



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS,
REPRODUCTIVOS, MORFOMÉTRICOS Y COSTOS EN COLONIAS
Y ABEJAS REINA *Apis mellifera* SUPLEMENTADAS CON DIETAS
PROTEICAS EN TEMPORADA DE ESCASEZ DE RECURSOS**

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Presenta

BRISEIDA GAMIÑO CRUZALEY

Asesores

Dr. José Herrera Camacho
José Octavio Macías Macías
José María Tapia González
José Isaac Figueroa De La Rosa
Samuel Pineda Guillermo

Morelia, Michoacán, México

Enero 2024



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS,
REPRODUCTIVOS, MORFOMÉTRICOS Y COSTOS EN COLONIAS
Y ABEJAS REINA *Apis mellifera* SUPLEMENTADAS CON DIETAS
PROTEICAS EN TEMPORADA DE ESCASEZ DE RECURSOS**

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Presenta

BRISEIDA GAMIÑO CRUZALEY

Asesor

Dr. José Herrera Camacho

Co-Asesor

José Octavio Macías Macías

Morelia, Michoacán, México

Enero 2024

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Fernando Gamiño y Patricia Cruzaley, cuya inagotable fuente de apoyo y motivación ha sido esencial para alcanzar este logro académico.

A mis hermanos, Brenda y Brandon, quienes, a pesar de nuestras diferencias, han encontrado la manera de motivarme y respaldarme incondicionalmente.

A mi pareja, Gerardo, por su paciencia, comprensión y apoyo durante este exigente proceso.

A mis amigas Dulce, Georgette y Katia, quienes han depositado más confianza en mí de la que yo misma he tenido, alentándome y acompañándome en cada paso.

A mis compañeras, Elizabeth, Blanca, Paola, Alejandra y Nancy, que estuvieron a mi lado durante este trabajo, cuidándome, compartiendo risas y brindándome apoyo moral.

Dedico este trabajo a mí misma, en reconocimiento a mi esfuerzo, dedicación y resiliencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su apoyo financiero a través de la beca de maestría, respaldo fundamental para mi dedicación a la investigación y finalización de este trabajo académico.

Expreso mi gratitud al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por proporcionarme la oportunidad de formarme como Maestra en Producción Agropecuaria y por ser la institución que respaldó este proyecto.

Al Centro de Investigaciones en Abejas del Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara agradezco su apoyo integral y la provisión de recursos necesarios para esta investigación.

Agradezco a mi asesor y director, el Dr. José Herrera Camacho por sus aportaciones, consejos y sugerencias en esta investigación.

Muy en especial a mi asesor el Dr. José Octavio Macías Macías por su guía constante en este proyecto, así como por sus críticas constructivas, confianza y motivación, especialmente en los momentos más desafiantes.

Agradezco a mi asesor el Dr. José María Tapia González por su apoyo continuo, disponibilidad y ayuda en la gestión de recursos.

Agradezco a mis asesores, el Dr. José Isaac Figueroa De La Rosa y el Dr. Samuel Pineda Guillermo por sus sugerencias y apoyo en esta investigación.

A la Dra. Jeannette Sofia Bayuelo Jiménez, por su acompañamiento, consejos y constante apoyo brindado en los momentos más difíciles de este proceso académico.

Agradecimiento especial a las personas que colaboraron en el trabajo de campo en los apiarios de Ciudad Guzmán, que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo: MVZ José de Jesús Juárez, Dr. Adolfo León, Graciela Sandoval, Diego Gómez y a todas las personas que formaron parte de este equipo. Su contribución no solo fue crucial para el desarrollo de este proyecto, sino que también enriqueció la experiencia con su amistad.

A todos los profesores, investigadores y alumnos que conocí en mi estancia en Ciudad Guzmán, por su colaboración y apoyo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Anatomía de las abejas	3
2.1.1 Sistema digestivo	4
2.1.1.1 Microbiota intestinal	5
2.2 Biología y fisiología de la abeja reina	5
2.2.1 Importancia de las características morfométricas de la abeja reina	6
2.3 Requerimientos nutricionales de las abejas	7
2.3.1 Carbohidratos	8
2.3.2 Proteínas	9
2.4 Alimentación de las abejas	11
2.4.2 Néctar	12
2.4.3 Polen	13
2.4.5 Pan de abeja	14
2.4.4 Miel	14
2.4.6 Jalea real	15
2.5 Alimentación artificial	16
2.5.1 Alimentación energética	17
2.5.2 Alimentación proteica	18
2.6 Estudios relacionados	18
3. HIPÓTESIS	22
4. OBJETIVOS	22
4.1 Objetivo general	22
4.2 Objetivos particulares	22
5. MATERIAL Y MÉTODOS	23
5.1 Localización del experimento	23
5.2 Colonias de abejas, tratamientos y diseño experimental	24
5.3 Preparación de suplementos y dosis utilizadas	26
5.4 Efecto de la deriva en las colonias	27

5.5 Variables medidas en colonias, en abejas reina y análisis de costos	28
5.5.1 Consumo de alimento	28
5.5.2 Desarrollo poblacional	29
5.5.3 Ganancia de peso	29
5.5.4 Producción y porcentaje de aceptación de reinas	29
5.5.5 Peso y morfometría de reinas	31
5.6 Análisis de costos	32
5.7 Análisis estadístico	33
6. RESULTADOS	34
6.1 Consumo de jarabe y pastas proteicas	34
6.2 Desarrollo poblacional	35
6.3 Reinas emergidas y características morfométricas	40
6.4 Análisis económico	43
7. DISCUSIÓN	45
8. CONCLUSIONES	52
9. BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del apiario donde se realizaron los experimentos de campo en Zapotlán el Grande, Jalisco.....	23
Figura 2. Alimentador para abejas tipo Doolittle marca Xnox®.	26
Figura 3. Bastidor de traslarve con copaceldas.....	30
Figura 4. Consumo mensual de pastas proteicas en colonias de abejas A. mellifera	34
Figura 5. Evolución mensual de cría operculada de colonias de abejas A. mellifera suplementadas con diferentes dietas proteicas.....	35
Figura 6. Evolución mensual de cría operculada en colonias de abejas A. mellifera de acuerdo a su ubicación en el apiario por efecto de la deriva.....	36
Figura 7. Evolución mensual de ganancia de peso en colonias de abeja A. mellifera suplementada con diferentes dietas proteicas	38
Figura 8. Correlación entre el peso de las colonias y la cría operculada en las colonias del experimento.....	39
Figura 9. Porcentaje de reinas emergidas en colonias de A. mellifera alimentadas con diferentes suplementos proteicos.	40
Figura 10. Peso promedio de las abejas reina A. mellifera recién emergidas de colonias alimentadas con diferentes suplementos proteicos.....	41
Figura 11. Ancho de cabeza en reinas recién emergidas de colonias A. mellifera alimentadas con diferentes suplementos proteicos.....	42
Figura 12. Ancho de tórax en reinas recién emergidas de colonias A. mellifera alimentadas con diferentes suplementos proteicos.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aminoácidos esenciales de las abejas.....	10
Tabla 2. Tratamientos evaluados en la alimentación de colonias de abejas A. mellifera.....	24
Tabla 3. Tratamientos, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de celdas con cría $\pm$ error estándar obtenidos con el uso de diferentes suplementos en colonias de abejas A. mellifera en periodo de escasez de recursos.	36
Tabla 4. Ubicación de colonias, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de celdas con cría $\pm$ error estándar obtenidos de acuerdo a la distribución de las colonias por efecto de la deriva en el apiario en periodo de escasez de recursos.....	37
Tabla 5. Tratamientos, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de peso de colonias $\pm$ error estándar obtenidos con el uso de diferentes suplementos en colonias de abejas A. mellifera en periodo de escasez de recursos.	38
Tabla 6. Marcas de alimento comercial, costo de alimentación por periodos durante la prueba experimental de suplementación proteica en el desarrollo de las colonias de abejas A. mellifera.....	44
Tabla 7. Marcas de alimento comercial y costos de alimentación por periodos durante prueba experimental de suplementación proteica en colonias creadoras de reinas A. mellifera.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de colonias con diseño experimental en bloques al azar.	25
Cuadro 2. Información nutrimental de suplementos comerciales para <i>A. mellifera</i>	27
Cuadro 3. Ubicación de colonias con efecto de la deriva y colonias del centro....	28

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos y costos de dietas proteicas comerciales sobre el número de cría operculada, peso de las colonias, y el peso y medidas corporales de las abejas reina *Apis mellifera* durante la temporada de escasez de alimento. Se utilizaron 28 colonias previamente desparasitadas, con uniformidad en cría, reservas alimenticias, y origen y edad de las reinas durante enero a abril de 2023. Se aplicaron 4 tratamientos, cada uno con 7 repeticiones: 1); control - jarabe de agua con azúcar (JAA) en una concentración de 1:2 respectivamente, 2); JAA y pasta comercial Nutra®, 3); JAA y pasta comercial Ultra Bee®, y 4); JAA y un complejo proteico comercial Promotor L®. Antes de finalizar la alimentación, se seleccionaron 5 colonias por tratamiento como creadoras de abejas reina, y en cada una se realizaron 45 traslarves para obtener abejas reinas, que fueron medidas y pesadas al momento de emerger. Los resultados muestran que el uso de suplementos proteicos no presentó diferencias significativas en el desarrollo de colonias ($p \leq 0.05$), sin embargo, se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en la ubicación de las colonias en el apiario, siendo superiores las colonias de la periferia en comparación con las del centro. Respecto al peso y medidas de las reinas, el tratamiento control se encontró estadísticamente por debajo de los alimentos proteicos, mientras que Ultra Bee® presentó diferencias significativas superiores ($p \leq 0.01$). En conclusión, el uso de suplementos proteicos durante la temporada de escasez con floraciones esporádicas en esta zona no es esencial, pero se recomienda distribuir irregularmente las colonias para evitar el efecto de la deriva. Para la producción de abejas reinas, se sugiere la alimentación proteica, principalmente Ultra Bee®, a pesar de su mayor costo, debido a la calidad superior de las reinas obtenidas.

Palabras clave: nutrición, alimentación artificial, desarrollo poblacional, calidad de reinas, *Apis mellifera*.

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the effects and costs of commercial protein diets on the sealed brood quantity, colony weight, and the weight and body measurements of *Apis mellifera* queen bees during the food scarcity season. 28 previously dewormed colonies were used, ensuring uniformity in brood, food reserves, and the origin and age of queens from January to April 2023. 4 treatments were applied, each with 7 repetitions: 1) control - sugar water syrup (SWS) with a 1:2 concentration, 2) SWS and commercial Nutra® paste, 3) SWS and commercial Ultra Bee®, and 4) SWS and a commercial protein complex Promotor L®. Before concluding the feeding, 5 colonies per treatment were selected as queen bee producers, and each underwent 45 grafts to obtain queen bees, which were measured and weighed upon emergence. The results show that the use of protein supplements did not present significant differences in colony development ($p \leq 0.05$). However, statistical differences ($p \leq 0.01$) were observed in the location of colonies within the apiary, with peripheral colonies being superior to those in the center. Regarding the weight and measurements of the queens, the control treatment was statistically below the protein foods, while Ultra Bee® showed significantly higher differences ($p \leq 0.01$). In conclusion, the use of protein supplements during the season of sporadic flowering in this region is not essential, but irregular distribution of colonies is recommended to avoid the drift effect. For queen bee production, protein feeding is suggested, mainly Ultra Bee®, despite its higher cost, due to the superior quality of the obtained queens.

1. INTRODUCCIÓN

La apicultura en México va en aumento debido a su importancia socioeconómica y ecológica, ya que las abejas son fundamentales para el equilibrio del medio ambiente y del sector pecuario, pues de ellas dependen directamente más de 43 mil apicultores, posicionando a México dentro de los 10 principales productores de miel a nivel mundial (SADER, 2022). Debido al crecimiento e importancia de *Apis mellifera* L., se han estudiado algunos parámetros para obtener una óptima producción de las colonias. Entre ellas, la nutrición de las abejas, la cual puede ser evaluada en diferentes niveles dentro de la colonia, siendo una de las más importantes, el desarrollo poblacional que representa ganancias tanto para los apicultores como para el medio ambiente (Pudasaini *et al.*, 2020). Por otra parte, la reina es considerada por muchos como el elemento más importante de la colonia, destacándose como un individuo de especial interés para su mejora. Se ha demostrado que la morfometría y el peso de la abeja reina son indicadores fundamentales de su calidad (Delaney *et al.*, 2011), y su alimentación desempeña un papel crucial en la determinación de estas características (De Souza *et al.*, 2019). Debido a esto, la biometría de reinas se convierte en otra herramienta para comparar si la proteína en el alimento puede contribuir a una mejor reproducción. Naturalmente, las colonias experimentan fluctuaciones en la disposición de alimento, en algunos momentos teniendo abundantes recursos, y en ocasiones, un déficit de estos, y por ende de nutrientes esenciales cuando no hay flores en el campo; por lo que en estos casos se hace necesaria la alimentación artificial (Núñez *et al.*, 2017). Esta práctica no solo contribuye a la sobrevivencia de las colonias, sino también a la estimulación del desarrollo de su población previo al flujo de néctar, permitiendo un mayor aprovechamiento de recursos naturales y, por consiguiente, un mejor rendimiento en la producción (Medina *et al.*, 2018). El uso de suplementos proteicos en periodos de escasez de recursos no siempre es implementado por los apicultores debido al costo extra que este representa, sin embargo, los beneficios que este puede traer a las colonias llegan a generar una compensación importante (Hooever *et al.*, 2022). Por ello, resulta de gran importancia comparar el uso de diferentes fuentes proteicas de origen comercial,

con el propósito de identificar cual es el que aporta mayores beneficios a la reproducción y nutrición de las abejas y las reinas en esta temporada y, asimismo determinar cuál es el más conveniente para la economía del productor.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Anatomía de las abejas

El cuerpo de una abeja se divide en tres secciones claramente definidas, cada una de las cuales cumple un papel esencial en su funcionamiento y supervivencia: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza posee los ojos, las antenas y los órganos de la alimentación, está compuesta por cuatro pares de apéndices, las antenas, las mandíbulas, las maxilas, el labio y la glosa, que permite la recolección de los líquidos, es decir, del néctar y el agua (Martínez *et al.*, 2017).

El tórax, la segunda sección del cuerpo, está constituido por tres segmentos fusionados y en cada uno de estos se encuentra un par de patas, lo que suma un total de seis patas funcionales en la abeja. Además, el tórax desempeña un papel fundamental en el vuelo del insecto, ya que aloja dos pares de alas que se desarrollan a partir del segundo y tercer segmento. Esta segunda sección es atravesada oblicuamente por el esófago y las tráqueas, los sacos aéreos ocupan la mayor parte de su volumen (Jean-Prost, 2007).

Por último, el abdomen se compone de nueve segmentos que se encuentran unidos entre sí por medio de una membrana flexible. Al interior de esta sección del cuerpo, se encuentra la mayor parte de los órganos internos de la abeja, que comprenden los sistemas circulatorio, digestivo, respiratorio, nervioso, reproductor y de veneno (Mollinedo, 2019).

El exoesqueleto de las abejas, al igual que en la mayoría de los insectos, está compuesto por quitina. Este compuesto brinda estabilidad y protección al cuerpo de las abejas, actuando como una coraza resistente que las resguarda de daños y les permite llevar a cabo actividades esenciales para la vida, siendo una adaptación excepcional y crucial para su supervivencia en el entorno (Piedra, 2017).

2.1.1 Sistema digestivo

El sistema digestivo de las abejas consta de varias partes que trabajan en conjunto para procesar los alimentos y obtener los nutrientes necesarios para su supervivencia. Este sistema inicia con la boca, que se encuentra situada en la parte antero inferior de la cabeza, y pertenece al tipo lamedor chupador, que consta del labro o labio superior, mandíbulas, lengua o glosa y palpos labiales. Continúa con la faringe, la cual funciona como bomba succionadora y transporta el alimento hasta el esófago, el cual se extiende a lo largo del tórax y permite el paso del alimento mediante movimientos de contracción (Llorente, 2008).

Acorde a Jean-Prost, (2007) la parte del tubo digestivo que se encuentra en el abdomen se conforma de cuatro partes:

- **Buche.** En las obreras tiene una capacidad de 40 mm³ y funciona como almacén de agua y néctar. Desde el buche, el néctar puede ser regurgitado hacia otra obrera de la colmena (trofolaxis) o almacenarse en otra celda para su posterior uso.
- **Intestino medio o ventrículo.** Comienza en el buche y presenta un ensanchamiento muscular llamado proventrículo. Este orificio admite o rechaza el paso del contenido del buche en tránsito hacia el intestino. En esta sección se lleva a cabo la digestión y absorción de los nutrientes contenidos en el alimento.
- **Intestino posterior o delgado.** En esta parte del sistema digestivo, también se absorben sustancias nutritivas. Además, se da la recepción de desechos, pues es donde se vacían los tubos de Malpighi, que actúan como elementos de filtración (riñones) en las abejas.
- **Recto y ampolla rectal.** Estas regiones son responsables de la absorción de agua y la acumulación de los desechos resultantes de la digestión antes de su expulsión, que generalmente ocurre durante un vuelo llamado de “limpieza”.

2.1.1.1 Microbiota intestinal

La diversidad de microorganismos en el tracto digestivo de las abejas está estrechamente vinculada al tipo de alimento consumido en las colonias, el método de producción de los apiarios, la estacionalidad y al estado general de salud de la colonia. Esta compleja comunidad microbiana es altamente susceptible a las variaciones de estos factores, lo que subraya la importancia de comprender como influyen en la salud y funcionamiento de las abejas melíferas (Hernández *et al.*, 2020).

En la mayoría de los animales, la sección distal del intestino alberga la mayor parte de la biomasa bacteriana. Los compuestos de la dieta que no son digeridos por el huésped se acumulan en estas regiones y se convierten en las principales fuentes de energía, carbono y nitrógeno disponibles para la microbiota. El intestino posterior de la abeja melífera es el hogar de una comunidad bacteriana simple pero altamente específica. Está compuesto por cinco miembros principales de bacterias (*Gilliamella apicola*, *Lactobacillus melliventris*, *Lactobacillus mellis*, *Snodgrassella alvi* y *Bifidobacterium asteroides*) que normalmente están presentes en las abejas obreras y se distribuyen entre el íleon y el recto (Bonilla y Engel, 2018).

2.2 Biología y fisiología de la abeja reina

Las colonias de abejas melíferas están formadas por tres castas; zángano, reina y obrera. Las dos últimas surgen de huevos fecundados, que se diferencian fisiológica y anatómicamente debido a la alimentación durante su desarrollo en la celda y a lo largo de su vida. Por otro lado, el zángano es un individuo haploide, siendo su principal función la fecundación de la reina (Wright *et al.*, 2018). Respecto a las principales diferencias anatómicas, en el caso de las abejas reina, se encuentran abdómenes más grandes debido al aumento en el tamaño de los ovarios y a una espermateca desarrollada, lo que genera individuos más grandes en comparación con las obreras, quienes tienen pesos de entre 50 y 110 mg, mientras que las reinas alcanzan valores de 150 mg y puede incluso sobrepasar los 300 mg (Dietz y Lambremont, 1970; Rembold y Lackner, 1981).

Respecto a las funciones en la colonia, la reina es la encargada de producir huevos fértiles que darán origen a las obreras y huevos infértiles que darán origen a zánganos, además de generar feromonas que son esenciales para mantener el equilibrio social en la colonia. Por otro lado, las obreras tienen variedad de funciones, como el cuidado de las crías y la reina, la producción de cera, la limpieza y defensa de la colmena, así como la búsqueda, recolección y almacenamiento de néctar y polen (Nates, 2011).

2.2.1 Importancia de las características morfométricas de la abeja reina

La reina es considerada por muchos como el elemento más importante de una colonia, sin embargo, cada insecto representa un papel necesario para la supervivencia en conjunto. Lo que marca la diferencia es la cantidad de individuos existentes en la colonia, siendo las obreras la casta más representativa, seguida por los zánganos y la reina. De esta última se encuentra un solo individuo, y es aquí donde se enfoca su importancia (López y Simone, 2019).

Existen diversos estudios que están orientados en mejorar la productividad de las colonias, enfocándose en la calidad de sus reinas al evaluar distintas cualidades que permitan identificar su potencial productivo y reproductivo. Por supuesto, se pueden encontrar variedad de indicadores que proporcionan esta información, los cuales pueden estar orientados directamente a la reina o, por otro lado, al desempeño de esta dentro de la colonia. Respecto a la última, pueden realizarse evaluaciones como el patrón y la producción de cría, el desarrollo general de la colonia, el comportamiento defensivo, la enjambrazón, la resistencia a enfermedades, la producción de miel, el comportamiento higiénico, entre otras (Hatjina *et al.*, 2014).

Por otro lado, ciertas características físicas de la reina permiten realizar selecciones adecuadas y predicciones sobre el desempeño reproductivo que pueden tener dentro de la colonia. Entre los principales indicadores se pueden encontrar, un peso

elevado, gran cantidad de ovaríolas, espermateca grande que va asociado a la capacidad de almacén de espermatozoides, la presencia y cantidad de proteínas específicas, la carga de patógenos que albergan, entre otros (Amiri *et al.*, 2017). Siendo la morfología un importante indicador al momento de evaluar una reina, abarcando el peso húmedo o seco, el ancho del tórax, el ancho de la cabeza y la longitud de las alas (Delaney *et al.*, 2011).

2.3 Requerimientos nutricionales de las abejas

Las abejas, como polinizadores fundamentales, obtienen sus requerimientos nutricionales como proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales y carbohidratos, a partir del polen y néctar de las plantas con flores. Sin embargo, es importante señalar que no todas las especies de plantas ofrecen la misma cantidad y/o calidad de nutrientes en su polen. De hecho, el contenido de proteínas en el polen puede variar considerablemente entre diferentes tipos de flores, oscilando desde alrededor de un 2.5% del peso seco, hasta el 62%. Esta variabilidad significa que la disponibilidad y diversidad de nutrientes para las abejas no solo dependen de la composición específica del paisaje local, sino también de la composición del polen y néctar suministrado por estas plantas. Este hecho adquiere una importancia especial en el contexto del cambio de uso de suelo, donde la modificación del paisaje natural puede tener efectos potenciales en la dieta y nutrición de las abejas. Estos cambios pueden contribuir a la explicación en la preocupante disminución de las poblaciones de polinizadores (Donkersley *et al.*, 2014).

La dieta de las abejas consiste en alrededor de un 20% de polen y un 80% de néctar, sin embargo, los requisitos nutricionales de las abejas melíferas individuales dentro de la colonia pueden variar de acuerdo con la temporada de floración y con su etapa de vida. A medida que las abejas se desarrollan, sus necesidades nutricionales cambian, las larvas y abejas jóvenes dependen principalmente de proteínas en su dieta, mientras que las abejas adultas experimentan un aumento en la demanda de carbohidratos y una disminución en la necesidad de proteínas (Enemigos naturales de las abejas, 2022).

Una abeja que se alimenta de manera abundante puede no estar adecuadamente nutrida si no ingiere con su alimento los nutrientes necesarios, o no puede aprovecharlos de manera apropiada. Dado que las abejas poseen un exoesqueleto rígido, no es posible evaluar visualmente sus reservas corporales para determinar su estado nutricional. Por lo tanto, no se puede afirmar si una abeja está bien nutrida simplemente observando su aspecto externo. En este contexto se destaca la importancia del seguimiento continuo y la observación en conjunto de los recursos o reservas en la colmena, siendo un punto crítico para garantizar el bienestar y la salud general de la colonia (INTA, 2020).

Una nutrición adecuada es la base de una colonia de abejas melíferas para el crecimiento y desarrollo. Debido a que los paisajes se han caracterizado cada vez más por monocultivos agrícolas intensivos, y dado que los servicios de polinización de abejas melíferas a menudo ocurren dentro de un ecosistema definido por el ser humano, es posible que las necesidades nutricionales de las abejas no se satisfagan adecuadamente (Muñoz *et al.*, 2022).

La nutrición en las abejas puede ser estudiada desde tres niveles diferentes: a nivel de colonias, de abejas adultas y de larvas. Estos niveles están interconectados, ya que los problemas nutricionales en etapas tempranas pueden afectar a etapas posteriores, y viceversa. La salud de una colonia no se limita a la ausencia de enfermedades, sino que se caracteriza por la presencia de abejas bien alimentadas que pueden reproducirse y resistir el estrés. Este enfoque integral resalta la importancia de garantizar una nutrición adecuada en todas las etapas de desarrollo para mantener poblaciones saludables y resilientes capaces de enfrentar desafíos ambientales y de manejo (Brodschneider y Crailsheim, 2010).

2.3.1 Carbohidratos

Los carbohidratos representan la fuente principal de energía para las abejas melíferas, cubriendo sus gastos energéticos. Las abejas adultas dependen en gran

medida de las reservas de alimento almacenadas en la colonia y no pueden sobrevivir prolongados periodos sin alimentarse, ya que sus reservas de carbohidratos, proteínas o lípidos son muy limitados. El néctar, recolectado de las flores por las abejas obreras, se convierte en la principal fuente de carbohidratos y se almacena en la colmena, donde es procesado y transformado en miel antes de ser sellado en celdas específicas (Donkersley *et al.*, 2014).

Las abejas adultas presentan niveles de glucógeno en sus reservas bastante bajos, oscilando entre 0.05 y 0.47 mg por individuo adulto. Para mantenerse con vida, una obrera adulta requiere aproximadamente 4 mg de azúcares aprovechables al día (Brodschneider y Crailsheim, 2010). Esto se traduce en una necesidad diaria de alrededor de 11 mg de azúcar seco por abeja obrera. En términos prácticos, esto equivaldría a aproximadamente 22 µl de jarabe de azúcar al 50% por obrera al día. Si extrapolamos estos requerimientos a una colonia de 50,000 abejas, esta necesitaría aproximadamente 1.1 litros de jarabe de azúcar al 50% al día para mantener sus necesidades de carbohidratos, sin tener en cuenta las necesidades de las crías (Huang, 2010).

El alimento destinado a la cría de abejas melíferas tiene un contenido de azúcares, fructosa y sacarosa, del 18% durante los primeros tres días de desarrollo larvario, aumentando al 45% en los dos días siguientes. Cada larva obrera recibe aproximadamente 59.4 mg de carbohidratos durante su desarrollo. Es importante señalar que esta necesidad se incrementa aún más si consideramos los costos energéticos asociados con las abejas adultas, que trabajan para proporcionar un entorno estable para la cría, como la construcción de panales y la termorregulación (Brodschneider y Crailsheim, 2010).

2.3.2 Proteínas

El polen es la única fuente de proteína natural para las abejas. Varias investigaciones indican que las abejas melíferas requieren un mínimo de 20 a 25% de proteína en el polen para satisfacer sus necesidades nutricionales. Los pólenes

que contienen un alto porcentaje de proteína, aproximadamente alrededor del 30%, ofrecen una protección adicional contra posibles desequilibrios en los aminoácidos del polen o escasez de este (Somerville, 2005).

Acorde con De Groot (1953) las proteínas están compuestas por una serie de aminoácidos, de los cuales, 10 han sido identificados como esenciales para los requerimientos nutricionales de las abejas melíferas (Tabla 1).

Tabla 1. Aminoácidos esenciales de las abejas.

Aminoácido	Proporción (%)
Arginina	3%
Histidina	1.5%
Isoleucina	4%
Leucina	4.5%
Lisina	3%
Metionina	1.5%
Fenilalanina	2.5%
Treonina	3%
Triptófano	1%
Valina	4%

Los requerimientos más altos son de leucina, isoleucina y valina, por lo que un bajo aporte de estos en la proteína alimentaria, limitaría el desarrollo de las colonias (Huang, 2010).

La importancia del suministro de polen es evidente en su papel crucial en el sustento y desarrollo de la cría. Cuando las colonias carecen de acceso a fuentes de polen, la cría es mantenida temporalmente por medio del consumo del pan de abeja almacenado en las celdas, seguido por la utilización de las reservas corporales de las abejas adultas. En última instancia, cuando hay situaciones de exceso de frío o calor, así como situaciones de estrés o falta de alimento, en forma más específica,

cuando las fuentes de polen no son restauradas, las colonias pueden verse obligadas a canibalizar la cría para sobrevivir (Larsen *et al.*, 2019).

Las proteínas constituyen el 66-74% de la materia seca de las obreras adultas. Durante los primeros días de su vida, las abejas experimentan un aumento en el contenido de proteínas, principalmente debido a la síntesis anabólica de proteínas, y a medida que las abejas envejecen, este contenido tiende a disminuir ligeramente. En promedio, una abeja obrera consume alrededor de 3.4 a 4.3 mg de polen por día para satisfacer sus necesidades proteicas. Además, en la hemolinfa de las abejas, se observa un aumento en el contenido de proteínas durante los primeros días después de su emergencia, variando entre 11.4 a 27.6 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ o 6.0 a 9.4 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ en abejas de 6 días de edad alimentadas con diversas fuentes de polen o dietas ricas en proteínas (Brodschneider y Crailsheim, 2010).

Las abejas obreras tienen una vida más larga cuando se les suministra una dieta rica en polen proteico, en comparación con dietas que predominan con polen bajo en proteínas. Para mantener las necesidades de proteínas de una colonia, se ha estimado que deben consumirse 48 gramos de polen con un 30% de proteína cruda por cada 10 gramos requeridos. Si los niveles de proteína cruda en el polen disponible bajan al 20%, entonces la misma colonia necesitaría consumir 72 gramos de polen para lograr los mismos resultados. Esto significa que una colonia tendría que recolectar aproximadamente 30 kg de polen al 20% de proteína cruda para igualar el valor nutricional de solo 2 kg de polen al 30%. Estos resultados resaltan la importancia de la calidad y disponibilidad del polen en la dieta de las abejas (Somerville, 2005).

2.4 Alimentación de las abejas

El estudio del impacto de la nutrición es una de las áreas de investigación de más rápida extensión en las abejas, en gran parte debido a la asociación de las pérdidas de colonias con la desnutrición y las patologías que la acompañan. El estudio del impacto de la nutrición es una de las áreas de investigación de más rápida extensión

en las abejas, en gran parte debido a la asociación de las pérdidas de colonias con la desnutrición y las patologías que la acompañan (Smart *et al.*, 2016).

Durante las primeras etapas del desarrollo de las abejas melíferas, la jalea real constituye una gran parte de la dieta de las larvas, las abejas nodrizas secretan grandes cantidades de las principales proteínas únicas de la jalea real. Estas proteínas se sintetizan endógenamente en las glándulas hipofaríngeas ubicadas en la cabeza de la abeja melífera, y sus funciones van desde aportes nutricionales, hasta la actividad antibacteriana que protege las larvas y la participación como proteínas estructurales que aumentan la viscosidad de la jalea de los alimentos (Crailsheim *et al.*, 2013).

Las abejas melíferas encuentran la proteína dietética básicamente en el polen, que contribuye a la respuesta inmune al proporcionar los aminoácidos esenciales necesarios para la síntesis de péptidos. La inmunidad de la abeja también se ve reforzada por los carbohidratos del néctar y la miel que proporciona energía para los procesos metabólicos asociados con las reacciones celulares y humorales innatas (Negri *et al.*, 2019).

2.4.2 Néctar

El néctar es la principal fuente de energía en forma de carbohidratos. Inicialmente, el néctar se compone principalmente de sacarosa en varios niveles de humedad, incluidas algunas enzimas y contenido mineral. Ocasionalmente, en áreas que experimentan mucha humedad, el contenido de esta puede permanecer por encima del 21%, lo que conducirá a la fermentación de la miel. Si la temperatura ambiental no es excesivamente alta, la colonia obtendrá la mayor parte de sus necesidades de agua a través del néctar (Somerville, 2005).

El valor nutricional del néctar se deriva de tres azúcares simples: sacarosa y sus componentes monosacáridos, glucosa y fructuosa. Las proporciones de estos tres azúcares dependen de la especie de la planta de la que se recolecta el néctar. La

concentración total de azúcar en los néctares oscila entre un 10 y un 70%. En general, las abejas melíferas prefieren el néctar con azúcar en concentración de 30 a 50%, pero en el campo, la recolección es de contenido variable, dependiendo de lo que esté disponible en su entorno. La concentración óptima para la ingesta de energía es de alrededor de 60% para las abejas melíferas. Por encima de esto, los néctares se vuelven demasiado viscosos para ser lamidos eficientemente. La sacarosa es preferida por las abejas pecoreadoras porque es metabólicamente más valiosa por unidad de peso. El néctar también contiene aminoácidos en bajas concentraciones (Wright *et al.*, 2018).

2.4.3 Polen

El valor nutricional del polen se evalúa actualmente por su contenido de proteína cruda, ya que el nivel de proteína es esencial para la reproducción, el crecimiento, la inmunocompetencia y la longevidad de las abejas y los insectos en general. Haciéndolo indispensable para un buen funcionamiento de la individual y de la colonia (Alaux *et al.*, 2010).

Además de los niveles de proteína cruda, la otra medida común de la calidad del polen es su composición de aminoácidos. Otros macronutrientes proporcionados por el polen son los carbohidratos y los lípidos. Los carbohidratos incluyen almidón y fibra, además de azúcares de néctar agregados durante la recolección. Los lípidos se encuentran en los granos de polen y su revestimiento exterior, siendo el contenido total de lípidos de 2 a 20% de la materia seca. La composición de ácidos grasos de los diferentes pólenes varía mucho, siendo los tres ácidos grasos más comunes el palmítico, el linoleico (omega 6) y el alfa-linolénico (omega 3), que juntos comprenden un promedio del 60 al 80% de todos los ácidos grasos, por lo que estos tres, además del oleico y el esteárico, son los principales ácidos grasos en los cuerpos de las abejas melíferas. El polen es la principal fuente de micronutrientes de las abejas e incluye minerales, vitaminas y esteroides esenciales (Vanderplanck *et al.*, 2014).

Las colonias grandes recolectan de 10 a 26 kg de polen por año y en contraste con la miel, solo una pequeña cantidad de polen se almacena en la colonia en un momento dado, las reservas disminuyen rápidamente durante los periodos sin alimento. Las abejas mezclan polen con néctar, miel y secreciones glandulares para producir pan de abeja, que se diferencia del polen recién recolectado por ser más nutritivo, tener un pH más bajo y menos almidón (Huang, 2010).

2.4.5 Pan de abeja

Una vez en el panal, el polen colectado es almacenado en celdas que contienen cargas depositadas previamente, y potencialmente provenientes de otras fuentes florales. Las nodrizas se encargan de compactarlo y agregar secreciones glandulares, para después sellarlo con una gota de miel. Aquí sufre un proceso de fermentación cuyo producto final se denomina pan de abejas, dicho proceso hace que los nutrientes del polen estén disponibles para las abejas (INTA, 2020).

El valor nutricional del pan de abeja se diferencia del polen floral en que su contenido proteico se encuentra en un rango menor de valores, del 10 al 30% de proteína. Los lípidos también están presentes en un rango más estrecho que el que se encuentra en el polen. El pan de abeja tiene entre 3 y 8% de grasas, mientras que los lípidos del polen pueden llegar hasta 20% del peso seco. El contenido de carbohidratos está entre el 25% y el 50% del peso seco, lo que incluye los carbohidratos agregados en la miel/néctar (Anderson *et al.*, 2014).

2.4.4 Miel

El proceso de producción de miel inicia cuando las abejas recolectoras pasan el néctar a las abejas almacenadoras de alimentos mediante trofolaxis, estas últimas depositan el néctar en celdas. El proceso de transformación inicia desde la recolección, en donde la abeja reduce activamente el contenido de agua del néctar, es regurgitado y sostenido en sus mandíbulas para evaporar el agua y una vez depositado en las celdas, se da la hidrólisis de sacarosa, añadiéndose invertasa (enzima proveniente de las glándulas hipofaríngeas de las abejas). Esta

transformación fisicoquímica convierte la sacarosa en dos azúcares simples, dextrosa (glucosa) y levulosa (fructuosa). El proceso de concentración es impulsado por el comportamiento de evaporación activa de las obreras y por evaporación pasiva del contenido celular en condiciones de colmena (Eyer *et al.*, 2016).

Los carbohidratos constituyen el principal componente de la miel, siendo la fructosa y glucosa los azúcares simples que representan el 85% de los sólidos. Por otro lado, también se encuentra aproximadamente un 0.5% de proteínas, principalmente como enzimas y aminoácidos. Los niveles de aminoácidos en la miel son el reflejo del contenido de nitrógeno, el cuál es variable y no supera el 0.04%, también se han encontrado entre 11 y 21 aminoácidos libres. En cuanto al contenido mineral es altamente variable, de 0.02 a 1%, siendo el potasio cerca de la tercera parte de dicho contenido. Existe gran variedad de mieles con diferentes colores y sabores, dependiendo de su origen botánico. Los azúcares son los principales componentes del sabor, generalmente la miel con un alto contenido de fructosa es más dulce que una miel con alta concentración de glucosa (Insuasty *et al.*, 2016).

La dinámica de maduración se ve afectada por varios parámetros, como el tamaño de la colonia, la cantidad de celdas disponibles, el movimiento y la humedad del aire dentro de la colmena, las condiciones climáticas prevalentes y el origen botánico que determina la proporción de azúcar y contenido de agua del néctar. Como consecuencia de las interacciones variables entre los factores, la duración de la maduración puede variar de 1 a 11 días. La mayor parte de la miel es consumida por la colonia, con preferencia por la miel menos concentrada, y solo un pequeño porcentaje se almacena (Eyer *et al.*, 2016).

2.4.6 Jalea real

La jalea real es un producto o secreción de las glándulas mandibulares e hipofaríngeas de las abejas nodrizas, y es la parte más importante de la dieta de las larvas de las abejas, desempeñando un papel indispensable en la diferenciación de castas. Durante los primeros tres días, es el único alimento que se le da a las larvas

jóvenes en su proceso de maduración, mientras que para la reina es el único alimento durante toda su vida (Pavel *et al.*, 2011). La jalea real representa un refinamiento nutricional de la miel y el pan de abeja que consumen las abejas melíferas nodrizas, y tiene un promedio de 63% de agua, 14% de proteínas, 18% de carbohidratos y 6% de grasas (Wright *et al.*, 2018).

2.5 Alimentación artificial

La apicultura es una actividad dependiente de los recursos ambientales. La salud de las abejas es ahora una gran preocupación para la industria apícola y para la agricultura en general. La calidad de la dieta influye en la salud y la fuerza de la colonia, especialmente para las colonias que se preparan para pasar el invierno y que comienzan a acumular población a principios de la primavera. Los problemas dietéticos han sido uno de los varios factores relacionados con la disminución de colonias alrededor del mundo. Las abejas, como cualquier otro animal, tienen requerimientos nutricionales específicos, por lo tanto la ausencia, escasez o mala calidad del polen dan como resultado un retraso en el crecimiento, una ganancia de peso inferior de las abejas jóvenes, una longevidad reducida y un desarrollo deficiente de las glándulas hipofaríngeas, lo que lleva a una producción insuficiente de jalea real y como consecuencia, una problemática en el crecimiento y desarrollo normal de las larvas y en la producción normal de huevos por parte de la reina. Por otro lado, la colonia también se hace susceptible a enfermedades y aumento en las tasas de fuga o abandono. Todos estos efectos resultan en un pobre desarrollo y producción de las colonias (Saffari *et al.*, 2010).

Además, en tiempos de escasez, las reservas de polen en las colmenas y las reservas de proteínas en las abejas se agotan pronto. Por lo tanto, se requiere la suplementación con polen o sustituto de polen con el propósito de mantener las colonias fuertes y que las obreras tengan los recursos suficientes para realizar sus actividades. Con el objetivo de mitigar los efectos de los periodos de escasez, los apicultores pueden usar dietas artificiales para complementar las necesidades de la colonia. Estos suplementos deben tener fórmulas balanceadas que satisfagan las

necesidades nutricionales de las abejas, asegurando la supervivencia y buen desempeño de la colonia. Sin embargo, los recursos alimenticios artificiales no son capaces de reemplazar de manera eficiente a los alimentos naturales (pan de abeja) debido a que esta fuente de proteína natural es más apetecible y nutricionalmente completa, cubriendo todos los requerimientos de las abejas (Morais *et al.*, 2013).

Cuando las colonias se alimentan de dietas artificiales durante estos periodos críticos, hay una mejora en la respuesta fisiológica de los animales que es medida a través de parámetros como el aumento de peso de la colmena, el rendimiento reproductivo, la resistencia a enfermedades, el aumento en el número de individuos en la colonia y la longevidad. Una colonia bien alimentada puede sobrevivir periodos críticos, manteniendo la puesta de la reina y generando descendencia saludable. Luego, la colonia se prepara para recolectar más polen cuando vuelva a estar disponible, renovando las reservas de alimentos y permitiendo la producción de miel. Teniendo en cuenta la importancia de encontrar fuentes de alimento adecuadas para las abejas, se han desarrollado pruebas de laboratorio y de campo para probar ingredientes y fórmulas que tengan el potencial de satisfacer las necesidades nutricionales de estos insectos (Mohallem *et al.*, 2016).

2.5.1 Alimentación energética

El néctar tiene una importancia innegable para el desarrollo de la colonia, ya que es la principal fuente de alimento energético para las abejas y permite su supervivencia, por lo tanto, el estrés nutricional causado por la escasez de alimentos o la disponibilidad de solo alimentos de bajo valor nutricional puede conducir a una reducción en la actividad metabólica de las abejas. Suplementar a las colonias de abejas con alimentos energéticos artificiales durante la temporada baja, asegura el correcto funcionamiento anual de la colonia. Para que esto sea efectivo, es necesario elegir el mejor alimento energético para ofrecer a las abejas. Actualmente se han probado variedad de alimentos, como el jugo de caña de azúcar, el jarabe de azúcar y la sacarosa, entre otros (Wang *et al.*, 2016). Se han encontrado similitudes, en términos bromatológicos, entre la miel y el jarabe de azúcar, pues

presentan valores cercanos en cuanto a una reducción de azúcar, contenido calórico, cantidad de cenizas y contenido de materia seca. Por lo tanto, debido a que tiene una composición más cercana al alimento natural de las abejas, el jarabe de azúcar es considerado como una de las mejores fuentes de alimento energético artificial (Oliveira *et al.*, 2020).

2.5.2 Alimentación proteica

Las abejas melíferas obtienen macro y micronutrientes que incluyen proteínas, minerales, vitaminas y lípidos del polen, todos estos componentes varían en la diversidad de plantas. En particular, el valor nutricional del polen puede definirse con mayor precisión por los componentes de aminoácidos que por su contenido total de proteínas, porque su valor nutricional disminuye cuando hay cantidades insuficientes de aminoácidos esenciales presentes (Ahmad *et al.*, 2021).

Determinar el consumo de alimento para las abejas melíferas es complejo; debido a que los requisitos nutricionales son muy variables entre las diferentes castas y etapas de la vida y la variabilidad inter e intraestacional en términos de disponibilidad de alimentos. Cuando los recursos alimentarios naturales escasean, se requiere una dieta sustituta de polen artificial para mantener la salud de la colonia (Rodney y Purdy, 2020).

Se ha desarrollado un gran número de formulaciones dietéticas mediante la combinación de varios ingredientes que incluyen harina de soya, levadura de cerveza, harina de guar, yema de huevo en polvo, guisantes en polvo, leche desnatada en polvo, proteína hidrolizada en polvo, caseína, harina de pescado, salvado de arroz, entre otros (Ahmad *et al.*, 2021).

2.6 Estudios relacionados

Uno de los países que ha presentado mayor interés en investigaciones sobre dietas artificiales debido al amplio uso de las abejas como agentes de polinización de cultivos, es Estados Unidos. Recientemente Ricigliano *et al.* (2022) presentaron una

comparación en el desarrollo de 144 colonias ubicadas en tres apiarios diferentes, en donde utilizaron ocho dietas diferentes, donde incluyeron seis productos comerciales, una dieta creada y utilizada por apicultores en la región y una dieta control. Se analizaron los alimentos administrados, un estimado de la población total, el peso promedio de las abejas, la expresión genética relacionada con la nutrición, la microbiota intestinal y los niveles de patógenos. Los resultados indicaron que las dietas que contenían polen fueron las que produjeron las colonias más grandes y las abejas más pesadas, sin embargo, las dietas que no contenían polen se siguieron mostrando superiores a las del tratamiento control. Respecto a las variables restantes, no se encontraron resultados concluyentes, puesto que se observaron muchas variaciones debido a las tres ubicaciones de las colonias. No obstante, se encontró una correlación entre el contenido de aminoácidos esenciales con el tamaño de las colonias y el peso de las abejas. El estudio concluyó que el utilizar dietas artificiales puede mejorar la eficiencia en la polinización agrícola, puesto que el cuidado previo genera abejas más grandes y colonias saludables.

Similar al experimento previo, Lamontagne-Drolet *et al.*, (2019) compararon dietas comerciales en Quebec, Canadá, durante tres meses, utilizando 50 colonias distribuidas en tres apiarios con cinco tratamientos distintos. Estos consistieron en dos pastas comerciales, una que requería la adición de polen y otra exclusivamente comercial, ambas con y sin trampas de polen, además del tratamiento control. Se evaluaron diversos parámetros como el consumo de alimentos, polen recolectado (si lo había), cría operculada, actividad de búsqueda de alimento, contenido de proteínas en nodrizas y la esperanza de vida de las abejas. Aunque inicialmente se observaron diferencias en el consumo debido a la ubicación de las colonias, en general, las abejas mostraron preferencia por el alimento con polen. La recolección de polen no fue relevante, y la cría operculada no varió significativamente entre tratamientos, pero sí entre apiarios y estaciones de alimentación. En cuanto a la búsqueda de alimento, hubo más abejas en el tratamiento sin polen y con trampas. Aunque el contenido de proteínas fue más bajo en el tratamiento control, las abejas en ese grupo vivieron más tiempo en las jaulas en comparación con las que

consumieron dietas proteicas. Los autores concluyeron que las dietas artificiales pueden ser útiles en situaciones de escasez de polen, pero son percibidas como soluciones temporales con posibles consecuencias a largo plazo. Se recomienda realizar evaluaciones más extensas y a nivel individual.

En cuanto al análisis de las características de las reinas criadas en colonias con suplementación artificial, Dolasevic *et al.*, (2019) llevaron a cabo un experimento en Serbia, con 20 colonias divididas en cuatro tratamientos: uno basado exclusivamente en azúcar, otro con alimento comercial suplementado con miel y polen, otro exclusivamente con suplemento artificial y, finalmente, un tratamiento negativo que se mantuvo solo con los recursos naturales de la zona. A cada colonia se le proporcionó un marco de 24 celdas reales, con larvas provenientes de la misma reina. Las celdas reales que llegaron al día 10 fueron retiradas y colocadas en incubadoras. Estas celdas fueron medidas en longitud, y las reinas obtenidas fueron pesadas al momento de la emergencia, al mismo tiempo se midió el diámetro de apertura de la celda real. De las reinas obtenidas, se introdujeron de 12 a 16 reinas en núcleos para obtener al menos ocho reinas fecundadas, en las cuales se evaluó el peso, el peso de sus ovarios, el número de ovariolas y el diámetro de su espermateca. También se analizó el número de abejas y el patrón de cría de sus respectivas colonias.

En los resultados, observaron que el tratamiento que contenía solo azúcar presentó reinas recién emergidas más pesadas, correlacionadas positivamente con la longitud de la celda real, y en cuanto a las mediciones de reinas fecundadas, se encontró que el peso, número de ovariolas y diámetro de la espermateca fueron significativamente mayores en el alimento artificial que contenía una porción de miel y polen. No se hallaron resultados significativos en las demás variables. Dichos autores concluyeron que la aceptación de larvas puede mejorar con el efecto estimulante del azúcar administrada. Sin embargo, en relación con las demás variables para evaluar la calidad de la reina, el alimento comercial enriquecido con miel y polen presentó ventajas sobre los demás tratamientos, incluida la pasta comercial que no necesitó preparación adicional.

En otro estudio sobre la calidad de las reinas, Njeru *et al.*, (2017) llevaron a cabo un experimento en Kenia con 12 colonias destinadas a la cría de reinas, divididas en dos tratamientos: uno con alimentación proteica artesanal y otro sin suplemento. El objetivo fue identificar las reinas de mayor calidad en función del suplemento administrado y la edad de las larvas al momento del traslarve. Se evaluaron diversos parámetros, como el peso total, ancho y largo de cabeza, tórax, alas y espermateca al momento de la emergencia, así como la tasa de ovoposición de las reinas fecundadas de manera natural o artificial.

Los resultados indicaron que las larvas de 12 y 24 horas presentaron los valores más altos en cuanto al peso y morfometría de las reinas al momento de la emergencia. En cuanto a la alimentación complementaria, la mayoría de las evaluaciones, con excepción de las mediciones en alas, fueron superiores al utilizar suplementos alimenticios. Respecto a la tasa de ovoposición, no se encontraron diferencias significativas entre los métodos de fecundación. Los autores concluyeron de que elegir larvas de reinas a una edad adecuada y suplementar las colonias con dietas proteicas puede tener beneficios en la calidad de las reinas al momento de la emergencia

3. HIPÓTESIS

Diferentes alimentos proteicos comerciales administrados durante la temporada de escasez de alimento afectan la ganancia de peso y la población de las colonias, así como el peso y las medidas corporales de abejas reina de *A. mellifera*.

La suplementación de alimentos proteicos comerciales en las colonias de *A. mellifera* genera costos que se ven reflejados en el cambio de parámetros productivos y reproductivos, así como en la calidad de las reinas al momento de su emergencia.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes dietas proteicas sobre el número de cría operculada, peso de la colonia, medidas y peso de la abeja reina y los costos de alimentación en colonias de *A. mellifera* durante la temporada de escasez de alimento.

4.2 Objetivos particulares

- Evaluar el número de cría operculada y la ganancia de peso en colonias de abejas *A. mellifera* suplementadas con diferentes dietas proteicas.
- Comparar la cantidad de reinas producidas, su peso y medidas corporales en colonias de abejas *A. mellifera* alimentadas con diversas dietas proteicas.
- Analizar los costos del uso de diferentes dietas proteicas en la temporada de alimentación artificial sobre el desarrollo de colonias y calidad de abejas reina *A. mellifera* al momento de la emergencia

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El trabajo de campo se realizó en uno de los apiarios experimentales del Centro de Investigaciones en Abejas (CIABE) del Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara, el cual se ubica en el municipio de Zapotlán el Grande (Figura 1) localizado al sur del estado de Jalisco, México, en las coordenadas geográficas 19°43'04.4" N 103°27'04.7" W. Esta región presenta un clima semicálido semihúmedo, con una temperatura media anual de 17.4°C, una altura promedio de 1535 msnm y una precipitación media anual de 1,088 mm (IIEG, 2021).

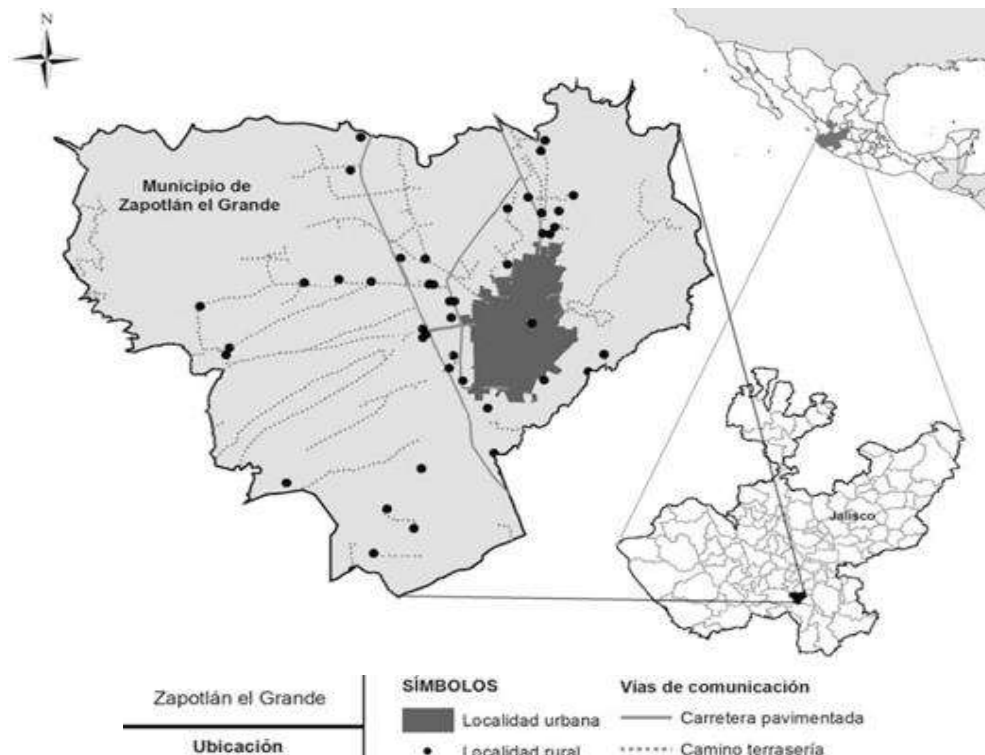


Figura 1. Ubicación del apiario donde se realizaron los experimentos de campo en Zapotlán el Grande, Jalisco.

5.2 Colonias de abejas, tratamientos y diseño experimental

Para el experimento, se utilizaron 28 núcleos de abejas *A. mellifera* de raza italiana en colmenas tipo Jumbo con dos bastidores de cría y dos bastidores de alimento cada uno durante la temporada de escasez de recursos, el cual comprendió los meses de enero a abril de 2023. Los tratamientos evaluados se observan en la Tabla 2, los cuales tuvieron una suplementación de alimento líquido a base de azúcar (jarabe), pastas proteicas y un concentrado líquido.

Tabla 2. Tratamientos evaluados en la alimentación de colonias de abejas *A. mellifera*.

Tratamientos	Descripción
1	Testigo. Solución de azúcar al 66.6%
2	Jarabe de azúcar al 66.6% + pasta proteica comercial Nutra, Xnox, México®
3	Jarabe de azúcar al 66.6% + pasta proteica comercial Ultra Bee, Mann Lake, Estados Unidos®
4	Jarabe de azúcar al 66.6% + Promotor L, Calier, España®

El diseño experimental fue en bloques al azar, donde los 28 núcleos (colonias) se distribuyeron en cuatro tratamientos con siete repeticiones, considerando cada colonia una repetición (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de colonias con diseño experimental en bloques al azar.

Bloques (repeticiones)	Colonias por tratamiento (cuatro por bloque*)			
1	2	4	3	1
2	3	1	2	4
3	1	3	4	2
4	2	4	1	3
5	4	2	3	1
6	1	3	4	2
7	3	1	2	4

*El número corresponde a cada tratamiento respectivo.

Previo al inicio de la alimentación artificial, y para minimizar el error experimental, las colonias se homogeneizaron para que iniciaran en las mismas condiciones. 15 días antes del inicio de la temporada de escasez de alimento se cambiaron las reinas iniciales de los núcleos por reinas recién fecundadas de raza italiana hijas de la misma madre, es decir, reinas medias hermanas de la misma edad y producto de libre fecundación.

Finalmente, con el propósito de tener bajos y similares niveles de infestación parasitaria en las colonias para disminuir el error experimental, 15 días previos al inicio de la alimentación artificial, se usó un tratamiento acaricida en cada colonia a base de timol, eucaliptol y alcanfor (Happy-Varr, VEDILab, México®) contra el ácaro *Varroa destructor* (Anderson y Trueman, 2000) (Acari: Varroidae). Para ello, se colocaron 10 ml de este compuesto en dos tiras de cartón corrugado (9 x 5 x 0.5 cm), las cuales se depositaron sobre los bastidores de la cámara de cría, en donde permanecieron durante 15 días.

5.3 Preparación de suplementos y dosis utilizadas

El jarabe de azúcar fue administrado en proporción de 1:2 (una parte de agua: dos partes de azúcar de caña procedente del ingenio Beta San Miguel® ubicado en el poblado de Quesería al norte de Colima) el cual se preparó calentando el agua a aproximadamente 100°C y añadiendo el azúcar para facilitar su disolución, resultando así en un líquido homogéneo. La cantidad administrada de este jarabe fue de 0.5 L por colonia, el cual se depositó en un alimentador de plástico tipo Doolittle con un diseño específico para evitar el pillaje y el ahogamiento de las abejas marca Xnox® (Figura 2), el cual se colocó en el extremo izquierdo dentro de la colonia. Los suplementos proteicos (pastas) se ofrecieron en porciones de 50 g, las cuales se colocaron sobre los bastidores de cría, mientras que el suplemento proteico líquido se administró en dosis de 2.5 ml. Ambos alimentos se suministraron cada 5 días.



Figura 2. Alimentador para abejas tipo Doolittle marca Xnox®.

La pasta Nutra® se administró como se indica en las especificaciones del producto. El tratamiento 4 (jarabe de azúcar y Promotor L®) fue preparado de acuerdo a las indicaciones del fabricante, agregando 2.5 ml de Promotor L® por cada 0.5 L de solución de azúcar. De igual forma, la pasta proteica Ultra Bee® que se utilizó en el tratamiento 3, se preparó de acuerdo a las indicaciones del fabricante, con 13 g de azúcar granulada, 21 g de jarabe de alta fructosa y 16 g de Ultra Bee® para formar una pasta de 50 g que se cubrió con papel encerado, el cual además de facilitar su manejo, evitó que la mezcla perdiera humedad.

La información nutrimental de los alimentos proteicos utilizados se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Información nutrimental de suplementos comerciales para *A. mellifera*.

Alimento	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Minerales%
Nutra®	8.25	27.06	1.27	2.09
Ultra Bee®	6	58	5	6
Promotor L®	75-85	13.5-17	-	0.5-1

Se realizó un análisis químico proximal en el laboratorio de Bromatología del Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara, el cual confirmó la información proporcionada en la etiqueta de cada producto.

5.4 Efecto de la deriva en las colonias

El efecto de la deriva es un fenómeno común en los apiarios, el cual consiste en el ingreso de abejas a colonias de las cuales no son originarias, promovido por varios aspectos como el cambio de entorno, ubicación de la colonia, factores climáticos, manipulación frecuente de las colonias, entre otros. Por lo tanto, las abejas pecoreadoras que vienen del campo ingresan a las colonias que están en la periferia y a esto se le atribuye que estas puedan llegar a tener mayor población y recursos, en comparación con las del centro. Debido a esto, se realizó una comparación de la cantidad de cría operculada de las colonias que se ubicaron en la deriva y de las colonias que se ubicaron en el centro (Cuadro 3). Este análisis permitió una mejor interpretación de los resultados en el desarrollo de las colonias.

Cuadro 3. Ubicación de colonias con efecto de la deriva y colonias del centro.

Bloques	Colonias por tratamiento (cuatro por bloque*)			
1	2	4	3	1
2	3	1	2	4
3	1	3	4	2
4	2	4	1	3
5	4	2	3	1
6	1	3	4	2
7	3	1	2	4

*El número corresponde a cada tratamiento respectivo. Los cuadros azules representan las colonias con efecto de la deriva y los cuadros rosas representan las colonias ubicadas en el centro del apiario.

5.5 Variables medidas en colonias, en abejas reina y análisis de costos

En las colonias se midió el consumo de alimento (g), el desarrollo poblacional y la ganancia de peso (kg). En la crianza de reinas, las variables evaluadas fueron las reinas emergidas (%), su peso (mg), ancho de la cabeza y ancho del tórax (mm) al momento de la emergencia. Para el análisis de costos, se recopilaron los gastos asociados a cada suplemento proteico para una alimentación individual, mensual y durante todo el período experimental, esto se realizó a nivel de colonia y del conjunto de colonias por tratamiento.

5.5.1 Consumo de alimento

Con el propósito de garantizar la aceptación de los alimentos e identificar el impacto de las dietas en las variables evaluadas, se llevó a cabo un seguimiento mensual del consumo de los suplementos proporcionados a cada colonia. Este proceso consistió en retirar, en caso de haber, cualquier sobrante de pasta proteica presente en los bastidores de la colmena los días que se proporcionó el alimento, es decir, cada 5 días. Estos sobrantes fueron pesados y restados del total de alimento administrado, lo que permitió calcular el consumo de cada colonia, como se muestra en la siguiente fórmula:

Consumo de alimento = Peso inicial del alimento – Peso de alimento sobrante

5.5.2 Desarrollo poblacional

La estimación del desarrollo poblacional en las colonias experimentales se realizó mediante la medición de la cantidad de cría operculada en todos los panales de cada colonia, para esto se usó un marco de madera del mismo tamaño que un bastidor de cámara de cría, el cual se dividió con alambre de metal cubierto con hilo blanco de cáñamo en cuadrículas de 10 x 10 cm. El marco se colocó sobre los bastidores con cría operculada y se fotografió por ambos lados de este. Posteriormente en cada imagen fotográfica se realizó una estimación del número de celdas con presencia de cría operculada acorde con el método propuesto por Tucuch *et al.* (2020), que consiste en contar el número total de celdas con cría operculada contenidas en cada cuadrícula de todo el panal. Esta evaluación se realizó cada 30 días a partir del inicio del experimento en las colonias distribuidas de manera original y también en las colonias con el efecto de la deriva.

5.5.3 Ganancia de peso

La ganancia de peso de las colonias (kg) se obtuvo con el pesaje de cada colmena con una báscula digital marca A&D Weighing®, registrando el peso de las colonias el día uno y cada 30 días. Posteriormente se restó el peso inicial del peso registrado mensualmente, permitiendo así medir el crecimiento gradual de cada colonia, lo que incluye la emergencia de individuos en la colonia, producción de cera para la construcción de panales y acumulación de reservas de alimento. El registro de peso se realizó en la mañana (antes de las 7:00 a.m.), procurando que la mayoría de las abejas se encontraran dentro de la colmena.

5.5.4 Producción y porcentaje de aceptación de reinas

Las colonias destinadas para la crianza de abejas reina se mantuvieron alimentadas durante todo el proceso de acuerdo a los tratamientos y periodos establecidos previamente. Para la producción de reinas se empleó el método Doolittle (Büchler *et al.*, 2013), usando cinco colonias creadoras de reinas tamaño Jumbo para cada

tratamiento, por lo que en total se usaron 20 creadoras, las cuales se formaron con cinco panales de cría operculada, tres panales de alimento, un alimentador tipo Doolittle y un excluidor de reinas que se colocó en la piquera de las colmenas. Las reinas originales de cada colonia se retiraron para que estas quedaran huérfanas, ya que es la condición básica necesaria para que una colonia inicie la producción de nuevas reinas. Tres días posteriores a esta horfanización, se introdujo un bastidor de traslarve (Figura 3) que consta de tres barras horizontales que en total contenían 45 copaceldas de plástico, es decir, 15 en cada barra.

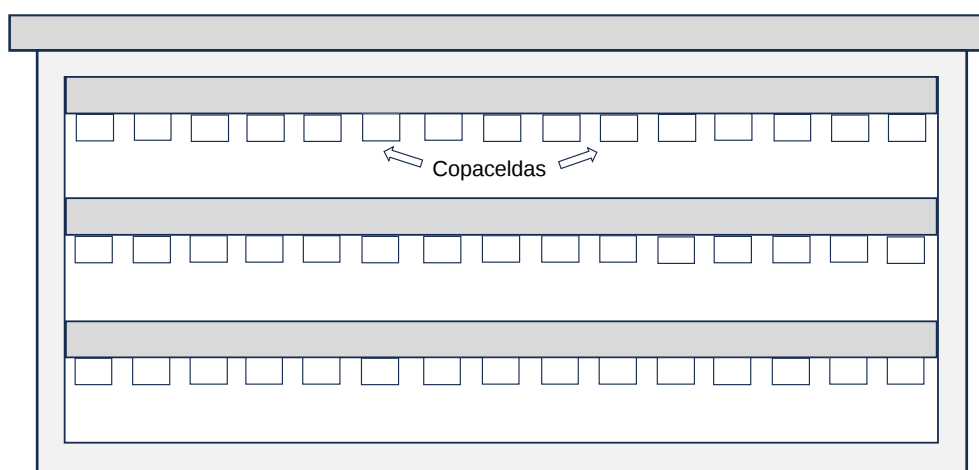


Figura 3. Bastidor de traslarve con copaceldas

Posteriormente se identificó una colonia con abejas de origen italiano, la cual contenía panales con larvas de aproximadamente 48 horas de edad, indicadas para realizar el traslarve. Los bastidores de traslarve con copaceldas introducidos un día antes, fueron retirados de la colonia, y con ayuda de una aguja de traslarve se introdujo en cada copacelda una larva recién eclosionada de la colonia previamente seleccionada. Previo a este procedimiento, a estas copaceldas se les colocó una gota de un sustrato para asegurar la aceptación del traslarve, el cual fue néctar de manzana comercial (Jumex®), ya que de acuerdo a estudios previos (Contreras-Martínez *et al.*, 2017), este sustrato incrementa la aceptación de las larvas por parte de las colonias creadoras. Una vez completados los traslarves en las 45 copaceldas,

el bastidor se regresó a su respectiva colonia. Este proceso se repitió en las 20 colonias restantes.

Después de tres días del primer traslarve, los bastidores se revisaron para desechar las larvas y recolectar la jalea real producida, pues este primer traslarve fue de estimulación para las colonias creadoras. Después las copaceldas se limpiaron y reintrodujeron a sus colonias, repitiendo al día siguiente el mismo proceso de traslarve, en esta ocasión utilizando como sustrato la jalea real obtenida un día previo, la cual fue almacenada en un frasco de cristal estéril color ámbar a una temperatura de -4°C (Sagona *et al.*, 2022). Los bastidores con copaceldas se revisaron tres días posteriores al traslarve para identificar y contar las larvas aceptadas por las colonias de cada tratamiento. Pasados seis días de la primera revisión, se utilizaron jaulas de plástico para enjaular cada una de las celdas reales que se formaron y dos días después se revisaron para identificar y recolectar a las reinas recién emergidas. Para obtener el número de reinas recién emergidas se revisaron las celdas reales enjauladas un día previo, el día esperado y un día después de la emergencia. Con estos datos se calculó el porcentaje de aceptación acorde con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de aceptación} = (\text{Reinas emergidas} / \text{Larvas aceptadas}) \times 100$$

Los trabajos de pesaje y medición de características morfométricas de las reinas se realizaron en el laboratorio de usos múltiples en las instalaciones del complejo de investigación del CIABE de la Universidad de Guadalajara, ubicadas en el municipio de Gómez Farias, del estado de Jalisco, México, en las coordenadas 19°48'13.88" N 103°28'42.04" O.

5.5.5 Peso y morfometría de reinas

Para obtener el peso y medidas de las reinas recién emergidas, estas se mantuvieron a una temperatura de -4°C durante 5 minutos, lo que permitió inmovilizarlas para poder pesarlas (mg) en una báscula digital de precisión

ZATech®. Posteriormente, se utilizó un calibrador digital Fafeicy® para medir el ancho de la cabeza (mm) y ancho del tórax (mm).

5.6 Análisis de costos

Se realizó un análisis de los costos asociados a la alimentación proteica empleada en el experimento, iniciando con la suplementación empleada para el desarrollo de núcleos a colonias, se obtuvo el costo individual de cada porción administrada, correspondiente a 50 g de pasta proteica de Nutra® y Ultra Bee® y de 2.5 ml de Promotor L®, obteniendo así el costo por colonia. Posteriormente, se calcularon los costos mensuales, los cuales abarcaron seis administraciones de alimento. Finalmente, se obtuvieron los costos por colonia durante todo el periodo experimental, que se tradujo en 20 porciones de alimento por colonia. Basados en los costos individuales por colonia, se determinó el gasto total por tratamiento, abarcando las siete colonias empleadas en cada uno.

Respecto a las colonias utilizadas para la crianza de reinas, estas se mantuvieron con alimentación artificial durante el periodo de la producción de reinas, correspondiente a un mes. La frecuencia de alimentación fue igual a la empleada en el desarrollo de las colonias, por lo tanto, esto corresponde con una administración de seis porciones de alimento artificial en cada una de las cinco colonias por tratamiento empleadas para producir reinas.

5.7 Análisis estadístico

Para analizar el consumo de alimento, se aplicó la prueba t de Student ($p \leq 0.05$), considerando que solo dos tratamientos presentaron sobrante de alimento: las pastas proteicas Nutra® y Ultra Bee®. A diferencia del alimento líquido (Promotor L® y control), que fue consumido en su totalidad.

Para el número de cría operculada y ganancia de peso de la colonia se realizó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de un análisis de correlación de Pearson de estas dos variables. Por otro lado, para analizar las colonias de acuerdo a su ubicación en el apiario, se evaluó el número de cría operculada correspondiente a las colonias con efecto de la deriva y las colonias del centro, utilizando la prueba t de Student ($p \leq 0.05$).

Los datos de porcentaje de reinas emergidas, su peso y medidas corporales se analizaron a través de un ANOVA, y en caso de presentar diferencias estadísticas, se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa estadístico JMP de SAS (2015).

6. RESULTADOS

6.1 Consumo de jarabe y pastas proteicas

Durante todo el experimento, el total de las colonias consumió el alimento líquido administrado (jarabe de azúcar y el Promotor L®); sin embargo, las colonias que recibieron la pasta comercial, Nutra® o Ultra Bee®, exhibieron variaciones en su consumo (Figura 4), aunque no alcanzaron significancia estadística ($p \leq 0.05$).

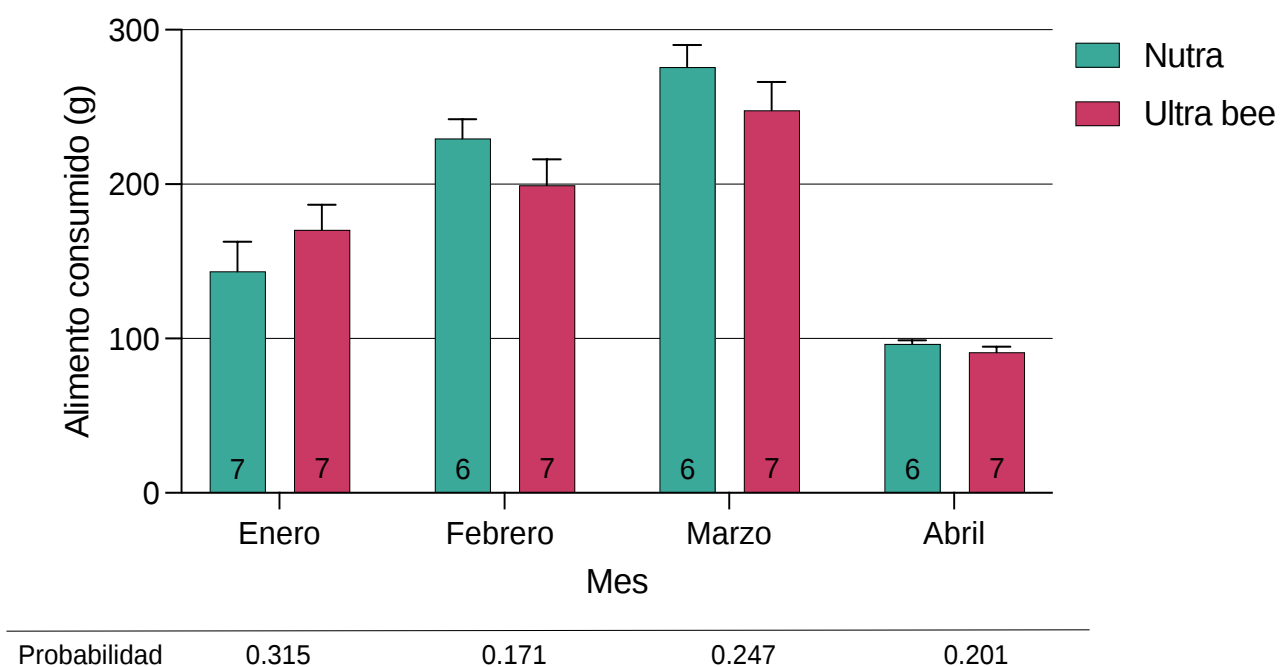


Figura 4. Consumo mensual de pastas proteicas en colonias de abejas *A. mellifera*. Los números en las barras indican la cantidad de colonias alimentadas con cada pasta comercial.

6.2 Desarrollo poblacional

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el número de cría operculada entre tratamientos durante los meses evaluados (Figura 5).

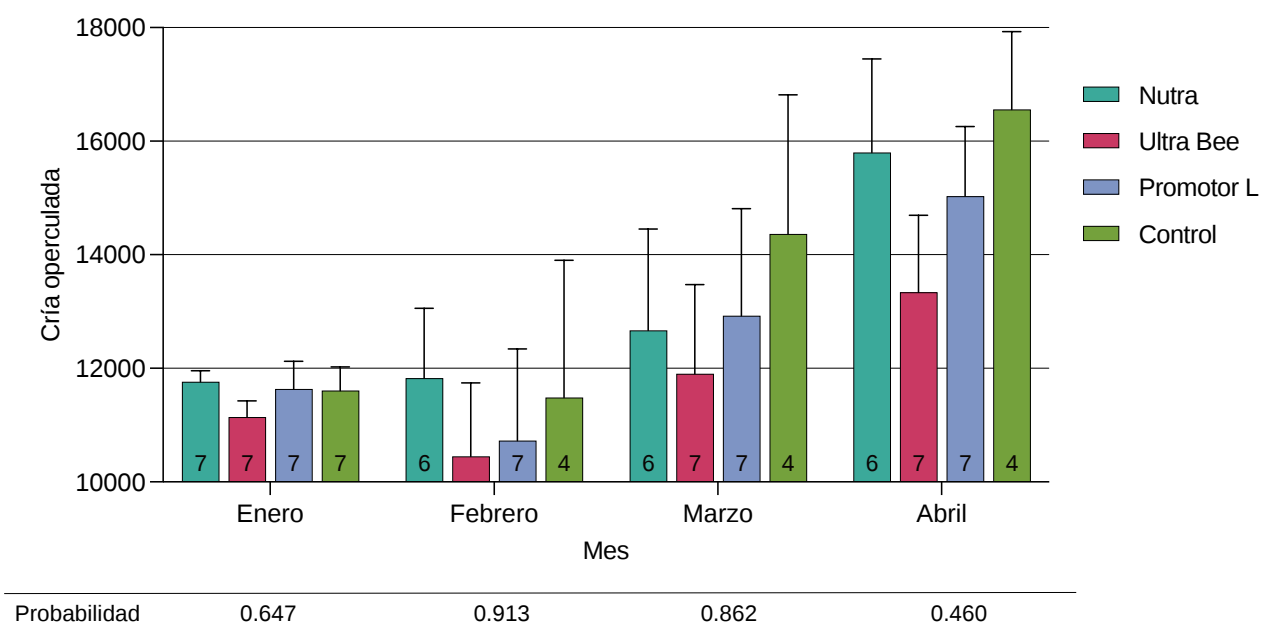


Figura 5. Evolución mensual de cría operculada de colonias de abejas *A. mellifera* suplementadas con diferentes dietas proteicas. Los números en las barras indican la cantidad de colonias.

No se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) desde el inicio hasta el final de la prueba (Tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de celdas con cría $\pm$ error estándar obtenidos con el uso de diferentes suplementos en colonias de abejas *A. mellifera* en periodo de escasez de recursos.

Tratamiento	N° colonias	% Crecimiento	No. celdas con cría $\pm$ EE	Prob.
Nutra®	6	34.32	3945.00 $\pm$ 1526.8	0.458
Ultra Bee®	7	19.73	2198.57 $\pm$ 1141.2	
Promotor L®	7	29.17	3394.14 $\pm$ 961.8	
Control	4	42.69	5164.75 $\pm$ 1138.8	

De acuerdo con la ubicación de las colonias en el apiario por efecto de la deriva, el número de cría operculada presentó diferencias significativas ($p \leq 0.01$) a partir del segundo mes de evaluación (Figura 6), siendo las colonias con efecto de la deriva superiores en comparación con las colonias ubicadas en el centro.

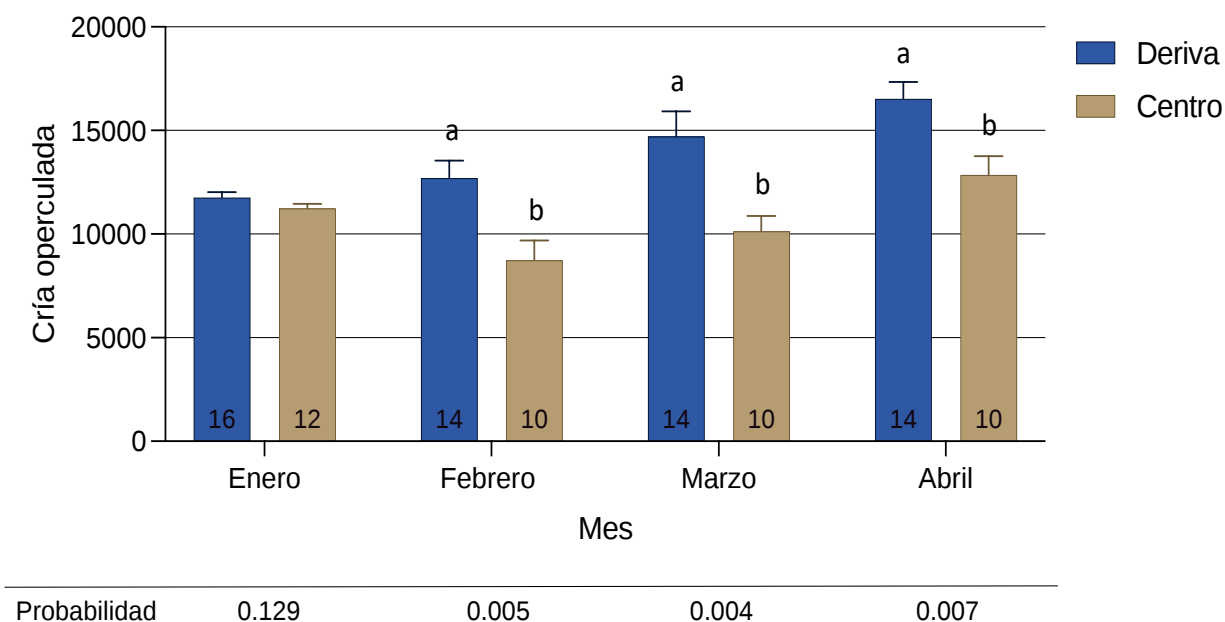


Figura 6. Evolución mensual de cría operculada en colonias de abejas *A. mellifera* de acuerdo a su ubicación en el apiario por efecto de la deriva. Los números en las

barras indican la cantidad de colonias. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$).

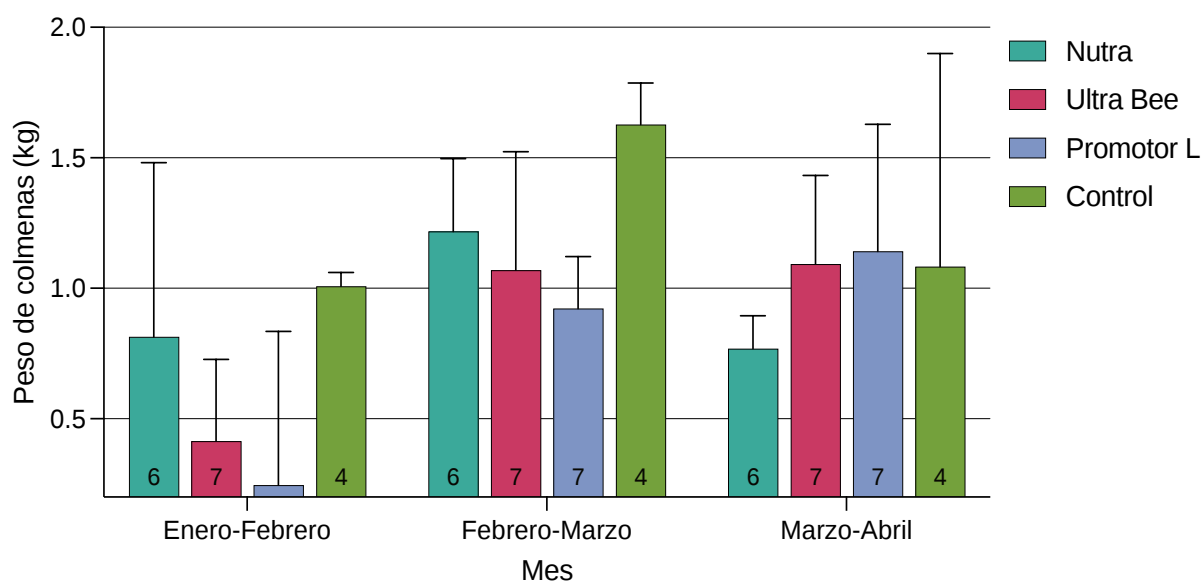
De igual manera, en lo que respecta a la totalidad del periodo experimental, se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en la cría operculada en cuanto a la ubicación de las colonias por efecto de la deriva en el apiario (Tabla 4).

Tabla 4. Ubicación de colonias, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de celdas con cría $\pm$ error estándar obtenidos de acuerdo a la distribución de las colonias por efecto de la deriva en el apiario en periodo de escasez de recursos.

Ubicación	Nº colonias	% Crecimiento	No. celdas con cría $\pm$ EE	Prob.
Deriva	14	40.40	4715.21 $\pm$ 739.42 ^a	0.012
Centro	10	14.31	1746.5 $\pm$ 762.5 ^b	

Literales diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$)

De manera general, en cuanto a la ganancia de peso en las colonias, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos al evaluar de forma mensual (Figura 7).



Probabilidad	0.740	0.566	0.926
--------------	-------	-------	-------

Figura 7. Evolución mensual de ganancia de peso en colonias de abeja *A. mellifera* suplementada con diferentes dietas proteicas. Los números en las barras indican la cantidad de colonias.

De igual forma, el peso de las colonias en cada tratamiento no presentó diferencias significativas desde el inicio hasta el final de la prueba (Tabla 5).

Tabla 5. Tratamientos, número de colonias, porcentaje de crecimiento, promedio de peso de colonias $\pm$ error estándar obtenidos con el uso de diferentes suplementos en colonias de abejas *A. mellifera* en periodo de escasez de recursos.

Tratamiento	N° colonias	% Crecimiento	Peso $\pm$ EE (kg)	Prob.
Nutra®	6	14.00	2.80 $\pm$ 0.74	0.790
Ultra Bee®	7	12.89	2.58 $\pm$ 0.86	
Promotor L®	7	11.55	2.31 $\pm$ 1.02	
Control	4	18.59	3.72 $\pm$ 0.90	

La ganancia de peso de las colonias presentó una baja correlación positiva y significativa respecto al número de cría operculada ($r=0.31$; $p \leq 0.05$) (Figura 8).

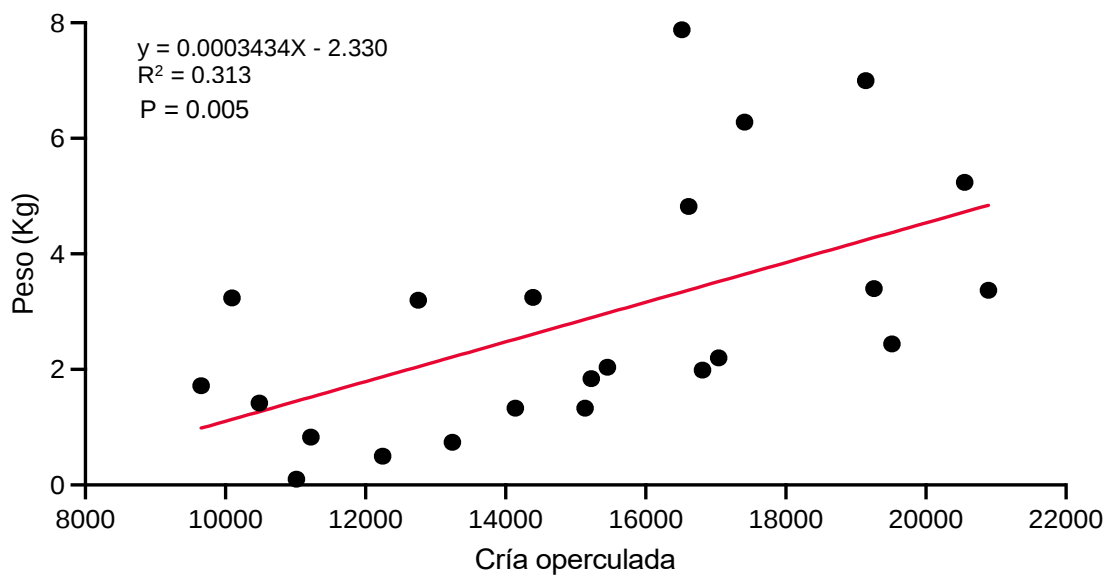


Figura 8. Correlación entre el peso de las colonias y la cría operculada en las colonias del experimento

6.3 Reinas emergidas y características morfométricas

En cuanto al porcentaje de reinas emergidas (Figura 9), no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados.

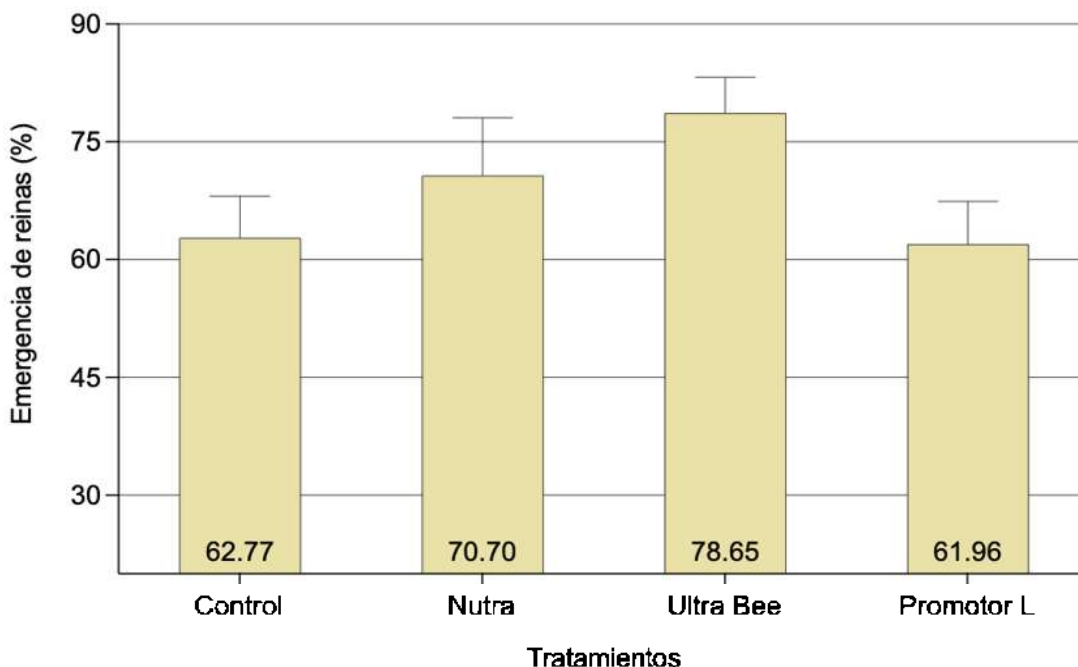


Figura 9. Porcentaje de reinas emergidas en colonias de *A. mellifera* alimentadas con diferentes suplementos proteicos.

Respecto al peso de las reinas emergidas, los resultados se pueden observar en la Figura 10, en donde se encuentran diferencias estadísticas, siendo el tratamiento de colonias alimentadas con Ultra Bee® el que obtuvo los mejores resultados, mientras que el tratamiento control presentó los pesos más bajos.

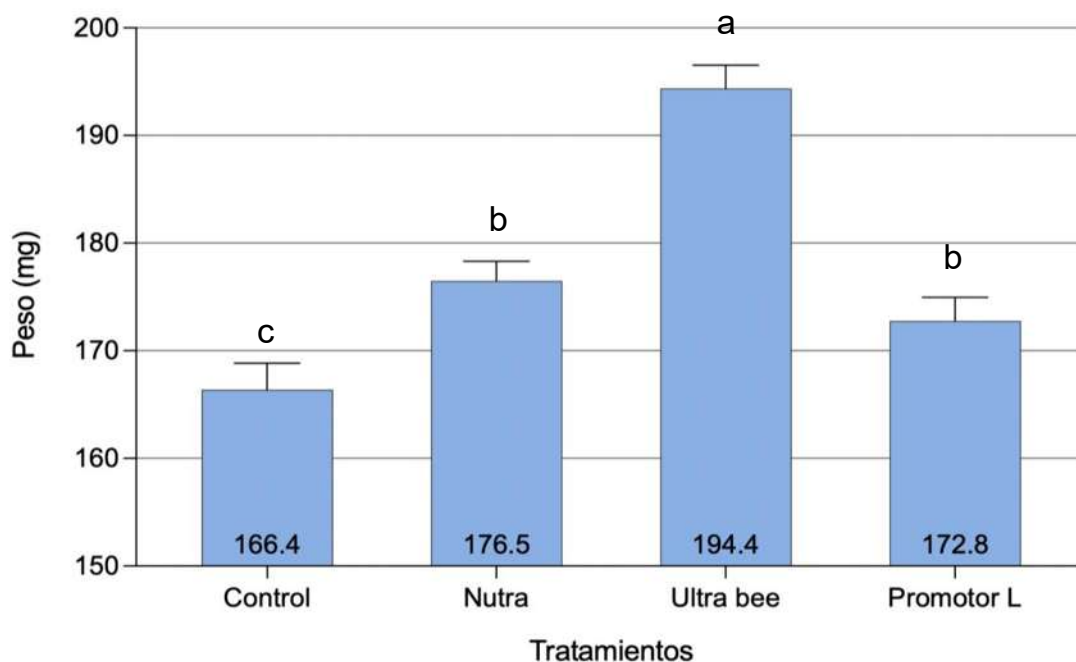


Figura 10. Peso promedio de las abejas reina *A. mellifera* recién emergidas de colonias alimentadas con diferentes suplementos proteicos. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$).

Por otro lado, el ancho de la cabeza de reinas recién emergidas (Figura 11) presentó diferencias significativas ($p \leq 0.01$), siendo Ultra Bee® el tratamiento con resultados superiores, mientras que los tratamientos restantes fueron estadísticamente similares.

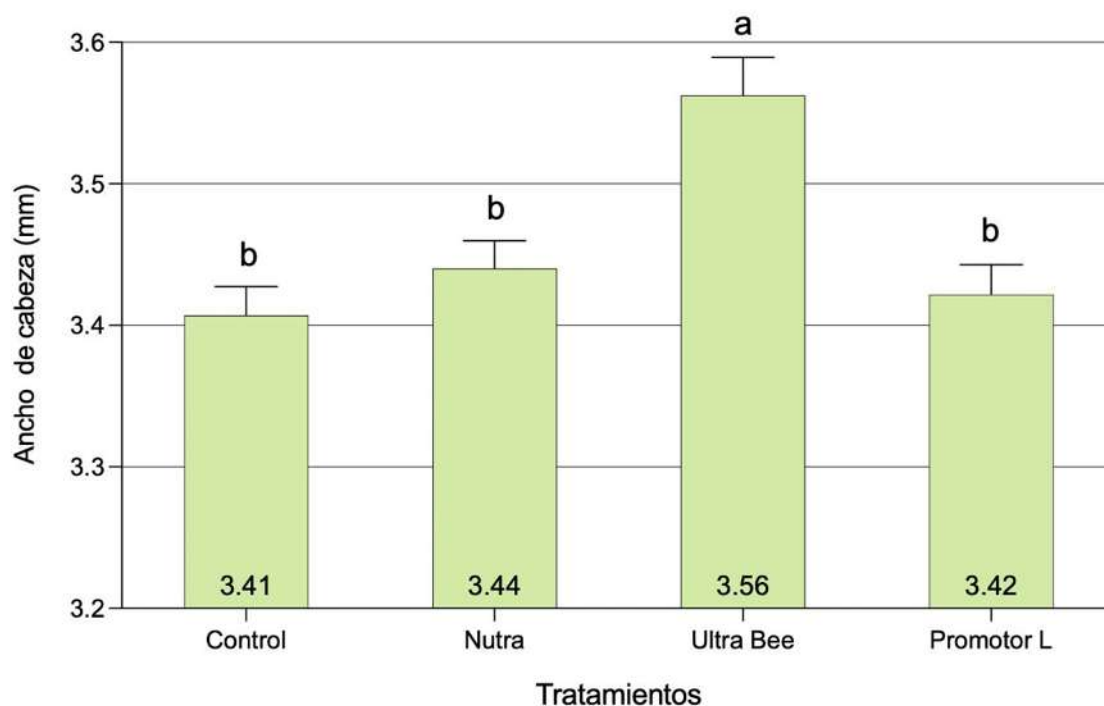


Figura 11. Ancho de cabeza en reinas recién emergidas de colonias *A. mellifera* alimentadas con diferentes suplementos proteicos. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$).

En lo que concierne al ancho del tórax de las reinas recién emergidas (Figura 12), se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$), siendo Ultra Bee® el tratamiento con los valores más elevados, mientras que el control presentó las medidas más bajas.

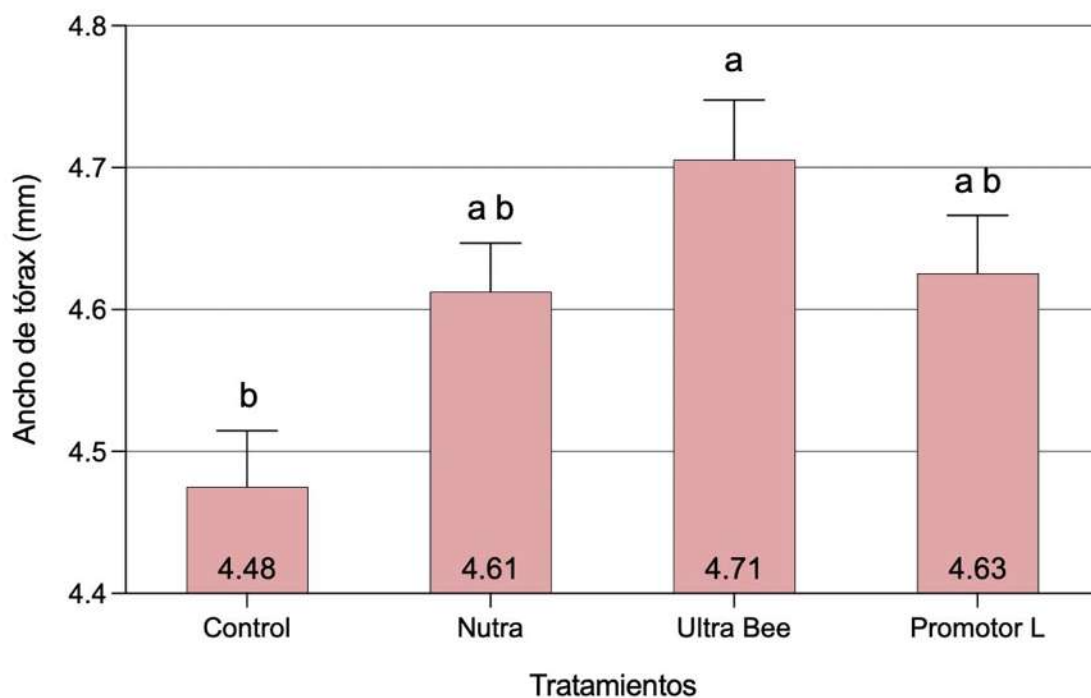


Figura 12. Ancho de tórax en reinas recién emergidas de colonias *A. mellifera* alimentadas con diferentes suplementos proteicos. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$).

6.4 Análisis económico

Los costos de alimentación proteica diaria, mensual y durante toda la prueba experimental en los diferentes tratamientos en colonias se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Marcas de alimento comercial, costo de alimentación por periodos durante la prueba experimental de suplementación proteica en el desarrollo de las colonias de abejas *A. mellifera*.

Alimento	Costos por periodos en colonia y en total de colonias por tratamiento (\$)					
	Diario		Mensual		Durante prueba experimental	
	Colonia	Total de colonias	Colonia	Total de colonias	Colonia	Total de colonias
Nutra®	1.95	13.65	11.70	81.90	39.00	273.00
Ultra Bee®	8.76	61.32	52.56	367.92	175.20	1,226.40
Promotor L®	0.95	6.65	5.70	39.90	19.00	133.00

Los costos de alimentación proteica durante la temporada de crianza de reinas se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Marcas de alimento comercial y costos de alimentación por periodos durante prueba experimental de suplementación proteica en colonias creadoras de reinas *A. mellifera*.

Alimento	Costos por periodos en creadoras y en total de colonias creadoras por tratamiento (\$)			
	Diario		Durante prueba experimental	
	Colonia	Total de colonias	Colonia	Total de colonias
Nutra®	1.95	9.75	11.70	58.50
Ultra Bee®	8.76	43.8	52.56	262.80
Promotor L®	0.95	4.75	5.70	28.50

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que los beneficios al utilizar suplementos proteicos durante la temporada de escasez de alimento pueden variar dependiendo del fin productivo del apiario, pues en el caso del desarrollo de núcleos a colonias, el beneficio de los alimentos administrados no fue el esperado. Sin embargo, en cuanto al peso y las medidas corporales de las abejas reina se obtuvieron resultados prometedores que pueden indicar mejora en la calidad de las reinas al utilizar alimentos artificiales en las colonias durante su crianza.

La primera comparación en el experimento fue la eficacia de la alimentación proteica y energética contra la alimentación exclusiva con dieta energética. La hipótesis planteada fue que las colonias suplementadas con proteína presentarían una diferencia sobre las colonias alimentadas solo con jarabe de azúcar (colonias control) en cuanto al desarrollo general de las colonias, no obstante, esta idea fue rechazada. No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, esto no posicionaría a todos los tratamientos en el mismo nivel, ya que más del 40% de las colonias control no sobrevivieron al primer mes del periodo experimental, a diferencia de los tres tratamientos que, si recibieron un suplemento proteico, de los cuales se presentó una sobrevivencia del 100%, con excepción del 85% correspondiente a las colonias alimentadas con Nutra®. Esto podría indicar que el uso de suplementos de proteína puede llegar a ser esencial para la sobrevivencia de núcleos de abejas hasta su desarrollo en colonias completas durante la temporada de escasez de alimento (Mattila y Otis, 2006; DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2010).

Al igual que en otros estudios (Saffari *et al.*, 2010; DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2016; Lamontagne-Drolet *et al.*, 2019; Mortensen *et al.*, 2019), la cantidad de cría operculada y, por consiguiente, la ganancia de peso de las colonias, no fue diferente entre colonias alimentadas con y sin proteína, lo que puede indicar la importancia del entorno en que se encuentren las colonias de acuerdo con la temporada del año. En relación a esto Ricigliano *et al.* (2022) señala que la población de abejas varía

en diferentes temporadas y ubicaciones, en donde diferentes dietas comerciales fueron superiores al uso exclusivo de una dieta con azúcar, sin embargo, en este trabajo, se encontró que las colonias alimentadas con Ultra Bee® tuvieron una población similar a las que solo se les administró una dieta energética a base de jarabe de azúcar, lo que coincide con Mortensen *et al.* (2019), quienes probaron diferentes dietas comerciales sin tener una diferencia significativa en el crecimiento de la colonia.

En este sentido, el resultado en el desarrollo de la colonia al utilizar suplementos proteicos puede diferir bastante de acuerdo al entorno donde se ubiquen las colonias, pues el aumento de la producción de cría y el peso de las colonias es diferente si el polen encontrado de manera natural se encuentra en total ausencia o solo en una limitada escasez. Tal fue el caso de este experimento, en donde se podían encontrar pequeñas floraciones durante periodos cortos que no eran suficientes para satisfacer la demanda proteica total de las colonias, pero si para ser un apoyo en su alimentación. De esta manera DeGrandi-Hoffman *et al.* (2008) encontraron diferencias significativas en el desarrollo de la colonia al utilizar productos comerciales cuando la escasez de polen fue severa y ninguna diferencia entre los mismos tratamientos cuando la escasez de polen fue parcial. Sin embargo, el presente estudio nos muestra la importancia de administrar un apoyo con los suplementos para que las colonias pequeñas (núcleos) se desarrollen en colonias completas, independientemente del tipo de suplemento comercial y aun encontrándose con periodos muy cortos de floración en el campo.

Por otro lado, se ha reportado que los alimentos con alta cantidad de proteína pueden ser perjudiciales para las abejas, pues afectan su longevidad (Gregorc *et al.*, 2019; Lamontagne-Drolet *et al.*, 2019). En relación a esto, Corona *et al.* (2023) señalaron que la replicación de virus de las alas deformes, se acelera en las abejas que son suplementadas con proteínas, por lo que esto podría afectar la longevidad y sobrevivencia. Debido a que no se analizaron los niveles de carga viral en este

experimento, esta podría ser una de las razones que justifican el limitado crecimiento de las colonias a las que se les administró un suplemento proteico.

Adicionalmente, otra posible explicación al limitado crecimiento de los núcleos en este experimento pudo haber sido la presencia del acaro varroa, pues como bien es sabido, este parásito es vector de varios tipos de virus (Ball y Allen, 1988; Gisder *et al.*, 2009; Le Conte *et al.*, 2010; Posada-Florez *et al.*, 2020), ya que a pesar de que las colonias experimentales recibieron un tratamiento previo contra el ácaro, no se realizaron evaluaciones de infestación de manera regular, y debido a la biología de desarrollo de este ácaro (Rosenkranz *et al.*, 2010), es muy probable que su presencia se incrementó y afectó el desarrollo poblacional. Esta suposición conlleva una recomendación sobre la conveniencia de usar protocolos de alimentación y desparasitación en fechas apropiadas, utilizando los suplementos alimenticios cuando la carga parasitaria sea mínima (Corona *et al.*, 2023).

A pesar de las evidencias del limitado crecimiento en las colonias que han recibido suplementación proteica que se reportan en diversos trabajos, también se pueden encontrar experimentos en distintas zonas que afirman lo contrario (Avni *et al.*, 2009; Sihag y Gupta, 2011, 2013; Mahmood *et al.*, 2013; Morais *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2014; Ullah *et al.*, 2021; Ricigliano *et al.*, 2022). Respecto a una comparación entre estudios sobre la producción de cría, se encontró que de 20 experimentos realizados, cinco demostraron un aumento en la variable, tres no mostraron impacto y 12 no fueron concluyentes (Noordyke y Ellis, 2021), donde las variables más relacionadas y significativas fueron la ubicación de los apiarios y la temporada de floración, por lo que se concluye que es indispensable el realizar calendarios de alimentación, desparasitación y manejo en general de acuerdo a las características específicas de cada zona.

En cuanto al efecto de la deriva en los parámetros productivos y reproductivos de las colonias, lo observado en este experimento concuerda con hallazgos previos. El efecto de la deriva se ha estudiado durante mucho tiempo y se ha relacionado con

la disposición o ubicación de las colonias en el apiario, reportando evidencias de la reducción de ácaros, la supervivencia de las abejas y el aumento de la producción de miel en apiarios donde las colonias están distribuidas de manera más compleja y no de la manera común, lineal y a pocos metros (Libre, 1958; Jay, 1966; Neumann *et al.*, 2000; Retschnig *et al.*, 2019). En relación a este fenómeno, Dynes *et al.* (2019), aplicaron una distribución circular de las colonias, con la piquera ubicada hacia el exterior, además de diferentes alturas, colores y símbolos en las colmenas, lo que en conjunto redujo notoriamente la deriva accidental y se obtuvieron beneficios de productividad y salud en las abejas. En este sentido, la distribución común (lineal) de las colonias en este experimento, pudo ser una de las variantes que causó un desarrollo acelerado en las colonias de las orillas, provocando así una alteración de los resultados al momento de evaluar las diferentes dietas administradas.

Por otra parte, el peso y las características morfométricas de las abejas reina han cobrado cierta importancia en la apicultura, pues se han comprobado los beneficios al momento de elegir las reinas con las mejores cualidades biométricas y reproductivas para las colonias (De Souza *et al.*, 2015). Los resultados de este experimento coinciden con De Souza *et al.* (2019), quienes encontraron que el peso, medidas de la cabeza y del tórax de las reinas al momento de la emergencia son parámetros que se encuentran estrechamente relacionados, adicionalmente también encontraron medidas corporales superiores en reinas que fueron suplementadas con azúcares adicionales y hormona juvenil durante su estadio de larva, lo que nos indica que una mejor alimentación directa a la reina durante su crianza, garantiza una mejor calidad de estas al emerger y por lo tanto, una mejor vida reproductiva (Akyol *et al.*, 2008).

Sin embargo, en este experimento, se presentó la interrogante sobre el beneficio indirecto que podría tener el alimentar a la colonia con suplementos proteicos específicos y lo que esto causaría en la aceptación de reinas y biometría al momento de la emergencia, pues como bien es sabido, las abejas nodrizas consumen la

mayor parte del polen en la colonia y asimilan sus componentes, principalmente la proteína, traduciéndolo en jalea real, alimento para las crías y reina (Brodschneider y Crailsheim, 2010) por lo tanto, la relación entre el alimento de las reinas y la nutrición proteica de la colonia es evidente (Wright *et al.*, 2018). Tal es el caso de Sahinler *et al.* (2005) quienes encontraron un aumento significativo en la producción de jalea real en colonias que recibieron un suplemento alimenticio, incluyendo el proteico, en comparación con las que no recibieron alimentación adicional. Al igual que este, se han realizado diversos experimentos para determinar si existe alguna variación en la jalea real al utilizar diferentes dietas en las colonias (Haydak, 1960; Sereia y Toledo, 2013; Pattamayutanon *et al.*, 2018; Virgiliou *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

En la mayoría de los experimentos realizados, diferentes fuentes proteicas han ocasionado cambios en la jalea real, en los cuales se han encontrado variaciones ya sea en su calidad o cantidad, lo que nos sugiere que un cambio en la dieta de las abejas llega a tener un impacto sobre el alimento de las larvas y la reina de la colonia. Estos hallazgos indican las variaciones sobre los beneficios que la suplementación proteica de dietas específicas puede generar en la jalea real, sin embargo, ya sea en los cambios de sus componentes o en la cantidad producida, se han encontrado resultados favorables en cuanto a la calidad de las reinas en diferentes investigaciones donde se administró proteína directamente a la colonia (Noordyke y Ellis, 2021).

En los primeros experimentos sobre el tema, Haydak y Tanquary (1943) se enfocaron no solo en la jalea real, sino que también evaluaron el peso de reinas en colonias alimentadas con pan de abeja y otros sustitutos de polen, en donde encontraron ligeras variaciones que podían sugerir un beneficio en la calidad de las reinas al utilizar una dieta proteica en la colonia, pero debido a que este no es el tema principal del presente trabajo, no se presentaron conclusiones claras al respecto. Mas recientemente, Manning (2018) evaluó sustitutos proteicos en las colonias para obtener la diferencia de pesos entre las reinas, de 40 días de edad,

obteniendo variaciones significativas. En el caso de Cengiz *et al.* (2019) encontraron una mayor tasa de aceptación y pesos más elevados al momento de la emergencia, al utilizar un suplemento en la alimentación de las colonias en comparación con un tratamiento negativo, y aunado a esto, Njeru *et al.* (2017) también presentaron resultados a favor de la suplementación alimenticia en colonias, al obtener reinas numéricamente con mayor peso y otras características morfológicas en abejas africanas, destacando significativamente el ancho del tórax y el volumen de la espermateca.

Las investigaciones anteriores coinciden parcialmente con lo encontrado en el presente trabajo, pues la tasa de aceptación no mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, aunque Ultra Bee® se encontró numéricamente superior en esta variable y significativamente en cuanto al peso. Aunque en este experimento los sustitutos proteicos fueron diferentes a los empleados en otros estudios, se encontró que el utilizar dichos suplementos en la colonia puede tener un impacto en el tamaño de la reina, pues en las tres variables evaluadas sobre calidad se encontró que las reinas que emergieron de colonias suplementadas con proteína presentaron diferencias favorables respecto a las que no recibieron proteína, siendo los individuos de mejores resultados los del tratamiento Ultra Bee®, el cual presenta un porcentaje de proteína más alto en comparación con Nutra® y Promotor L®. Estos últimos mostrando un peso más elevado en las reinas que el tratamiento control.

Las evaluaciones realizadas a las reinas en este experimento pueden dar una pauta para identificar a las reinas de mayor calidad de acuerdo a algunas características físicas, sin embargo, es importante realizar otro tipo de evaluaciones en futuros experimentos, para complementar y asegurar el potencial reproductivo de las reinas. Entre estos se encuentra la evaluación de órganos reproductores internos (Amiri *et al.*, 2017), como el tamaño de los ovarios, el número de ovariolas (Niño *et al.*, 2013), el tamaño de la espermateca, el número de espermatozoides almacenados y su

viabilidad (Al-Lawati *et al.*, 2009; Tarpy *et al.*, 2011), así como su calidad de apareamiento (Schlüns *et al.*, 2005).

Respecto al análisis económico, de acuerdo a los precios encontrados localmente, una pasta proteica de 50 g. marca Ultra Bee® y Nutra® tienen un costo aproximado de \$8.76 y \$1.95 respectivamente, y en relación con los resultados obtenidos en el desarrollo de las colonias de este experimento, no se encuentra diferencia significativa que justifique la inversión en una alimentación proteica de costos elevados, por lo que en cuestión de beneficio económico y acorde a los resultados obtenidos, se sugiere el uso de la pasta proteica que represente el menor precio para el apicultor. Además de esto, se deben considerar los costos en la alimentación energética, la mano de obra y el tiempo invertido, lo que representa una inversión financiera importante (Mortensen *et al.*, 2019), por lo tanto, el realizar un análisis cuidadoso en el entorno y en las necesidades específicas de cada colonia podría significar una pérdida o un beneficio económico para los apicultores.

Otro aspecto a considerar al momento de administrar alimentos, es el fin productivo que tiene el apiario, pues de acuerdo con los resultados de este experimento, alimentar colonias con pasta proteica Ultra Bee® dio como resultado reinas de mayor calidad (más peso, ancho de cabeza y tórax) de acuerdo a las variables evaluadas que, según otras investigaciones (Nelson y Gary, 1983; Akyol *et al.*, 2008; Büchler *et al.*, 2013; Hatjina *et al.*, 2014), estas reinas pueden tener beneficios reproductivos en el futuro gracias a su mayor tamaño, por lo tanto, estos hallazgos indican un beneficio en la inversión del suplemento más costoso. Sin embargo, el suplemento Nutra® y Promotor L® también mostraron resultados por encima del tratamiento control en cuanto a la calidad de las reinas, por lo que se sugiere que el uso de cualquiera de los suplementos proteicos utilizados anteriormente para las colonias destinadas a la crianza de reinas puede mejorar la calidad de estas.

8. CONCLUSIONES

El uso de suplementos proteicos puede llegar a ser necesario para el desarrollo de núcleos en el primer mes de la temporada de escasez de recursos en esta región. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta región y bajo estas condiciones sugieren que no es indispensable alimentar colonias con suplementos comerciales si existen floraciones esporádicas parciales.

La distribución de colonias en apiarios con matrices visualmente lineales y similares afecta su productividad, aumentando el efecto de la deriva y ocasionando un desbalance en el desarrollo homogéneo de las colonias, por lo que se sugiere una distribución en formas irregulares para la realización de futuros experimentos.

La administración de suplementos proteicos como alimento en las colonias creadoras mejora el peso, ancho de tórax y cabeza en las abejas reina, siendo el alimento Ultra Bee® el que produjo las reinas de mejor calidad, por lo que podría considerarse como una opción que beneficie a los productores de abejas reinas en temporadas de escasez de alimento. Sin embargo, falta determinar que la productividad de estas reinas se compruebe en periodos de producción normales.

En cuanto al costo de los suplementos proteicos en los núcleos de abejas, los resultados sugieren que se puede usar el de más bajo costo (Promotor L®), puesto que el efecto que se tiene en la ganancia de peso y desarrollo de las colonias es similar al suplemento de más alto costo (Ultra Bee®).

Respecto al costo de los suplementos proteicos empleados en las colonias creadoras de abejas reina, se sugiere el uso de Ultra Bee®, que a pesar de presentar el costo más elevado, produjo las reinas de mejor calidad de acuerdo con las variables evaluadas, peso, ancho de tórax y cabeza.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, S., Khan, K., Khan, S., Ghramh, H. y Gul, A. (2021). Comparative assessment of various supplementary diets on commercial honey bee (*Apis mellifera*) health and colony performance. *PloS One*, 16(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258430>
- Akyol, E., Yeninar, H. y Kaftanoglu, O. (2008). Live weight of queen honey bees (*Apis mellifera* L.) predicts reproductive characteristics. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 81(2), 92-100. <https://doi.org/10.2317/JKES-705.13.1>
- Al-Lawati, H., Kampo, G. y Bienefeld, K. (2009). Characteristics of the spermathecal contents of old and young honeybee queen. *Journal of Insect Physiology*, 55(2), 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2008.10.010>
- Alaux, C., Ducloz, F., Cruser., D. y Le Conte, Y. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology letters*, 6(4), 562-565. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0986>
- Amiri, E., Strand, M., Rueppell, O. y Tarpy, D. (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. <https://doi.org/10.3390/insects8020048>
- Anderson, D. y Trueman, J. (2000). *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) is more than one species. *Experimental and Applied Acarology*, 24, 165-189. <https://doi.org/10.1023/A:1006456720416>
- Anderson, K., Carroll, M., Sheehan, T., Mott, B., Maes, P. y Corby, V. (2014). Hive-stored pollen of honey bees: many lines of evidence are consistent with pollen preservation not nutrient conversion. *Molecular Ecology*, 23(23), 5904-5917. <https://doi.org/10.1111/mec.12966>
- Avni, D., Dag, A. y Shafir, S. (2009). The effect of surface area of pollen patties fed to honey bee (*Apis mellifera*) colonies on their consumption, brood production and honey yields. *Journal of Apicultural Research*, 48(1), 23-28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.48.1.06>
- Ball, B. y Allen, M. (1988). The prevalence of pathogens in honey bee (*Apis mellifera*) colonies infested with the parasitic mite *Varroa jacobsoni*. *Annals of Applied*

- Biology*, 113(2), 237-244. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1988.tb03300.x>
- Bonilla, G. y Engel, P. (2018). Functional roles and metabolic niches in the honey bee gut microbiota. *Current Opinion in Microbiology*, 43, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.12.009>
- Brodschneider, R. y Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(1), 278-294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>
- Büchler, R., Andonov, S., Bienefeld, K., Costa, C., Hatjina, F., Kezic, N., Kryger, P., Spivak, M., Uzunov, A. y Wilde, J. (2013). Standard methods for rearing and selection of *Apis mellifera* queens. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1-30. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.07>
- Cengiz, M., Yazici, K. y Arslan, S. (2019). The effect of the supplemental feeding of queen rearing colonies on the reproductive characteristics of queen bees (*Apis mellifera* L.). Reared from egg and different old of larvae. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 25, 849-855. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2019.21998>
- Contreras-Martinez, C., Contreras-Escareño, F., Macias-Macias, J., Tapia-Gonzalez, J., Petukhova, T y Guzman-Novoa, E. (2017). Effect of different substrates on the acceptance of grafted larvae in commercial honey bee (*Apis mellifera*) queen rearing. *Journal of Apicultural Science*, 61(2), 245-251. <https://doi.org/10.1515/jas-2017-0019>
- Corona, M., Branchiccela, B., Alburaki, M., Palmer-Young, E., Madella, S., Chen, Y. y Evans, J. (2023). Decoupling the effects of nutrition, age, and behavioral caste on honey bee physiology, immunity, and colony health. *Frontiers in Physiology*, 14, 1149840. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1149840>
- Crailsheim, K., Brodschneider, R., Aupinel, P., Behrens, D., Genersch, E., Vollmann, J. y Riessberger, U. (2013). Standard methods for artificial rearing of *Apis mellifera* larvae. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1-16. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.05>
- De Groot. (1953). Aminoacid requirements for growth of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Experientia*, 8(5), 192-194. <https://doi.org/10.1007/BF02173740>

- De Souza, D., Hartfelder, K. y Tarpy, D. (2019) Effects of larval age at grafting and juvenile hormone on morphometry and reproductive quality parameters of in vitro reared honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(5), 2030-2039. <https://doi.org/10.1093/jee/toz148>
- De Souza, D., Wang, Y., Kaftanoglu, O., De Jong, D., Amdam, G., Gonçalves, L. y Franco, T. (2015). Morphometric identification of queens, workers and intermediates in vitro reared honey bees (*Apis mellifera*). *PLoS One*, 10(4), e0123663. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123663>
- DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., Huang, E. y Huang, M. (2010). The effect of diet on protein concentration, hypopharyngeal gland development and virus load in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Insect Physiology*, 56(9), 1184-1191. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2010.03.017>
- DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., Rivera, R., Carroll, M., Chambers, M., Hidalgo, G. y De Jong, E. (2016). Honey bee colonies provided with natural forage have lower pathogen loads and higher overwinter survival than those fed protein supplements. *Apidologie*, 47, 186-196. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0386-6>
- DeGrandi-Hoffman, G., Wardell, G., Ahumada-Segura, F., Rinderer, T., Danka, R. y Pettis, J. (2008). Comparisons of pollen substitute diets for honey bees: consumption rates by colonies and effects on brood and adult populations. *Journal of Apicultural Research*, 47(4), 265-270. <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101473>
- Delaney, D., Keller, J. Care, J. y Tarpy, D. (2011). The physical, insemination, and reproductive quality of honey bee queens (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 42, 1-13. <https://doi.org/10.1051/apido/2010027>
- Dietz, A. y Lambremont, E. (1970). Caste determination in honey bees. II. Food consumption of individual honey bee larvae, determinate with ³²P-labeled royal jelly. *Annals of the Entomological Society of America*, 63(5), 1342-1345. <https://doi.org/10.1093/aesa/63.5.1342>
- Dolasevic, S., Stevanovic, J., Aleksic, N., Glavinic, U., Deletic, N., Mladenovic, M. y 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.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1673965>
- Donkersley, P., Rhodes, G., Pickup R., Jones, K. y Wilson, K. (2014). Honeybee nutrition is linked to landscape composition. *Ecology and Evolution*, 4(21), 4195-4206. <https://doi.org/10.1002/ece3.1293>
- Dynes, T., Berry, J., Delaplane, K., Brosi, B. y De Roode, J. (2019). Reduced density and visually complex apiaries reduce parasite load and promote honey production and overwintering survival in honey bees. *PLoS One*, 14(5), e0216286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216286>
- Niño, E., Tarpy, D. y Grozinger, C. (2013). Differential effects of insemination volume and substance on reproductive changes in honey bee queens (*Apis mellifera* L.) *Insect Molecular Biology*, 22(3), 233-244.
<https://doi.org/10.1111/imb.12016>
- Enemigos naturales de las abejas. (2022).
https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/9642080/DT115_web_cast.pdf/086c45dc-4bf5-4513-b4da-da0d0ebea97c
- Eyer, M., Neumann, P. y Dietemann, V. (2016). A look into the cell: honey storage in honey bees, *Apis mellifera*. *PloS One*, 11(8),
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161059>
- Gisder, S., Aumeier, P. y Genersch, E. (2009). Deformed wing virus: replication and viral load in mites (*Varroa destructor*). *Journal of General Virology*, 90(2), 463-467. <https://doi.org/10.1099/vir.0.005579-0>
- Gregorc, A., Sampson, B., Knightt, P. y Adamczyk, J. (2019). Diet quality affects honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) mortality under laboratory conditions. *Journal of Apicultural Research*, 58(4), 492-493.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1614736>
- Hatjina, F., Bienkowska, M-. Charistos, L., Chlebo, R., Costa, C., Drazic, M. Filipi, J., Gregorc, A., Ivanova, E., Kezic, N., Kopernicky, J., Kryger, P., Lodesani, M., Lokar, V., Mladenovic, M., Panasiuk, B., Petrov, P., Rasic, S., Skerl, M., ... Wilde, J. (2014). A review of methods used in some European countries

- for assessing the quality of honey bee Queens through their physical characters and the performance of their colonies. *Journal of Apicultural Research*, 53(3), 337-363. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.3.02>
- Haydak, M. (1960). Vitamin content of royal jelly from honey bee colonies fed normal diet and from those fed pollen substitutes. *Annals of the Entomological Society of America*, 53(5), 695. <https://doi.org/10.1093/aesa/53.5.695>
- Haydak, M. y Tanquary, M. (1943). Pollen and pollen substitutes in the nutrition of the honeybee. <https://core.ac.uk/download/pdf/222896632.pdf>
- Hernández, J., Rodríguez, J., Frizzo, L., Fernández, K., Solenzal, Y., Soto, L. y Viciado, D. (2020). Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas del tracto digestivo de abejas adultas *Apis mellifera*. *Revista de Salud Animal*, 42(2), 1-9. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/145698/CONICET_Digital_Nro.f1cdb009-675e-4346-8e7c-ef22009236a6_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Hoover, S., Ovinge, L. y Kearns, J. (2022). Consumption of supplemental spring protein feeds by western honey bee (Hymenoptera:Apidae) colonies: effects on colony growth and pollination potential. *Journal of Economic Entomology*, 115(2), 417-429. <https://doi.org/10.1093/jee/toac006>
- Huang, Z. (2010). Honey Bee Nutrition. *American Bee Journal*, 150(8), 773-776. <http://articles.extension.org/pages/28844/honey-bee-nutrition>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2020). *Nutrición y alimentación de las abejas*. Buenas prácticas apícolas para la alimentación artificial. 36 pp.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2021). Zapotlán el Grande, Diagnóstico del Municipio. 7 pp.
- Insuasty, E., Martínez, J. y Jurado, H. (2016). Identificación de flora y análisis nutricional de miel de abeja para la producción apícola. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 37-44. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)37-44](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)37-44)

- Jay, S. (1966). Drifting of honeybees in commercial apiaries.III. Effect of apiary layout. *Journal of Apicultural Research*, 5(3), 137-148.
<https://doi.org/10.1080/00218839.1966.11100147>
- Jean- Prost, P. (2007). *Apicultura. Conocimiento de la abeja, manejo de la colmena*. Mundi-Prensa.
- Kumar, R., Mishra, R. y Agrawal, O. (2013). Effect of feeding artificial diets to honey bee during dearth period under Panchkula (Haryana) conditions. *Journal of Entomological Research*, 37(1), 41-46
- Lamontagne-Drolet, M., Samson-Robert, O., Giovenazzo, P. y Fournier, V. (2019). The impacts of two protein supplements on commercial honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Journal of Apicultural Research*, 58(5), 800-813.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1644938>
- Larsen, A., Reynaldi, F. y Guzmán-Novoa, E. (2019). Bases del sistema inmune de la abeja melífera (*Apis mellifera*). Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4785>
- Le Conte, Y., Ellis, M. y Ritter, W. (2010). Varroa mites and honey bee health: can Varroa explain part of the colony losses? *Apidologie*, 41(3), 353-363.
<https://doi.org/10.1051/apido/2010017>
- Libre, J. (1958). The drifting of honey-bees. *The journal of Agricultural Science*, 51(3), 294-306. <https://doi.org/10.1017/S0021859600035103>
- Llorente, J. (2008). *Anatomía interna de las abejas*. Recuperado el 3 de enero de 2022, de [https://abejas.org/anatomia-interna-de-las-abejas/#:~:text=En%20el%20extremo%20proximal%20del,elementos%20s%C3%B3lidos\)%2C%20se%20mezcle](https://abejas.org/anatomia-interna-de-las-abejas/#:~:text=En%20el%20extremo%20proximal%20del,elementos%20s%C3%B3lidos)%2C%20se%20mezcle)
- López, M. y Simone, M. (2019). Honey bee research in the US: Current state and solutions to beekeeping problems. *Insects*, 10(1), 22.
<https://doi.org/10.3390/insects10010022>
- Mahmood, R., Wagchoure, E. y Sarwar, G. (2013). Influence of supplemental diets on *Apis mellifera* L. colonies for honey production. *Journal of Agricultural Research*, 26(4), 290-294

- Manning, R. (2016). Artificial feeding of honeybees based on an understanding of nutritional principles. *Animal Production Science*, 58(4), 689-703. <https://doi.org/10.1071/AN15814>
- Martínez, L., Martínez, J. y Cetzal, W. (2017). *Apicultura: Manejo, Nutrición, Sanidad y Flora Apícola*. Universidad Autónoma de Campeche
- Mattila, H. y Otis, G. (2006). Influence of pollen diet in spring on development of honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) colonies. *Journal of Economic Entomology*, 99(3), 604-6013. <https://doi.org/10.1093/jee/99.3.604>
- Medina, C., Guzmán, E., Saldívar, S. y Aguilera, J. (2018). Efecto de tres dietas energético-proteicas en la población y producción de miel de colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera*). *Nova Scientia*, 10(20), 1-12. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1110>
- Mohallem, J., Mohallem, H., Esposito, E. y Manfrini, M. (2016). On the effects of artificial feeding on bee colony dynamics: a mathematical model. *PloS one*. 11(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167054>
- Mollinedo, L. (2019). *La industria apícola peruana y su futuro*. [Tesis de fin de grado, Universidad Nacional de Educación Perú]. <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/3768/MONOGRAF%c3%8dA%20-%20MOLLINEDO%20CHAY%c3%91A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morais, M., Turcatto, A., Franco, T., Gonçalves, L., Cappelari, F. y De Jong, D. (2013). Evaluation of inexpensive pollen substitute diets through quantification of haemolymph proteins. *Journal of Apicultural Research*, 52(3), 119-121. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.3.01>
- Mortensen, A., Jack, C., Bustamante, T., Schmehl, D. y Ellis, J. (2019). Effects of supplemental pollen feeding on honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) colony strength and *Nosema* spp. infection. *Journal of Economic Entomology*, 112(1), 60-66. <https://doi.org/10.1093/jee/toy341>
- Muñoz, O., García, O. y Olavarría, P. (2022). Manual de transferencia, uso y aplicabilidad de alimento para abejas. <https://agrarias.uach.cl/wp-content/uploads/2022/12/Manual-Final.pdf>

- Nates, G. (2011). Genética del comportamiento: abejas como modelo. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 213-230.
- Naug, D. (2009). Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biological Conservation*, 142(10), 2369-2372. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.04.007>
- Negri, P., Villalobos, E., Szawarski, N., Damiani, N., Gende, L., Garrido, M., Maggi, M., Quinteana, S., Lamanttina, L. y Eguaras, M. (2019). Towards precision nutrition: a novel concept linking phytochemicals, immune response and honey bee health. *Insects*, 10(11), 2-29. <https://doi.org/10.3390/insects10110401>
- Nelson, D. y Gary, N. (1983). Honey productivity of honeybee colonies in relation to body weight, attractiveness and fecundity of the queen. *Journal of Apicultural Research*, 22(4), 209-212. <https://doi.org/10.1080/00218839.1983.11100589>
- Neumann, P., Moritz, R. y Mautz, D. (2000). Colony evaluation is not affected by drifting of drone and worker honeybees (*Apis mellifera* L.) at a performance testing apiary. *Apidologie*, 31(1), 67-79. <https://doi.org/10.1051/apido:2000107>
- Njeru, L., Raina, S., Kutima, H., Salifu, D., Cham, D., Kimani, J. y Muli, E. (2017). Effect of larval age and supplemental feeding on morphometrics and oviposition in honey bee *Apis mellifera* scutellate queens. *Journal of Apicultural Research*, 56(3), 183-189. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1307714>
- Noordyke, E. y Ellis, J. (2021). Reviewing the efficacy of pollen substitutes as a management tool for improving the health and productivity of western honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 772897. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.772897>
- Núñez, O., Almeida, R., Rosero, M. y Lozada, E. (2017). Fortalecimiento del rendimiento de abejas (*Apis mellifera*) alimentadas con fuentes proteicas. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(2), 95-103. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812017000200002&lng=es&tlng=es

- Oliveira, G., Moura, S., Emilio, B., Martins, P. y Oliveira, R. (2020). Energetic supplementation for maintenance or development of *Apis mellifera* L. colonies. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 26, 2-8. <https://doi.org/10.1590/1678-9199-JVATITD-2020-0004>
- Statistical Analysis System SAS. (2015). User's guide. Version 13.0 ed. Cary: SAS Institute
- Pattamayutanon, P., Peng, C., Sinpoo, C. y Chantawannakul, P. (2018). Effects of pollen feeding on quality of royal jelly. *Journal of economic entomology*, 111(6), 2974-2978. <https://doi.org/10.1093/jee/toy251>
- Pavel, C., Marghitas, A., Bobis, O., Dezmirean, D., Sapcaliu, A., Radoi, I. Y Madas, M. (2011). Biological activities of royal jelly—review. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 44(2), 108-118. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.856.6091&rep=rep1&type=pdf>
- Piedra, M. (2017). *Evaluación de la suplementación de una fórmula nutricional a base de vitaminas, minerales y aminoácidos a abejas melíferas (Apis mellifera), medida a través del peso de la colmena, porcentaje de postura de la reina (cría operculada) y cantidad de proteína de las abejas*. [Tesis de fin de grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/11070/1/T-UCE-0014-026-2017.pdf>
- Posada-Florez, F., Ryabov, E., Heerman, M., Chen, Y., Evans, J., Sonenshine, D. y Cook, S. (2020). *Varroa destructor* mites vector and transmit pathogenic honey bee viruses acquired from and artificial diet. *PLoS One*, 15(11), e0242688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242688>
- Pudasaini, R., Dhital, B. y Chaudhary, S. (2020). Nutritional requirement and its role on honeybee: a review. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 3 (2), 321-334. <https://doi.org/10.3126/janr.v3i2.32544>
- Rembold, H. y Lackner, B. (1981). Rearing of honeybee larvae in vitro: Effect of yeast extract on queen differentiation. *Journal of Apicultural Research*, 20(3), 165-171. <https://doi.org/10.1080/00218839.1981.11100492>

- Retschnig, G., Kellermann, L., Mehmman, M., Yañez, O., Winiger, P., Williams, G. y Neumann, P. (2019). Black queen cell virus and drifting of honey bee workers (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Research*, 58(5), 754-755. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1655133>
- Ricigliano, V., Williams, S. y Oliver, R. (2022). Effects of different artificial diets on commercial honey bee colony performance , health biomarkers, and gut microbiota. *BMC Veterinary Research*, 18(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03151-5>
- Rodney, S. y Purdy, J. (2020). Dietary requirements of individual nectar foragers, and colony-level pollen and nectar consumption: a review to support pesticide exposure assessment for honey bees. *Apidologie*, 51(2), 163-179. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13592-019-00694-9>
- Rosenkranz, P., Aumeier, P. y Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103. S96-S119. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016>
- Saffari, A., Kevan, P. y Atkinson, J. (2010). Palatability and consumption of Patty-formulated pollen and pollen substitutes and their effects on honeybee colony performance. *Journal of Apicultural Science*, 54(2), 63-71.
- Sagona, S., Coppola, F., Giannaccini, G., Betti, L., Palego, L., Tafi, E., Casini, L., Piana, L., Dall'Olio, R. y Felicioli, A. (2022). Impact of different storage temperature on the enzymatic activity of *Apis mellifera* royal jelly. *Foods*, 11(20), 3165. <https://doi.org/10.3390/foods11203165>
- Sahinler, N., Gül, A. y Sahin, A. (2005). Vitamin E supplement in honey bee colonies to increase cell acceptance rate and royal jelly production. *Journal of Apicultural Research*, 44(2), 58-60. <https://doi.org/10.1080/00218839.2005.11101149>
- Schlüns, H., Moritz, R., Neumann, P., Kryger, P. y Koeniger, G. (2005). Multiple nuptial flights, sperm transfer and the evolution of extreme polyandry in honeybee queens. *Animal Behaviour*, 70(1), 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.11.005>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Crecen producción y exportaciones de miel en México al cierre de 2021. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crecen-produccion-y-exportaciones-de-miel-en-mexico-al-cierre-de-2021-agricultura-293944?idiom=es>
- Sereia, M. y Toledo, V. (2013). Quality of royal jelly produced by Africanized honeybees fed a supplemented diet. *Food Science and Technology*, 33, 304-309. <https://doi.org/10.1590/S0101-2061201305000039>
- Sihag, R. y Gupta, M. (2011). Development of an artificial pollen substitute/supplement diet to help tide the colonies of honeybee (*Apis mellifera* L.) over the dearth season. *Journal of Apicultural Science*, 55(2)
- Sihag, R. y Gupta, M. (2013). Testing the effects of some pollen substitute diets on colony build up and economics of beekeeping with *Apis mellifera* L. *Journal of Entomology*, 10(3), 120-135. <https://doi.org/10.3923/je.2013.120.135>
- Smart, M., Pettis, J., Rice, N., Browning, Zac. y Spivak, M. (2016). Linking measures of colony and individual honey bee health to survival among apiaries exposed to varying agricultural land use. *PloS One*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152685>
- Somerville, D. (2005). *Fat bees skinny bees*. NSW Department of Primary Industries.
- Tarpy, D., Keller, J., Care, J. y Delaney, D. (2011). Experimentally induced variation in the physical reproductive potential and mating success in honey bee queens. *Insectes Sociaux*, 58, 569-574. <https://doi.org/10.1007/s00040-011-0180-z>
- Tucuch, J., Rangel, M., Casanova, F., Ruíz, E., Utrera, F., Tucuch, F. y Burgos, J. (2020). Alimentación suplementaria alternativa de *Apis mellifera* L. durante la temporada de escasez en Yucatán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2601>
- Ullah, A., Shahzad, M., Iqbal, J. y Baloch, M. (2021). Nutritional effects of supplementary diets on brood development, biological activities and honey production of *Apis mellifera* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6861-6868. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.067>

- Vanderplanck, M., Moerman, R., Rasmont, P., Lognay, G., Wathelet, B., Wattiez, R. y Michez, D. (2014). How does pollen chemistry impact development and feeding behavior of polylectic bees? *PloS One*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086209>
- Virgiliou, C., Kanelis, D., Pina, A., Gika, H., Tananaki, C., Zotou, A. y Theodoridis, G. (2020). A targeted approach for studying the effect of sugar bee feeding on the metabolic profile of royal jelly. *Journal of Chromatography A*, 1616, 460783. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460783>
- Wang, Y., Kaftanoglu, O., Brent, C., Page, R. y Amdam, G. (2016). Starvation stress during larval development facilitates an adaptative response in adult worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Experimental Biology*, 219(7), 949-959. <https://doi.org/10.1242/jeb.130435>
- Wang, Y., Ma, L., Wang, H., Liu, Z., Chi, X. y Xu, B. (2023). Effects of sucrose feeding on the quality of royal jelly produced by honeybee *Apis mellifera* L. *Insects*, 14(9), 742. <https://doi.org/10.3390/insects14090742>
- Wright, G., Nicolson, S. y Shafir, S. (2018). Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 63(1), 327-344. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>
- Zheng, B., Wu, Z. y Xu, B. (2014). The effects of dietary protein levels on the population growth, performance, and physiology of honey bee workers during early spring. *Journal of Insect Science*, 14(1), 191. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu053>
- Zhou, E., Wang, Q., Li, X., Zhu, D., Niu, Q., Li, Q. y Wu, L. (2023). Effects of bee pollen derived from *Acer mono* Maxim. or *Phellodendron amurense* Rupr. on the lipid composition of royal jelly secreted by honeybees. *Foods*, 12(3), 625. <https://doi.org/10.3390/foods12030625>