULTURA, 2022).

A. mellifera es una especie de abeja que se caracteriza por su importancia económica a nivel mundial. Esta especie requiere de condiciones de temperatura específicas (34 - 35 °C) dentro de la colmena para su óptimo desarrollo (Jean-Prost, 2007; Le Conte y Navajas, 2008), por lo que la temperatura del ambiente representa el factor abiótico más importante que influye directamente en el óptimo desarrollo de la cría y por consiguiente en el comportamiento y actividades de la población

(Mendizabal, 2005; Ali, 2011). Por ejemplo, está demostrado que la especie *Apis florum* disminuye su actividad de pecoreo en cultivos de mango, con temperaturas superiores a 32 °C (Redy et al., 2012) y *A. mellifera* ha presentado un comportamiento similar en un cultivo de *Guzotia abyssinica* (Asteraceae), bajo las mismas condiciones de temperatura que *A. florum* (Gebremedhn et al., 2014); dejando en evidencia la vulnerabilidad del género y la especie ante los incrementos de temperatura. Así mismo, el desequilibrio en la fenología de las plantas, producto de las variaciones climáticas, es uno de los principales factores que dificultan el acopio de miel (Ma and Ma, 2012). Lo que puede llegar a aumentar la mortandad en las poblaciones de abejas, y en consecuencia reducir el volumen de cosecha de miel para el apicultor (Redy et al., 2012) quien debe de modificar sus labores de manejo para mantener la producción y la salud de las colmenas (Guzmán and Correa, 2012).

En este sentido, Becsi et al. (2021) mencionan que a pesar de la capacidad de adaptación y termorregulación que existe en las colmenas de las abejas melíferas, las diferentes variables climáticas como humedad, precipitación, incremento en la temperatura, radiación global y velocidad del viento, juegan un rol fundamental sobre los efectos en la alimentación y el comportamiento de las abejas melíferas, así como también, en la susceptibilidad a enfermedades.

De esta manera, la escasez de alimento, el desajuste en la dinámica poblacional y las limitaciones de pecoreo son algunos de los impactos potenciales a consecuencia del cambio climático en la actividad apícola (Medina-Flores et al., 2011; Giacobino et al., 2014) representando así, uno de los mayores retos para las organizaciones de productores de miel en México y el mundo (Magaña et al., 2016). Esta condición representa la mayor amenaza para la apicultura en ecosistemas áridos de México, los cuales son considerandos entornos ambientales frágiles y altamente susceptibles a las variaciones climáticas (Becerra et al., 2016).

A pesar de estas afectaciones directas, existen pocos estudios que investiguen la relación entre la vulnerabilidad de abejas melíferas y las condiciones climáticas. Es

por ello, que el presente estudio tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad de la abeja europea *A. mellifera* ante variaciones climáticas de la Comarca Lagunera.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En relación a lo anterior, surge la pregunta sobre si estos aumentos de la temperatura también puedan afectar o generar cambios en algunas otras características morfométricas y estructuras reproductivas de abejas reina de *A. mellifera*. Esta información es de gran importancia en el establecimiento de estrategias y programas en la producción de reinas como alternativa para mitigar los efectos adversos del cambio climático en la Apicultura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad de abejas reina de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) ante variaciones térmicas.

1.3.2 Objetivo específico

- Efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfométricas y estructuras reproductivas de abejas reina de *Apis mellifera*.

1.4 HIPÓTESIS GENERAL

Ha: Las variaciones térmicas afectan la supervivencia, el tiempo de emergencia, las características morfométricas y las estructuras reproductivas de reinas de *Apis mellifera*.

1.5 REVISIÓN DE LITERATURA

1.5.1 Generalidades sobre *Apis mellifera*

1.5.1.1 Taxonomía de *A. mellifera*

La especie de abeja *A. mellifera* (Linnaeus, 1758) pertenece al orden Hymenoptera, familia Apidae, Subfamilia Apinae, Tribu Apini y Género Apis (Sánchez, 2013). Esta especie es considerada una abeja “eusocial” (Honeybee Genome Sequencing Consortium, 2006), es decir, cuentan con una división reproductiva del trabajo dentro de la colmena (una reina: hembra reproductiva; obreras: hembras no reproductivas; zánganos, machos), cuidado cooperativo de la cría (las abejas obreras cuidan a la descendencia de la reina) y generaciones superpuestas (las reinas pueden vivir varios años y coexistir en la colonia con sus crías) (Keller, 2003).

1.5.1.2 Razas de *A. mellifera*

Las distintas razas de abejas, presentan variaciones en caracteres tales como: tamaño, forma, color y a nivel de las alas (Ruttner, 1988). Según Verde (2014), entre las distintas razas de las abejas que poseen mayor importancia en la apicultura de américa latina podemos mencionar: la abeja italiana (*Apis mellifera ligustica*), la abeja caucásica (*Apis mellifera caucásica*), la abeja carneolas (*Apis melifera carnica*), la abeja africana (*Apis mellifera scutella*), la abeja Chiprista (*Apis mellifera cypria*) y la abeja egipcia (*Apis mellifera fasciata*).

1.5.1.3 Castas y ciclo de vida de *A. mellifera*

Las abejas de todas las razas poseen una jerarquía bien definida (Quero, 2004), todo enjambre está constituido por tres tipos de individuos o castas (Cepero, 2016), que no sólo se diferencian entre sí por su morfología y fisiología, sino también por su papel biológico en la colmena (Zarco, 2014). Las castas se identifican como reina, zánganos y obreras; de estas la reina es la predominante de la colonia ya que es quien lleva el control de la dinámica de la misma (Guaya, 2016). Estas castas tienen una población cuya cantidad fluctúa en dependencia de las condiciones de alimentación disponible. (Duttmann *et al.*, 2013)

De acuerdo a Hernández-López *et al.* (2015), la abeja reina de *A. mellifera* puede vivir de 3 a 4 años, contiene un aguijón que solo utiliza para defenderse de otros depredadores o cuando hay más zánganos en la colonia de lo normal, y oviposita aproximadamente de 2000 a 3000 huevecillos por día.

En el caso de los zánganos, se menciona que son los machos de la colonia de abejas, los que fecundan a las reinas. Estos nacen de huevos que no son fecundados y en celdas más grandes que el de las obreras normalmente. Existen de 300 a 500 zánganos en las colmenas aproximadamente, y en épocas de escasez de alimento estos son expulsados de la colmena, ya que la única función que cumplen es fecundar a la reina y sin alimento la reina no produce huevos ya que lo poco que producen las obreras es para la alimentación de la madre (Agila, 2015).

En el caso de las abejas obreras, durante su ciclo de vida cumplen diversas funciones que permiten la supervivencia de la colmena (Macias *et al.*, 2020), la cuales se describen a continuación.

Obreras limpiadoras. - según Piedra (2017), estas abejas son las encargadas de sacar todo lo que esté contaminado dentro de la colmena, y además limpian cada una de las celdas donde la abeja reina pondrá los nuevos huevos. Esta actividad la realizan a partir de los 3 días de nacidas.

Obreras nodrizas. - son las abejas más jóvenes de la colmena, ya que a esta edad son las únicas de la colonia que poseen las glándulas hipo-faríngeas, que son las glándulas productoras de jalea real con la que tendrán que alimentar a las demás

crías. Esta actividad la realizan hasta los primeros 15 días de vida ya que son los días que funcionan estas glándulas (Piedra 2017).

Obreras cereras. - Chorlango (2015) reporta que a los 18 días después de nacidas estas son las encargadas de construir las celdas de la colmena, lo que realizan gracias a que a esta edad poseen unas glándulas cereras que se encuentran ubicadas en la parte inferior de su abdomen; con el segundo par de patas estas vacían la cera, que a su vez la amasan y la vuelven más flexible con las mandíbulas.

Obreras guardianas. - Son las abejas encargadas de proteger a la columna de posibles amenazas de depredadores como hormigas, avispas e incluso de expulsar a los zánganos (Chorlango, 2015).

Obreras ventiladoras. - De acuerdo a la teoría de Chorlango (2015), estas proporcionan un ambiente fresco a la colmena, esto por la acción de sus alas que, además que esta acción hace que se evapore el agua en exceso que se encuentra en el interior de la colmena y elimina el dióxido de carbono de la misma.

Obreras percoladoras. - Su función principal es la de ir de flor en flor a recolectar el néctar, polen y propóleos que son los productos finales más importantes para la comercialización (Reyes, 2012).

En lo que respecta al ciclo biológico, Vázquez et al. (2012) señalan que el ciclo de vida de las castas se clasifica en huevo, larva, pupa, pre pupa y adulto; el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ciclo de vida de *Apis mellifera* según sus castas. (obtenido de Jean-Prost, 2007)

Ciclo Biológico	Días del ciclo de vida de acuerdo a las castas		
	Reina	Obrera	Zángano
Huevo	3	3	3
Larva	6	7	7
Pupa	1	1	1
Pre pupa	7	10	14
Adulto	16	20	24

1.5.1 Efecto de las variaciones climáticas en los insectos

Se ha comentado que los insectos pueden ser especialmente sensibles a las fluctuaciones en el clima, ya que su fisiología se ve predominantemente afectada por factores ambientales al igual que los de otros pequeños ectotermos (Bale et al., 2002; Wilson et al., 2007), y estas variaciones climáticas pueden llegar a tener efectos en las características físicas de los insectos (Gibbs et al., 2011; Xi et al. 2016). Por ejemplo, en el caso de la especie *Culex quinquefasciatus* se documentó que cuando las larvas de esta especie son sometidas a temperaturas superiores a los 30 °C, los individuos tienden a reducir significativamente las dimensiones de las partes del cuerpo, presentando índices de aptitud biológica reducidos (Ukubuiwe et al., 2019).

En relación a lo anterior, se ha documentado que la temperatura óptima de la colmena de *A. mellifera* oscila entre los 34°C y 36°C (Galvani, 2022), así mismo Heinrich (1993) y Winston (1991) señalan que el desarrollo adecuado de las larvas se lleva a cabo dentro del rango térmico de 32°C a 36°C. En este contexto, Valega (2007) reporta que el desarrollo de las reinas, desde la operculación de la celda real hasta la emergencia de la reina, requiere de condiciones adecuadas de temperatura proponiendo tratamientos térmicos que estén alrededor de los 35°C. Por otro lado, Anguiano-Baez (2022) menciona que es importante mantener una temperatura constante de 33.8°C en la fase larval, ya que cualquier cambio repentino o prolongado podría generar consecuencias negativas como alas subdesarrolladas o retrasaría el crecimiento de las reinas.

1.6 LITERATURA CITADA

- Agila, R. (2015). Diagnóstico de la producción apícola y melipónica en los cantones Macará, Paltas y Gonzanamá de la provincia de Loja.
- Anguiano-Baez, R., Correa-Benítez, A., Gris-Valle, A. G., Vasquez-Valencia, I. (2022). Cría de reinas (*Apis mellifera* L.). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 10(3), 37-101. ISBN: 978-607-30-6002-8.
- Ali, M. A. M. (2011). Comparative study for evaluating two honey bee races, *Apis mellifera jementica* (indigenous race) and *Apis mellifera carnica* (carniolan race) in brood production, population development and foraging activity under the environmental conditions of the central region of the Kingdom of Saudi Arabia. *Annals of Agricultural Sciences*, 56(2), 127-134.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., ... & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global change biology*, 8(1), 1-16.
- Becerra-López, J. L., Romero-Méndez, U., Ramírez-Bautista, A., & Becerra-López, J. S. (2016). Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 5(7), 1514-1525.
- Becsi, B., Formayer, H., & Brodschneider, R. (2021). A biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *Royal Society open science*, 8(9), 210618.
- Cepero Rodríguez, A. (2016). Monitorización de los principales patógenos de las abejas para la detección de alertas y riesgos sanitarios.
- Conde Álvarez, A. C. (2010). Cambio climático: de lo inequívoco a lo incierto. Delgado, Gian Carlo, Carlos Gay, Mireya Imaz y María Amparo Martínez (coords.), *México frente al cambio climático. Retos y oportunidades. México, UNAM-CCA/CEIICH/PINCC/PUMA*, 240.

- Delgado, D. L., Pérez, M. E., Galindo-Cardona, A., Giray, T., & Restrepo, C. (2012). Forecasting the influence of climate change on agroecosystem services: potential impacts on honey yields in a small-island developing state. *Psyche*, 2012.
- Duttmann, C., Demedio, J., & Verde, M. (2013). La apicultura y factores que influyen en producción, calidad, inocuidad y comercio de la miel. Nicaragua: Investigación Intersectorial de la Sanidad Apícola en el Occidente de Nicaragua.
- Gallardo-López, F., Castellanos-Potenciano, B. P., Díaz-Padilla, G., Pérez-Vásquez, A., Landeros-Sánchez, C., & Sol-Sánchez, Á. (2021). Disonancia cognitiva ante el cambio climático en apicultores: un caso de estudio en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(1), 238-255.
- Galvani, G. (2022). Monitoreo continuo de las condiciones internas en la colmena de *Apis mellifera* y su relación con la presencia de Varroa.
- Gebremedhn, H., Tadesse, A., & Belay, T. (2014). Relating climatic factors to foraging behavior of honeybees (*Apis mellifera*) during blooming period of *Guizotia abyssinica* (LF). *Livestock Research for Rural Development*, 26(4), 2-7.
- Giacobino, A., Cagnolo, N. B., Merke, J., Orellano, E., Bertozzi, E., Masciangelo, G., ... & Signorini, M. (2014). Risk factors associated with the presence of Varroa destructor in honey bee colonies from east-central Argentina. *Preventive Veterinary Medicine*, 115(3-4), 280-287.
- Gibbs, M., Wiklund, C., & Van Dyck, H. (2011). Temperature, rainfall and butterfly morphology: does life history theory match the observed pattern?. *Ecography*, 34(2), 336-344.
- Guaya, P. (2016). Efecto del suplemento energético y proteico en la población de abejas (*Apis mellifera*) en épocas de escasez de floración e incidencia en la producción de miel (Doctoral dissertation, Tesis de Grado. Carrera de

- Medicina Veterinaria y Zootécnica. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador).
- Guzmán Novoa, E., & Correa Benítez, A. (2012). Patología, diagnóstico y control de las principales enfermedades y plagas de las abejas melíferas.
- Heinrich, B. (1993). The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation. Harvard University Press.
- Hernández-López, A., Pinto-Ruiz, R., Medina-Jonapá, F. J., Gómez-Castro, H., Ordóñez-Pérez, S. I., Velázquez-Roblero, L. A., & Guevara-Hernández, F. (2015). Alimentación energética con azúcar y melaza en la producción de abejas reina (*Apis mellifera* L.) por el método Doolittle. *Quehacer Científico En Chiapas*, 10(1), 23-28.
- Honeybee Genome Sequencing Consortium. (2006). Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature*, 443(7114), 931.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (AGRICULTURA, antes SAGARPA). (día de consulta: abril 19, 2022). AGRICULTURA (<https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/index.html>).
- IPCC. (2021). Cambio climático 2021. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2014 impactos adaptación y vulnerabilidad. In: II G. d. t.s (ed.). p. 30.
- IPCC. (2014b). Cambio climático 2014 mitigación del cambio climático. In: Grupo de trabajo IIIs (ed.). Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. p. 35.
- Jean-Prost, P. (2007). Apicultura: conocimiento de la abeja. Manejo de la colmena. Mundi-Prensa Libros.

- Keller, L. (2003). Behavioral plasticity: levels of sociality in bees. *Current Biology*, 13(16), R644-R645.
- Lastra, J. A. S., Carmona, M. L., & Mendoza, S. L. (2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 4(3), 625-634.
- Le Conte, Y. y Navajas, M. (2008). Cambio climático: impacto en las poblaciones y enfermedades de las abejas melíferas. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 27 (2), 499-510.
- Sanchez, R. (2013). Crianza y producción de apicultura. En R. Sanchez, *Crianza y producción de apicultura* (pág. 134). Lima - Peru: Primera.
- Ma, G., & Ma, C. S. (2012). Effect of acclimation on heat-escape temperatures of two aphid species: implications for estimating behavioral response of insects to climate warming. *Journal of insect physiology*, 58(3), 303-309.
- Macias Socorràs , I., Arteaga Figueroa, G. y Drouet Candell, A. (2020). Producción apícola en la provincia de Santa Elena. Febrero 2020 ed. Santa Elena (Santa Elena): Binario.
- Magaña Magaña, M. A., Tavera Cortés, M. E., Salazar Barrientos, L. L., & Sanginés García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1103-1115.
- Medina-Flores, C. A., Guzmán-Novoa, E., Aréchiga-Flores, C. F., Aguilera-Soto, J. I., & Gutiérrez-Piña, F. J. (2011). Efecto del nivel de infestación de Varroa destructor sobre la producción de miel de colonias de Apis mellifera en el altiplano semiárido de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(3), 313-317.
- Mendizabal F. (2005). Abejas. Buenos Aires-República de Argentina. 255 pp.
- Obeso, J. R., & Herrera, J. M. (2018). Polinizadores y cambio climático. *Ecosistemas*, 27(2), 52-59.

- Piedra Flores, M. R. (2017). Evaluación de la suplementación de una fórmula nutricional a base de vitaminas, minerales y aminoácidos a abejas melíferas (*Apis mellífera*), medida a través del peso de la colmena, porcentaje de postura de la reina (cria operculada) y cantidad de proteína (Doctoral dissertation, Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador).
- Price, M. V., Campbell, D. R., Waser, N. M., & Brody, A. K. (2008). Bridging the generation gap in plants: pollination, parental fecundity, and offspring demography. *Ecology*, 89(6), 1596-1604.
- Quero, A. (2004). Curso de verano: Las abejas y la apicultura en Asturias. Universidad de Oviedo. Recuperado de: http://www.fapas.es/proyectos/documentos/abejas_y_apicultura.pdf.
- Reddy, P. R., Verghese, A., & Rajan, V. V. (2012). Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 18(2), 121-127.
- Reyes, F. (2012). Evaluación de crías de abejas reinas (*Apis mellifera* criolla), fecundadas mediante inseminación artificial. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja.
- Reyes-Carrillo, J. L., Galarza-Mendoza, J. L., Muñoz-Soto, R., & Moreno-Reséndez, A. (2014). Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 215-228.
- Ruttner, F. (2013). *Biogeography and taxonomy of honeybees*. Springer Science & Business Media.
- Simbaña Chorlango, H. (2015). Evaluación de tres métodos de reproducción de abejas reinas de la especie (*Apis mellífera*) en el cantón Pedro Moncayo 2012 (Bachelor's thesis).
- Ukubuiwe, C. A., Olayemi, I. K., Arimoro, F. O., Omalu, I. C., Adeniyi, K. A., & Jibrin, A. I. (2019). Influence of Fluctuating Temperatures on Morphometry of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) Mosquito 1.

- Vazquez, R., Ortega, N., Martinez, R. & Maldonado, W. (2012). Manual tecnico de apicultura. Primera ed. s.l.:Produmedios.
- Valega, O. (2007). Cría de reinas. Apícola Don Guillermo. Argentina.
- Vercelli, M.; Novelli, S.; Ferrazzi, P.; Lentini, G.; Ferracini, C. A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Management Adaptations to the Impact of Climate Change on Honey Bees. *Insects* 2021, 12, 228. <https://doi.org/10.3390/insects12030228>
- Verde, M. M. (2014). Apicultura y seguridad alimentaria. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 25-31.
- Winston, M. L. (1991). The biology of the honey bee. harvard university press.
- Wilson, R. J., Davies, Z. G., & Thomas, C. D. (2007, January). Insects and climate change: processes, patterns and implications for conservation. In *Insect Conservation Biology. Proceedings of the Royal Entomological Society's 22nd Symposium*. CAB International Publishing (pp. 245-279).
- Xi, X., Wu, X., Nylin, S., & Sun, S. (2016). Body size response to warming: time of the season matters in a tephritid fly. *Oikos*, 125(3), 386-394.
- Zarco, J. (2014). De abejas reinas y obreras: Más allá de la identidad genética. Universidad Nacional Autonoma de México. México D.F.: UNAM. Obtenido de http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/307_cienciorama.pdf
- Zavala Beltrán, J. I., López Santiago, M. A., Valdivia Alcalá, R., & Montiel Batalla, B. M. (2021). Análisis de la rentabilidad apícola por estratos en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 453-468.

CAPITULO II

Efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfométricas y estructuras reproductivas de abejas reina de *Apis mellifera*

Karen Fraire-Galindo¹, Fabián García-González^{1*}, Pedro Abellán-Rodenas²,
Miguel Ángel Mata-Espinosa¹ y Karin Gastreich³

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Universidad Autónoma Chapingo, Durango, 35230, México.

² Department of Zoology, Faculty of Biology, University of Seville, Seville, Spain.

³ AP Environmental Science, The College Board, United States of America.

* Correspondence: biolfraire@gmail.com

2.1 RESUMEN

La calidad de las reinas de las abejas melíferas es fundamental para determinar una producción exitosa de abejas y para una apicultura económicamente redituable. Por lo tanto, una reina de alta calidad es esencial para la supervivencia de la colonia de abejas. Se ha reportado que los factores ambientales pueden llegar a tener un efecto en características morfométricas y fisiológicas de las abejas reina, pudiendo impactar en la productividad y la longevidad de estas, lo cual puede generar una deficiencia en el rendimiento de la colmena. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfométricas y estructuras reproductoras de reinas de *A. mellifera*. Para esto, en el presente estudio se sometieron a los tratamientos térmicos de 37°C, 38°C, 39°C y el testigo, las larvas de abejas reina de *A. mellifera* en sus diferentes etapas de desarrollo para medir el efecto de la temperatura en las variables mencionadas en este estudio. Los resultados sugieren que la temperatura influye durante el proceso de desarrollo de las larvas afectando de manera negativa sus características morfométricas, así como el tiempo de emergencia. Dentro de las estructuras afectadas se encuentra la espermoteca, la cual, de acuerdo a las evidencias disminuye su tamaño conforme aumenta la temperatura de incubación durante su proceso de desarrollo, esto puede llegar a comprometer su capacidad reproductiva ante los escenarios del calentamiento global.

Palabras clave: *Apis mellifera*; abeja reina; reproducción; espermoteca; temperatura

2.2 ABSTRACT

The quality of honey bee queens is essential in determining successful bee production and economically profitable beekeeping. Therefore, a high-quality queen is essential for the survival of the bee colony. However, it has been reported that environmental factors can have an effect on morphometric and physiological characteristics of queen bees, potentially impacting their productivity and longevity, which can generate a deficiency in hive performance. The objective of this work was to evaluate the effect of increasing temperature on mortality, emergence time, morphometric characteristics and reproductive structures of *A. mellifera* queens. For this, in the present study, the queen bee larvae of *A. mellifera* were subjected to the thermal treatments of 37°C, 38°C, 39°C and the control, in their different stages of

development, to measure the effect of the temperature in the variables mentioned in this study. The results suggest that temperature influences the development process of larvae, negatively affecting some of their morphometric characteristics, as well as emergence time. Among the affected structures is the spermatheca, which, according to evidence, decreases in size as the incubation temperature increases during its development process. This may compromise its reproductive capacity in the face of global warming scenarios.

Keywords: *Apis mellifera*; Queen bee; reproduction; spermatheca; temperatura.

2.3 INTRODUCCIÓN

En el de México, la actividad apícola beneficia a 43,000 apicultores (Sánchez et al., 2022), lo que la lleva a ser una actividad de enorme importancia socioeconómica para este país (Tapia-González et al., 2021) y un factor relevante para el crecimiento económico del sector primario, representando una fuente importante de empleos e ingresos en el medio rural (Magaña et al., 2016) y de divisas para el país (SAGARPA, 2010), el 60 % de las colmenas pertenecen a pequeños productores con un nivel de tecnificación bajo (Vélez et al., 2016) y en donde a la producción de reinas de buena calidad se le concede poca importancia (Arslan et al., 2021).

En este sentido, la calidad de las reinas de las abejas melíferas es fundamental para determinar una producción exitosa de abejas y para una apicultura económicamente redituable (Büchler, et al., 2024). Por lo tanto, una reina de alta calidad es esencial para la supervivencia de la colonia de abejas, no sólo por su capacidad para poner un gran número de huevos de hembras y machos, sino también por su importancia en el desarrollo social de la colonia a través de la emisión de feromonas (Abou-Shaara et al., 2021; Amiri et al., 2017; Heidinger et al., 2014; El-Niweiri & Moritz, 2011; Cobey, 2007; Higo et al., 1992; Gary, 1962; Tibor et al., 1987; Lensky & Demter, 1985).

De acuerdo Mattiello et al. (2022), la calidad de las reinas puede ser determinada midiendo sus características físicas como peso, ancho de tórax y cabeza, número de ovarios, tamaño espermatecal, número de espermatozoides almacenados, entre otros. Sin embargo, se ha reportado que los factores ambientales pueden llegar a tener un efecto sobre estas características (Okuyan y Akyol, 2018, Lee et al., 2019,

Prešern y Škerl, 2019). Lo cual puede tener un impacto directo en la eficiencia de la colmena (Sanin-Hernández, 2021). Por ejemplo, se ha documentado que la capacidad de una reina para almacenar esperma dependiendo del tamaño de las espermatecas se asoció con la productividad y la longevidad de la reina (Woyke, 1971; Rhodes y Somerville, 2003).

En relación a lo anterior, se ha comentado que los insectos pueden ser especialmente sensibles a las fluctuaciones en el clima, ya que su fisiología se ve predominantemente afectada por factores ambientales al igual que los de otros pequeños ectotermos, (Bale et al., 2002; Wilson et al., 2007) y estas variaciones climáticas pueden llegar a tener efectos en las características físicas de los insectos (Gibbs et al., 2011; Xi et al. 2016). Por ejemplo, en el caso de la especie *Culex quinquefasciatus* se documentó que cuando las larvas de esta especie son sometidas a temperaturas superiores a los 30 °C, los individuos tienden a reducir significativamente las dimensiones de las partes del cuerpo, presentando índices de aptitud biológica reducidos (Ukubuiwe et al., 2019).

En este contexto, considerando que las reinas son de gran relevancia para la actividad apícola (Dolasevic et al., 2020) y que en la zona norte de México se ha tenido un incremento de la temperatura de >1.5°C y una disminución de la precipitación del 3% al 8% a partir de la década de 1970 (Cuervo-Robayo et al., 2020), es necesario la generación de información sobre el efecto de las variaciones térmicas durante el desarrollo de la etapa larval de *Apis mellifera* y su relación con las características morfométricas y estructuras reproductoras.

Con base en lo antes señalado, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del aumento de la temperatura en la mortalidad, tiempo de emergencia, características morfométricas y estructuras reproductoras de reinas de *A. mellifera*. Esta información podrá permitir la generación y establecimiento de estrategias de adaptación ante el calentamiento global en la producción de reinas de calidad en México. Lo cual es de gran importancia considerando que, en las siguientes décadas, bajo un escenario con altas emisiones de gases de efecto invernadero, se

espera que la temperatura ambiental incremente hasta 6°C más en México (Estrada et al., 2023), lo que puede llegar a comprometer la actividad apícola de este país.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Ubicación del área de estudio.

El estudio se llevó a cabo durante los años 2022 y 2023, en el rancho El Carmen perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Su ubicación geográfica se encuentra entre las coordenadas geográficas: 25°53'54.02" N y -103°35'59.70" O, a una altitud de 1200 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1993), el clima del área es del tipo BWhw(e), el cual corresponde al tipo de clima muy árido, semicálido con lluvias en verano y con temperaturas máximas y mínimas extremas en verano e invierno, respectivamente. La precipitación anual promedio es de 240 mm (García, 1993).

2.4.2 Diseño y conducción experimental.

De manera aleatoria se seleccionaron tres reinas progenitoras de *A. mellifera*, híbrida carneola-italiana, las cuales fueron colocadas en colmenas tipo Jumbo con la finalidad de ser empleadas como donadoras de larvas. A cada reina instalada, se le proporcionó un período de 15 días para su estabilización e inicio de oviposición. Posterior a esto, se llevó a cabo la selección de larvas mediante un muestreo aleatorio simple para ser sometidas a los tratamientos térmicos de 36°C, 37°C, 38°C, 39°C y el Testigo. Para cada tratamiento térmico se colocó un total de 21 larvas, los tratamientos consistieron en exponer a las larvas durante tres horas en un período de cinco días consecutivos, registrando cada día de exposición la mortalidad de larvas y/o prepupas; Posteriormente, de haber transcurrido los cinco días de exposición, para cada tratamiento térmico, se midió el largo de las celdas reales (TCR) una vez que estaban completamente selladas, esto con el apoyo de

un Vernier digital Faurite. A continuación, para cada tratamiento térmico, las celdas reales fueron enumeradas, se enjaularon y se colocaron dentro de las colmenas iniciadoras. El Tiempo de Emergencia se monitoreó diariamente contando los días que tardaban en nacer, para esto se tomó como base el ciclo biológico de las abejas reina (Jean-Prost, 2007); una vez emergidas las abejas reina, fueron trasladadas al laboratorio para ser pesadas en una balanza analítica digital Modelo H-5276 (OHAUS Adventurer®). El pesaje se realizó conforme las reinas emergían de la celda real.

Posteriormente, las abejas reinas fueron enjauladas con un séquito de abejas obreras, se les colocó alimento y agua hasta el cumplimiento de su maduración sexual, el cual es a partir de los cinco días de la emergencia. Para la medición morfométrica, en el sexto día posterior a su emergencia, las abejas reina fueron sacrificadas bajo el método de Cámara letal (Gómez & Jones, 2002). Las estructuras morfológicas consideradas para su medición fueron: Ancho de la Cabeza, Largo de la Cabeza, Ancho del Tórax, Largo del Tórax, Ancho del Abdomen, Largo del Abdomen y Tamaño de la Reina.

Finalmente, las abejas reinas fueron disectadas y se les extrajo la espermateca. Con la implementación del software ImageJ 1.54d, se determinó el Perímetro y el Volumen de cada una de las espermatecas, de todo lo anterior se realizaron dos repeticiones.

2.4.3 Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos fueron desarrollados a través del programa R Project (V4.3.1). Empleando la librería *nortest* (Gross y Ligges, 2015), a cada una de las variables registradas se le evaluó la normalidad de los datos considerando los diferentes tratamientos térmicos antes señalados. Para esto, se utilizó la prueba Shapiro-Wilk ya que ninguno de los tratamientos presentó 50 datos o más (Shapiro and Wilk, 1965). Las pruebas de normalidad juegan un papel trascendental en la investigación científica, ya que permiten definir si los análisis posteriores deberán ser realizados bajo un enfoque paramétrico o no paramétrico (Zar, 1999).

Considerando que no todas las variables en estudio presentaron valores de significancia superiores a 0.05, se decidió trabajar los posteriores análisis estadísticos bajo el enfoque de la estadística no paramétrica (Zar, 1999); de esta manera, para evaluar si la muerte de larvas de abejas reina se relaciona con los tratamientos térmicos establecidos en este estudio, en el programa R Project, empleando la librería *vcd* (Meyer et al., 2020) se realizó una prueba de Chi Cuadrada por Tablas de Contingencia y posteriormente se desarrollaron comparaciones *Post Hoc*. Para esto, se analizaron los valores residuales de Pearson con la finalidad de determinar en qué tratamientos el número de observaciones difiere significativamente de lo esperado. Posteriormente, se dividió la base de datos en tablas 2X2 y se repitió la prueba de Chi Cuadrada. Así mismo, se llevó a cabo el análisis de Asociación Cramer's V.

Por otra parte, se evaluó la intensidad de la relación entre las variables Largo de la Celda Real, Tiempo de Emergencia, Peso de la Reina al Emerger, Perímetro de la Espermateca, Volumen de la Espermateca, Ancho de la Cabeza, Largo de la Cabeza Ancho del Tórax, Largo del Tórax, Ancho del Abdomen, Largo del Abdomen y Tamaño de la Reina. Para esto, considerando que no todas las variables cumplieron el supuesto de normalidad, en el programa R Project y a través de la librería *PerformanceAnalytics* (Peterson et al., 2018), se procedió a evaluar la correlación, empleando el método de Spearman, entre variables en estudio. Esto con la finalidad de eliminar aquellas variables que tuvieran una correlación mayor a 0.6 y de esta manera disminuir el error de colinealidad.

Con las variables seleccionadas, empleando la librería *vegan* (vegan et al., 2018), se implementó el Análisis Multivariado Permutado de la Varianza (PERMANOVA) con la finalidad de evaluar diferencias significativas entre tratamientos térmicos para estas variables. Así mismo, se llevó a cabo una prueba *Post-Hoc* bajo el método de Bonferroni, este método permite trabajar con grupos que tengan tamaños desiguales, trabaja con intervalos de confianza más estrechos, lo que significa que tiene una mayor capacidad para detectar diferencias reales entre los grupos de interés (Zar, 1999).

2.5 RESULTADOS

La prueba Chi cuadrada mostró diferencias estadísticamente significativas ($X^2 = 41.207$, $df = 4$, $p\text{-value} = 0.000000024$), por lo que se debe aceptar la hipótesis alterna que indica que la sobrevivencia de abejas reina de *A. mellifera* está relacionada con los tratamientos térmicos. Los valores residuales estandarizados de Pearson indican que las mayores desviaciones respecto a los valores esperados se dan en los tratamientos térmicos de 39°C y 38°C (Tabla 2), las pruebas de X^2 en tablas de 2x2 indican diferencias significativas al comparar el Testigo vs. 39°C, 36°C vs. 39°C, 37°C vs. 38°C y 38°C vs. 39°C, con tamaño de asociación Cramer's V moderados (Tabla 3).

El análisis de correlación muestra resultados que indican que las variables Perímetro de la Espermateca y Volumen de la Espermateca mostraron una correlación de 0.96, mientras que la correlación entre las variables Largo del Abdomen y Tamaño de la Reina fue de 0.84; el resto de las combinaciones presentaron valores de correlación menores a 0.6 (Figura 1). De esta manera, las variables seleccionadas para el análisis de PERMANOVA fueron: Largo de la Celda Real, Tiempo de Emergencia, Peso de la Reina al Emerger, Volumen de la Espermateca, Ancho de la Cabeza, Largo de la Cabeza, Ancho del Tórax, Largo del Tórax, Ancho del Abdomen y Tamaño de la Reina.

El análisis PERMANOVA indica que al menos uno de los tratamientos térmicos es distinto en relación a las variables Largo de la Celda Real, Tiempo de Emergencia, Peso de la Reina al Emerger, Volumen de la Espermateca, Ancho de la Cabeza, Largo de la Cabeza, Ancho del Tórax, Largo del Tórax, Ancho del Abdomen y Tamaño de la Reina ($Df=5$; $R^2=0.244$; $F= 5.319$; $P= 0.0001$). Mientras que las pruebas Post Hoc de Bonferroni indican que solo los tratamientos testigo y 36°C no presentaron diferencias significativas (Tabla 4).

Asimismo, esta prueba de Bonferroni señala que las diferencias entre el testigo y los tratamientos térmicos de 37°C, 38°C y 39°C están determinadas por las variables Tiempo de Emergencia y Volumen de la Espermateca; las diferencias identificadas entre el tratamiento de 36°C los tratamientos 37°C, 38°C y 39°C están

influenciadas por las variables Tiempo de Emergencia, Largo del Tórax y Volumen de la Espermateca; las diferencias identificadas entre el tratamiento de 37°C respecto a los tratamientos de 38°C y 39°C son explicadas por las variables Tiempo de Emergencia, Largo del Tórax y Volumen de la Espermateca. Mientras que mientras que el tratamiento de 38°C también presentó diferencias al ser comparado con el tratamiento de 39°C y son las variables Tiempo de Emergencia y Volumen de la Espermateca quienes definen estas diferencias (Tabla 4).

2.6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Nuestros resultados indican que las variables Tiempo de Emergencia y Volumen de la Espermateca presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de estrés térmico al que fueron sometidas las larvas de abejas reina de *A. mellifera*. Para la variable Tiempo de Emergencia el grupo Testigo mostró diferencias significativas respecto a los tratamientos térmicos de 37°C y 39°C, mientras que para los tratamientos 36°C y 38°C no se presentaron diferencias significativas, lo cual sugiere una ausencia de relación entre el aumento de temperatura y el Tiempo de Emergencia. Al respecto, Büchler et al. (2013) y Arslan et al. (2021), han mencionado que factores como la estación del año, la población inicial de la colmena, la cantidad y calidad de néctar, el polen que llega a la colmena inicial, las condiciones climáticas y la genética son factores que pueden influir en el Tiempo de Emergencia. Bajo este antecedente, y considerando nuestros resultados, es posible señalar que las variaciones en Tiempo de Emergencia identificados en este estudio no están condicionadas por la exposición al estrés térmico, esto sugiere que las variaciones encontradas probablemente se deben a factores no considerados en el estudio.

Por otra parte, en contraste a lo antes señalado, nuestros resultados indican que el incremento de la temperatura, durante el proceso de desarrollo de larvas y pupas de las reinas de *A. mellifera*, influye en las dimensiones de la espermateca mostrando una tendencia a disminuir su volumen conforme la temperatura incrementa. De acuerdo a Galvani (2022), la temperatura óptima de la colmena oscila entre los 34°C y 36°C, así mismo Heinrich (1993) y Winston (1991) señalan

que el desarrollo adecuado de las larvas se lleva a cabo dentro del rango térmico de 32°C a 36°C. En relación a esto, nuestros resultados indican que a pesar de que las larvas sometidas a periodos de estrés térmico de 36°C y 37°C presentaron un Volumen de la Espermateca inferior al del grupo Testigo, no se encontraron diferencias significativas entre sus medias lo cual concuerda con lo propuesto por Heinrich (1993) y Winston (1991). En este sentido, los volúmenes de las espermatecas obtenidos entre de los tratamientos de 36°C y 37°C no mostraron diferencias significativas respecto a los resultados obtenidos bajo el tratamiento de 38°C. Esto sugiere que, para nuestro caso de estudio, el punto de afectación durante el desarrollo de las reinas ocurre a partir de los 39°C.

Valega (2007), reporta que el desarrollo de las reinas, desde la operculación de la celda real hasta la emergencia de la reina, requiere de condiciones adecuadas de temperatura proponiendo tratamientos térmicos que estén alrededor de los 35°C. Mientras que, Anguiano-Baez (2022) menciona que es importante mantener una temperatura constante de 33.8°C en la fase larval, ya que cualquier cambio repentino o prolongado podría generar consecuencias negativas como alas subdesarrolladas o retrasaría el crecimiento de las reinas. En relación a lo señalado, nuestros resultados indican que el control de temperatura durante el proceso de producción de abejas reina debe considerarse desde la fase de larva y pupa, lo cual coincide con lo propuesto por Anguiano-Baez (2022), sin embargo, a diferencia del rango térmico óptimo propuesto por este autor, nuestros resultados sugieren que el rango idóneo para las larvas va de los 32°C a los 38°C, más allá de este rango térmico las estructuras reproductoras como lo es la espermateca se verá afectada, tendiendo a ser de menor tamaño, lo cual pudiera tener consecuencias negativas en su capacidad reproductiva.

En relación a lo anterior, diversos investigadores han informado que existe una alta correlación en el Volumen de la Espermateca y la cantidad de espermatozoides almacenados en esta estructura (Gilley et al., 2003, Dodologlu et al., 2004, Arslan y Arslan, 2015). Así mismo, Woyke (1971), Rhodes y Somerville (2003) y Carreck et al., (2013), comentan que la capacidad de una reina para almacenar esperma,

dependiendo del tamaño de la espermateca, se asocia a la productividad y longevidad, ya que aquellas reinas que almacenan una mayor cantidad de espermatozoides tienden a vivir más tiempo. Bajo este criterio, para nuestro caso de estudio se esperaría que en aquellas larvas sometidas a periodos de al menos tres horas durante seis días consecutivos de estrés térmico de 39°C o más, presenten una menor capacidad reproductiva y en consecuencia ciclos de vida cortos.

A manera de conclusión, tomando como referencia que para el período 2021-2040 se espera un incremento en la temperatura y una escasez en la precipitación para la región de norte América (Becerra-López et al., 2022) y considerando que el 60% de las colmenas que existen en México pertenecen a apicultores que tienen un bajo grado de tecnificación (Vélez et al., 2016), la actividad apícola en ecosistemas áridos de México podría verse comprometida ante el aumento de la temperatura ambiental, por lo que los programas de adaptación de la apicultura ante el calentamiento global deben considerar la importancia del control de la temperatura dentro de las colmenas durante el proceso de producción de abejas reinas y considerar el tamaño de la espermateca como un criterio que permita evaluar la calidad de la reina, ya que las espermatecas con mayor volumen aumenta la probabilidad de tener abejas reinas con una mayor longevidad y capacidad reproductiva (Woyke, 1971; Rhodes y Somerville 2003; Carreck et al., 2013).

2.7 LITERATURA CITADA

Abou-Shaara, H. F., Adgaba, N., & Al-Ghamdi, A. A. (2021). Current knowledge about behaviors of honey bee queens with highlighting of the importance future studies. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 82, 1-7.

- Amiri, E., Strand, M. K., Rueppell, O., & Tarpy, D. R. (2017). Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: potential for interactions between two major threats to colony health. *Insects*, 8(2), 48.
- Anguiano-Baez, R., Correa-Benítez, A., Gris-Valle, A. G., Vasquez-Valencia, I. (2022). Cría de reinas (*Apis mellifera* L.). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*, 10(3), 37-101. ISBN: 978-607-30-6002-8
- Arslan, S., Cengiz, M. M., Gül, A., & Sayed, S. (2021). Evaluation of the standards compliance of the queen bees reared in the Mediterranean region in Turkey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2686-2691.
- Arslan, S., Güler, A., & Arslan, H. S. (2015, January). Quality criteria and standards compliance with grown queen bee at Mediterranean region in Turkey. In *International Conference on Engineering and Natural Science* (pp. 211-220).
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., ... & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global change biology*, 8(1), 1-16.
- Becerra-López, J. L., Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Magno-Benítez, I., Ballesteros-Barrera, C., Alvarado-Díaz, J., ... & Torres-Delgado, M. G. (2022). Does size matter? An analysis of the niche width and vulnerability to climate change of fourteen species of the genus *Crotalus* from North America. *PeerJ*, 10, e13154.
- Büchler, R., Andonov, S., Bernstein, R., Bienefeld, K., Costa, C., Du, M., ... & Wilde, J. (2024). Standard methods for rearing and selection of *Apis mellifera* queens 2.0. *Journal of Apicultural Research*, 1-57.
- Carreck, N. L., Andree, M., Brent, C. S., Cox-Foster, D., Dade, H. A., Ellis, J. D., ... & Van Engelsdorp, D. (2013). Standard methods for *Apis mellifera* anatomy and dissection. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1-40.

- Cobey, S. W. (2007). Comparison studies of instrumentally inseminated and naturally mated honey bee queens and factors affecting their performance. *Apidologie*, 38(4), 390-410.
- Cuervo-Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez-Albores, M. A., Meneses-Mosquera, A. K., Téllez-Valdés, O., & Martínez-Meyer, E. (2020). One hundred years of climate change in Mexico. *Plos one*, 15(7), e0209808.
- DE GANADERÍA, Coordinación General; SIAP, SAGARPA. Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. *Claridades Agropecu*, 2010, vol. 199, p. 3-34.
- Dodologlu, A., Emsen, B., & Gene, F. (2004). Comparison of some characteristics of queen honey bees (*Apis mellifera* L.) reared by using Doolittle method and natural queen cells. *Journal of Applied Animal Research*, 26(2), 113-115.
- Dolasevic, S., Stevanovic, J., Aleksic, N., Glavinic, U., Deletic, N., Mladenovic, M., & Stanimirovic, Z. (2020). The effect of diet types on some quality characteristics of artificially reared *Apis mellifera* queens. *Journal of Apicultural Research*, 59(1), 115-123.
- El-Niweiri, M. A., & Moritz, R. F. (2011). Mating in the rain? Climatic variance for polyandry in the honeybee (*Apis mellifera jemenitica*). *Population Ecology*, 53, 421-427.
- Estrada, F. et al. [2023], "Cambio climático en México: observaciones y proyecciones", Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida, CDMX, Programa de Investigación en Cambio Climático / Instituto de Ciencias de la Atmosfera y Cambio Climático, pp. 11-30,
- Galvani, G. (2022). Monitoreo continuo de las condiciones internas en la colmena de *Apis mellifera* y su relación con la presencia de *Varroa*.
- García, E. (1993). Clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García: Atlas del Estado de México. *Instituto Investigación Geográfica, Estadística y Catastral. México*, 536.

- Gary, N. E. 1962. Chemical mating attractants in the queen honey bee. *Science*, 136(3518), 773-774.
- Gibbs, M., Wiklund, C., & Van Dyck, H. (2011). Temperature, rainfall and butterfly morphology: does life history theory match the observed pattern?. *Ecography*, 34(2), 336-344.
- Gilley, D. C., Tarpy, D. R., & Land, B. B. (2003). Effect of queen quality on interactions between workers and dueling queens in honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55, 190-196.
- Gómez, B., & Jones, R. W. (2002). Manual de métodos de colecta, preservación y conservación de insectos. *Chiapas: El Colegio de la Frontera Sur*.
- Gross, J., & Ligges, U. (2015). Package 'nortest': tests for normality. R package version, 1(4).
- Heidinger, I. M. M., Meixner, M. D., Berg, S., & Büchler, R. (2014). Observation of the mating behavior of honey bee (*Apis mellifera* L.) queens using radio-frequency identification (RFID): Factors influencing the duration and frequency of nuptial flights. *Insects*, 5(3), 513-527.
- Heinrich, B. (1993). *The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation*. Harvard University Press.
- Higo, H. A., Colley, S. J., Winston, M. L., & Slessor, K. N. (1992). Effects of honey bee (*Apis mellifera* L.) queen mandibular gland pheromone on foraging and brood rearing. *The Canadian Entomologist*, 124(2), 409-418.
- Jean-Prost, P. (2007). *Apicultura: conocimiento de la abeja. Manejo de la colmena*. Mundi-Prensa Libros.
- Lee, K. V., Goblirsch, M., McDermott, E., Tarpy, D. R., & Spivak, M. (2019). Is the brood pattern within a honey bee colony a reliable indicator of queen quality?. *Insects*, 10(1), 12.
- Lensky, Y., & Demter, M. (1985). Mating flights of the queen honeybee (*Apis mellifera*) in a subtropical climate.

- Magaña Magaña, M. A., Tavera Cortés, M. E., Salazar Barrientos, L. L., & Sanginés García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1103-1115.
- Mattiello, S., Rizzi, R., Cattaneo, M., Martino, P. A., & Mortarino, M. (2022). Effect of queen cell size on morphometric characteristics of queen honey bees (*Apis mellifera ligustica*). *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 532-538.
- Meyer, D., Zeileis, A., Hornik, K., Gerber, F., Friendly, M., & Meyer, M. D. (2020). Package 'vcd'. R package version, 1-4.
- Okuyan, S., & Akyol, E. (2018). The effects of age and number of grafted larvae on some physical characteristics of queen bees and acceptance rate of queen bee cell. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(11), 1556-1561.
- Peterson, B. G., Carl, P., Boudt, K., Bennett, R., Ulrich, J., Zivot, E., ... & Wuertz, D. (2018). Package 'performanceanalytics'. R Team Cooperation, 3, 13-14.
- Prešern, J., & Smodiš Škerl, M. I. (2019). Parameters influencing queen body mass and their importance as determined by machine learning in honey bees (*Apis mellifera carnica*). *Apidologie*, 50(5), 745-757.
- R-Core-Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2015; Available online: <http://www.R-project.org/> (accessed on 30 November 2018).
- Rhodes, J., Somerville, D., (2003). Introducción y desempeño temprano de las abejas reinas: algunos factores que afectan el éxito, Publicación No. 03/049, *Corporación de Investigación y Desarrollo de Industrias Rurales, Canberra, Australia*.
- Sánchez, T., Penieres-Carrillo, J., Tovar, C., Zárate, C. & Rodríguez-Pérez, B. (2022). Atlas Nacional de las Abejas y Derivados Apícolas RG.
- Sanin-Hernández J. A., La salud de las abejas reinas. Sociedad Argentina de Apicultores. 30 de abril del 2021.

- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611.
- Tapia-González, J., León-Mantecón, T., Contreras-Escareño, F., Macias-Macias, J., Tapia-Rivera, J., & Guzmán-Novoa, E. (2021). Influencias climáticas, regionales y cantidad de cría en el comportamiento higiénico de *Apis mellifera*. *Abanico veterinario*, 11.
- Tibor, I., Szabo, I., Mills, P. F., & Heikel, D. T. (1987). Effects of honeybee queen weight and air temperature on the initiation of oviposition. *Journal of Apicultural Research*, 26, 73–78.
- Ukubuiwe, C. A., Olayemi, I. K., Arimoro, F. O., Omalu, I. C., Adeniyi, K. A., & Jibrin, A. I. (2019). Influence of Fluctuating Temperatures on Morphometry of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) Mosquito 1.
- Valega, O. (2007). Cría de reinas. *Apícola Don Guillermo. Argentina*.
- vegan Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., ... & Oksanen, M. J. (2018). Package 'vegan'. Community ecology package, version, 2(3).
- Vélez Izquierdo, A., Espinosa García, J. A., Amaro Gutiérrez, R., & Arechavaleta Velasco, M. E. (2016). Tipología y caracterización de apicultores del estado de Morelos, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(4), 507-524.
- Wilson, R. J., Davies, Z. G., & Thomas, C. D. (2007, January). Insects and climate change: processes, patterns and implications for conservation. In *Insect Conservation Biology. Proceedings of the Royal Entomological Society's 22nd Symposium*. CAB International Publishing (pp. 245-279).
- Winston, M. L. (1991). *The biology of the honey bee*. harvard university press.
- Woyke, J. (1971). Correlations between the age at which honeybee brood was grafted, characteristics of the resultant queens, and results of insemination. *Journal of Apicultural Research*, 10(1), 45-55.

Xi, X., Wu, X., Nylin, S., & Sun, S. (2016). Body size response to warming: time of the season matters in a tephritid fly. *Oikos*, 125(3), 386-394.

Zar, J. H. (1999). Data transformations. *Biostatistical analysis*.

Tablas y Figuras

Cuadro 2. Valores residuales estandarizados.

Variables	Tratamientos				
	Testigo	36°C	37°C	38°C	39°C
VIVO	2.832	1.904	-0.819	3.822	-5.728
MUERTO	-2.832	-1.904	0.819	-3.822	5.728

Cuadro 3. Asociación de Cramer's V.

Pearson X2	Cramer's V	Phi coefficient
------------	------------	-----------------

Tratamientos	x2	df	p		
T vs 36°C	0.00068	1	0.9338	0.061	0.061
T vs 37°C	3.5982	1	0.057	0.264	0.264
T vs 38°C	0.054	1	0.814	0.05	0.05
T vs 39°C	22.3229	1	0.0000022	0.442	0.442
36°C vs 37°C	2.4937	1	0.11	0.316	0.316
36°C vs 38°C	3.04E-31	1	1	0.019	0.019
36°C vs 39°C	12.292	1	0.0004	0.397	0.397
37°C vs 38°C	5.53	1	0.018	0.308	0.308
37°C vs 39°C	2.474	1	0.1157	0.175	0.175
38°C vs 39°C	28.939	1	0.000000074	0.49	0.49

Cuadro 4. Pruebas Post Hoc de Bonferroni, en la columna izquierda se muestran los tratamientos térmicos testigo, 36°C, 37°C, 38°C y 39°C; mientras que en la columna derecha se presentan los valores de significancia.

Tratamientos	Significancia
T vs 36°C	0.18
T vs 37°C	0.00
T vs 38°C	0.00
T vs 39°C	0.00
36°C vs 37°C	0.00
36°C vs 38°C	0.05
36°C vs 39°C	0.00
37°C vs 38°C	0.00

37°C vs 39°C	0.00
38°C vs 39°C	0.00

Cuadro 5. Diferencias significativas entre tratamientos térmicos considerando las variables evaluadas: Tiempo de Emergencia, Volumen de la Espermateca y Largo del Tórax.

Variables					
Tiempo de Emergencia		Volumen de la Espermateca		Largo del Tórax	
Tratamientos	Significancia	Tratamientos	Significancia	Tratamientos	Significancia
T vs 36°C	0.979	T vs 36°C	0.426	T vs 36°C	0.098
T vs 37°C	0.00002	T vs 37°C	0.568	T vs 37°C	0.058
T vs 38°C	0.233	T vs 38°C	0.005	T vs 38°C	0.473
T vs 39°C	0.012	T vs 39°C	0.00002	T vs 39°C	0.039
36°C vs 37°C	0.00005	36°C vs 37°C	0.943	36°C vs 37°C	0.600
36°C vs 38°C	0.299	36°C vs 38°C	0.1	36°C vs 38°C	0.018
36°C vs 39°C	0.019	36°C vs 39°C	0.001	36°C vs 39°C	0.0009
37°C vs 38°C	0.0000001	37°C vs 38°C	0.164	37°C vs 38°C	0.014

37°C vs 39°C	0.072	37°C vs 39°C	0.004	37°C vs 39°C	0.0009
38°C vs 39°C	0.0004	38°C vs 39°C	0.0305	38°C vs 39°C	0.121

