



Artículo Original / Original article

Evaluación del efecto de tres suplementos proteicos en el desempeño polinizador de *Apis Mellifera*

Evaluation of the effect of three protein supplements on the pollinating performance of *Apis mellifera*

Valeria Belén Millones-Abarca ¹ ; Verónica Marianella Román-Coyla ^{1*}

¹Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú

Recibido: 13/10/2025

Aceptado: 01/12/2025

Publicado: 25/01/2026

*Autor de correspondencia: vroman@ucsm.edu.pe

Resumen: Se evaluó el efecto de tres suplementos comerciales sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca, La Joya, Arequipa. Se realizó un ensayo de campo con cuatro tratamientos: control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica, complementado con un análisis proximal de los suplementos. Durante el periodo experimental se registraron el peso de las colmenas, el número de marcos poblados y el número de marcos con cría. PROMEGA presentó el mejor comportamiento global, con los mayores valores promedio en peso, marcos poblados y marcos con cría. NUC+ PRO SISA mostró una respuesta intermedia, mientras que la Torta Proteica presentó un desempeño más limitado en los indicadores poblacionales. El análisis proximal evidenció diferencias en la composición nutricional de los productos. En conjunto, los resultados indican que la respuesta de las colonias depende de las características nutricionales del suplemento utilizado y de su desempeño bajo condiciones locales de campo.

Palabras clave: alimentación suplementaria; *Apis mellifera*; desarrollo de colonias; nutrición apícola; suplementos proteicos

Abstract: The effects of three commercial supplements on the development of *Apis mellifera* colonies were evaluated at Fundo Agroinca, La Joya, Arequipa. A field trial was conducted with four treatments: control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA, and Protein Patty, complemented by proximate analysis of the supplements. During the experimental period, colony weight, number of occupied frames, and number of brood frames were recorded. PROMEGA showed the best overall performance, with the highest mean values for colony weight, occupied frames, and brood frames. NUC+ PRO SISA showed an intermediate response, whereas the Protein Patty exhibited a more limited performance in the population-related indicators. Proximate analysis revealed differences in the nutritional composition of the products. Overall, the findings indicate that colony response depends on the nutritional characteristics of the supplement used and its performance under local field conditions.

Keywords: apicultural nutrition; *Apis mellifera*; colony development; protein supplements; supplementary feeding

1. Introducción

La abeja melífera (*Apis mellifera*) constituye uno de los polinizadores manejados de mayor importancia para los sistemas agrícolas, debido a su participación en la reproducción de numerosos cultivos y a su aporte a la producción de alimentos. La disponibilidad de polinizadores influye directamente en el rendimiento y estabilidad de diversas especies cultivadas, por lo que la conservación de colonias fuertes representa un componente relevante tanto para la actividad apícola como para la productividad agrícola (Klein et al., 2007; Potts et al., 2016). En este contexto, el estado nutricional de las colonias adquiere especial importancia, ya que condiciona su capacidad de crecimiento, mantenimiento y respuesta frente a las variaciones del entorno.

El polen constituye la principal fuente natural de proteínas, aminoácidos, lípidos, vitaminas y minerales para *A. mellifera*, nutrientes necesarios para el desarrollo de las obreras, la actividad de las glándulas hipofaríngeas y la alimentación de la cría (Ansaloni et al., 2025; Brodschneider & Crailsheim, 2010; Di Pasquale et al., 2013). Sin embargo, tanto la cantidad como la calidad del polen disponible pueden variar según la estación, la diversidad floral y las características del paisaje, generando fluctuaciones temporales en la disponibilidad de recursos para los polinizadores (Harris et al., 2024). Esta variabilidad puede originar periodos de limitación nutricional, especialmente en ambientes donde la oferta floral es reducida o irregular, afectando la dinámica poblacional y el desarrollo de las colonias (Naug, 2009; Quinlan & Grozinger, 2023).

La suplementación proteica se ha empleado como una estrategia de manejo para compensar la menor disponibilidad de polen durante periodos críticos. Su efecto, sin embargo, depende de las características del producto suministrado y no únicamente de su concentración de proteína. Aspectos como el perfil de aminoácidos, la digestibilidad, la composición energética y la aceptación del alimento pueden modificar la respuesta de las colonias. Zheng et al. (2014) observaron que niveles adecuados de proteína dietaria favorecieron el crecimiento poblacional y parámetros fisiológicos de las obreras, mientras que Hoover et al. (2022) encontraron que la suplementación puede contribuir al desarrollo de las colonias cuando la disponibilidad externa de recursos proteicos es limitada.

A pesar de estos beneficios potenciales, los resultados obtenidos con sustitutos de polen y suplementos comerciales no son uniformes. Noordyke & Ellis (2021) señalan que su eficacia puede variar desde respuestas favorables hasta efectos neutros, dependiendo de la formulación, el momento de administración y las condiciones ambientales. De manera similar, Peirson et al. (2024) encontraron que los efectos de la suplementación proteica difirieron entre regiones y periodos de evaluación, lo que refuerza la necesidad de valorar estos productos bajo condiciones locales. Esta variabilidad cobra particular relevancia en zonas áridas como La Joya, Arequipa, donde la disponibilidad de recursos florales puede disminuir durante determinados periodos del año.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres suplementos comerciales sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca, La Joya, Arequipa, mediante la caracterización proximal de los productos y el seguimiento del peso de las colmenas, el número de marcos poblados y el número de marcos con cría. La evaluación permitió comparar el comportamiento de las alternativas nutricionales bajo condiciones de campo y generar información aplicable al manejo alimentario de las colonias en ambientes con disponibilidad floral variable.

2. Metodología

2.1 Área de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó durante 2025 en el Fundo Agroinca, ubicado en el distrito de La Joya, Arequipa, Perú, a aproximadamente 1 350 m s. n. m. La zona presenta condiciones predominantemente áridas, con escasas precipitaciones, alta radiación solar y marcada oscilación

térmica diaria. La fase experimental tuvo una duración aproximada de dos meses y medio y se desarrolló durante un periodo de baja disponibilidad de recursos florales, condición en la que la suplementación alimentaria adquiere especial importancia para el mantenimiento de las colonias.

Se desarrolló un ensayo comparativo de campo utilizando cuatro colonias de *Apis mellifera* de la línea genética "Mama Oclo", seleccionadas procurando condiciones iniciales semejantes de estado sanitario, peso y número de marcos poblados y con cría. Se establecieron cuatro tratamientos: un control sin suplementación y tres tratamientos correspondientes a los suplementos comerciales NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas. Cada colonia permaneció bajo el tratamiento asignado durante todo el periodo experimental y fue sometida al mismo protocolo de manejo y seguimiento, con el propósito de evaluar la evolución de los indicadores de desarrollo de la colonia bajo condiciones de campo.

2.2 Tratamientos y suplementación

Se evaluaron tres suplementos comerciales destinados a la alimentación de colonias de *Apis mellifera*: NUC+ PRO SISA y PROMEGA, productos de Bee Products, y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas, de Polinizaciones S.A.C. Además, se incluyó un tratamiento control sin suplementación. De esta manera, el experimento estuvo conformado por cuatro tratamientos independientes: control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica. No se evaluaron combinaciones entre suplementos y cada colonia permaneció con el tratamiento inicialmente asignado durante todo el periodo experimental.

Los tres productos fueron utilizados como alternativas de suplementación durante el periodo de baja disponibilidad de recursos florales. Para mantener condiciones comparables entre los tratamientos suplementados, se administraron 0,5 kg de producto por colmena en cada reposición, realizada con una frecuencia de siete días. Tanto la cantidad suministrada como el intervalo de reposición se mantuvieron constantes durante el ensayo, por lo que el tipo de suplemento constituyó el principal factor de comparación. El tratamiento control fue manejado bajo las mismas condiciones generales del apiario, pero no recibió ninguno de los suplementos evaluados.

Las colonias se mantuvieron en colmenas tipo Langstroth y fueron sometidas a un protocolo uniforme de manejo durante el periodo de seguimiento. La suplementación se mantuvo de forma continua según el esquema establecido, evitando modificaciones en la cantidad o frecuencia de administración entre tratamientos. Este procedimiento permitió realizar el seguimiento comparativo de la respuesta de las colonias frente a cada alternativa alimentaria mediante los indicadores definidos para el estudio: peso de la colmena, número de marcos poblados y número de marcos con cría.

2.3 Caracterización nutricional de los suplementos

La composición nutricional de los tres suplementos comerciales fue determinada mediante análisis proximal, con el propósito de caracterizar su aporte nutricional y disponer de información que permitiera interpretar posteriormente la respuesta observada en las colonias. Para cada producto se analizaron muestras representativas de NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas.

El análisis incluyó la determinación de humedad, cenizas, grasa, proteína bruta, fibra, carbohidratos y contenido energético. La proteína bruta fue cuantificada mediante el método Kjeldahl, empleando el factor de conversión 6,25; la determinación de humedad se realizó mediante secado y el contenido energético mediante calorimetría. Los análisis fueron efectuados bajo condiciones de laboratorio utilizando equipos de precisión para el procesamiento y cuantificación de las muestras.

Los resultados fueron expresados en porcentaje para humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra y carbohidratos, mientras que el contenido energético se reportó en kcal/100 g. Esta caracterización

permitió comparar el perfil proximal de los productos y relacionarlo posteriormente con el comportamiento registrado en las variables de desarrollo de las colonias.

2.4 Evaluación de las colonias

La respuesta de las colonias a los tratamientos se evaluó mediante tres indicadores relacionados con su desarrollo y fortaleza: peso total de la colmena, número de marcos poblados y número de marcos con cría (Capela et al., 2023; K.S. Delaplane, J.J.M. van der Steen, 2013).

El **peso de la colmena** se registró en kilogramos mediante una balanza digital Alexander Mobba, colocando cada unidad sobre el equipo bajo un procedimiento uniforme de pesaje. Esta variable fue utilizada como un indicador global del comportamiento de la colonia, ya que integra la masa correspondiente a las abejas, la cría y las reservas presentes en la colmena. Los registros sucesivos permitieron seguir su variación durante el ensayo y comparar las trayectorias observadas entre los tratamientos.

El **número de marcos poblados** se determinó mediante inspección directa de cada colmena, contabilizando los marcos cubiertos por abejas adultas. De manera paralela, el **número de marcos con cría** se obtuvo mediante revisión visual, considerando aquellos que presentaban cría abierta y/o operculada. Ambos indicadores fueron registrados sistemáticamente en hojas de campo y posteriormente digitalizados para su procesamiento estadístico.

Durante las evaluaciones se mantuvo un procedimiento uniforme de manipulación de las colmenas y registro de la información, con el fin de reducir variaciones asociadas al manejo. El seguimiento conjunto de las tres variables permitió caracterizar la evolución de cada colonia y comparar el comportamiento observado bajo los diferentes tratamientos de suplementación.

2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos durante el seguimiento de las colonias fueron procesados mediante estadística descriptiva e inferencial. La distribución de las variables se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y, de acuerdo con el comportamiento de los datos, se seleccionaron procedimientos paramétricos o no paramétricos para la comparación entre tratamientos. El esquema de análisis empleado para cada variable se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis estadístico aplicado a las variables de estudio

Variable	Análisis descriptivo	Prueba global	Comparaciones múltiples	Nivel de significancia
Peso de la colmena (kg)	Mediciones sucesivas y promedio	ANOVA de una vía	Prueba de Tukey	$\alpha = 0,05$
Marcos poblados (n)	Mediciones sucesivas y promedio	Kruskal-Wallis	Prueba de Dunn con ajuste de Holm-Bonferroni	
Marcos con cría (n)	Mediciones sucesivas y promedio	Kruskal-Wallis	Prueba de Dunn con ajuste de Holm-Bonferroni	

El análisis estadístico se realizó con Stata versión 18 (StataCorp LLC, College Station, TX, EE. UU.), considerando diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$.

3. Resultados

3.1 Composición nutricional de los suplementos

El análisis proximal mostró diferencias en la composición de los tres suplementos evaluados (Tabla 2). NUC+ PRO SISA y PROMEGA presentaron contenidos similares de proteína bruta, con 14,94 % y 14,68 %, respectivamente. En contraste, en la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas no se detectó proteína mediante el análisis realizado. Este último producto presentó, además, un perfil caracterizado por una mayor proporción de carbohidratos.

Tabla 2. Composición proximal y valor energético de los suplementos evaluados.

Parámetro	Unidad	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia)
Humedad	%	20,58	21,47	14,12
Cenizas	%	2,63	2,48	1,70
Grasa	%	0,94	2,37	0,53
Proteína bruta (× 6,25)	%	14,94	14,68	0,00
Fibra	%	0,16	0,24	0,14
Carbohidratos	%	60,75	58,76	83,51
Energía	kcal/100 g	311,54	315,57	339,09

La Torta Proteica registró el mayor contenido de carbohidratos (83,51 %), frente a 60,75 % en NUC+ PRO SISA y 58,76 % en PROMEGA. Asimismo, presentó el mayor valor energético, con 339,09 kcal/100 g, seguido de PROMEGA con 315,57 kcal/100 g y NUC+ PRO SISA con 311,54 kcal/100 g. En cuanto al contenido de grasa, PROMEGA alcanzó el valor más alto (2,37 %), mientras que NUC+ PRO SISA y la Torta Proteica registraron 0,94 % y 0,53 %, respectivamente.

Las diferencias fueron menores en los contenidos de fibra y cenizas. La fibra varió entre 0,14 % y 0,24 %, mientras que las cenizas oscilaron entre 1,70 % y 2,63 %. La humedad fue similar entre NUC+ PRO SISA (20,58 %) y PROMEGA (21,47 %), y menor en la Torta Proteica (14,12 %). En conjunto, los resultados evidenciaron perfiles nutricionales diferenciados: NUC+ PRO SISA y PROMEGA se caracterizaron por un aporte proteico comparable, mientras que la Torta Proteica presentó una mayor proporción de carbohidratos y el mayor contenido energético.

3.2 Efecto de los tratamientos sobre el peso de las colmenas

El peso de las colmenas presentó diferencias entre los tratamientos evaluados. PROMEGA registró el mayor peso promedio durante el periodo experimental (44,15 kg), seguido del control (43,79 kg) y de la Torta Proteica (43,33 kg), mientras que NUC+ PRO SISA presentó el menor valor promedio (41,06 kg). El análisis de varianza mostró diferencias globales estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 3,10$; $p = 0,0388$).

La evolución de los pesos durante las diez mediciones se presenta en la Figura 1. PROMEGA mantuvo una trayectoria relativamente estable y ascendente durante gran parte del seguimiento, alcanzando 47,98 kg en la última medición, el mayor valor final registrado. NUC+ PRO SISA mostró los pesos más bajos durante las primeras evaluaciones, con valores entre 37,60 y 40,62 kg hasta la séptima medición; sin embargo, posteriormente presentó un incremento progresivo y finalizó con 46,94 kg. Por su parte, el control y la Torta Proteica mostraron fluctuaciones intermedias a lo largo del periodo y alcanzaron valores finales de 46,01 y 45,90 kg, respectivamente.

En las comparaciones múltiples mediante Tukey, NUC+ PRO SISA presentó un menor peso respecto al control (diferencia = -2,73 kg; IC95%: -5,92 a -0,46), PROMEGA (diferencia = -3,00 kg; IC95%: -6,19 a -0,20) y la Torta Proteica (diferencia = -3,08 kg; IC95%: -6,27 a -0,11). En las comparaciones entre control, PROMEGA y Torta Proteica, los intervalos de confianza incluyeron el valor cero.

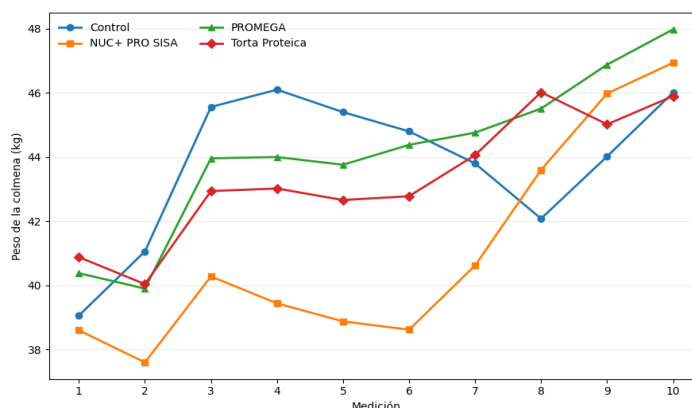


Figura 1. Evolución del peso de las colmenas según tratamiento durante el periodo experimental.

En las comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey, NUC+ PRO SISA presentó un peso promedio inferior al control (diferencia = -2,73 kg; IC95%: -5,92 a -0,46), a PROMEGA (diferencia = -3,00 kg; IC95%: -6,19 a -0,20) y a la Torta Proteica (diferencia = -3,08 kg; IC95%: -6,27 a -0,11). En contraste, no se observaron diferencias entre el control, PROMEGA y la Torta Proteica, cuyos intervalos de confianza incluyeron el valor cero.

3.3 Efecto de los tratamientos sobre el número de marcos poblados

El número de marcos poblados mostró diferencias entre los tratamientos durante el periodo experimental. PROMEGA presentó el mayor promedio, con 18,11 marcos, seguido de NUC+ PRO SISA (16,89 marcos) y del grupo control (16,22 marcos), mientras que la Torta Proteica registró el menor promedio (15,00 marcos). El análisis mediante la prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias globales estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\chi^2 = 9,40$; $p = 0,0244$).

La evolución del número de marcos poblados se presenta en la Figura 2. En general, todos los tratamientos mostraron un incremento progresivo a partir de las primeras mediciones; sin embargo, PROMEGA mantuvo los valores más altos durante gran parte del seguimiento. Desde la cuarta medición, este tratamiento osciló entre 19 y 21 marcos poblados, alcanzando sus valores máximos en las mediciones 5 y 8 (21 marcos) y finalizando con 20 marcos. NUC+ PRO SISA también mostró una tendencia ascendente y relativamente estable, con valores entre 18 y 19 marcos en la fase final del ensayo, mientras que el control alcanzó igualmente 19 marcos en la última medición. Por su parte, la Torta Proteica presentó una evolución más moderada, con valores entre 17 y 18 marcos en las mediciones finales, y concluyó el periodo con 17 marcos poblados.

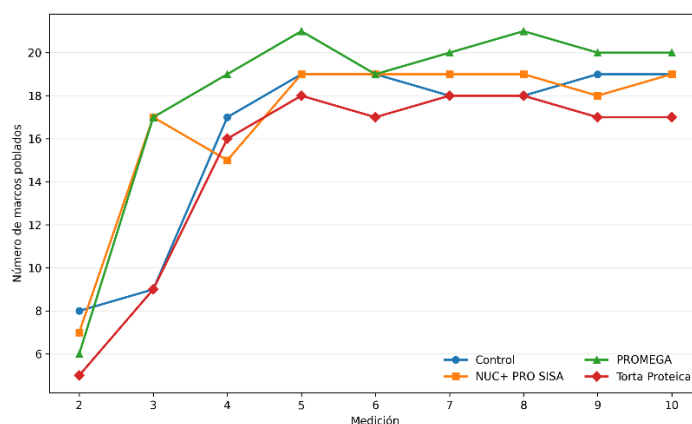


Figura 2. Evolución del número de marcos poblados según tratamiento durante el periodo experimental.

En las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn, se observaron diferencias entre PROMEGA y el grupo control ($p = 0,0425$), así como entre PROMEGA y la Torta Proteica ($p = 0,0011$). La comparación entre PROMEGA y NUC+ PRO SISA no alcanzó significancia estadística ($p = 0,0646$), lo que indica un comportamiento relativamente cercano entre ambos tratamientos, aunque con una tendencia favorable a PROMEGA. En conjunto, los resultados muestran que este suplemento presentó el comportamiento más destacado en cuanto al número de marcos poblados bajo las condiciones del estudio.

3.4 Efecto de los tratamientos sobre el número de marcos con cría

El número de marcos con cría mostró diferencias entre los tratamientos evaluados durante el periodo experimental. PROMEGA registró el mayor promedio, con 9,11 marcos, seguido de NUC+ PRO SISA con 7,33 marcos, el grupo control con 6,56 marcos y la Torta Proteica con 6,33 marcos. El análisis mediante la prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias globales estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\chi^2 = 20,27$; $p < 0,001$).

La evolución del número de marcos con cría durante las mediciones se presenta en la Figura 3. En términos generales, PROMEGA mantuvo los valores más altos a lo largo del seguimiento, pasando de 7 marcos en la segunda medición a 10 marcos en varias de las evaluaciones finales. NUC+ PRO SISA mostró un comportamiento intermedio, con valores entre 6 y 8 marcos, y una tendencia relativamente estable en la fase final del ensayo. El grupo control presentó menor variación, manteniéndose entre 6 y 7 marcos durante casi todo el periodo. Por su parte, la Torta Proteica inició con los valores más bajos, descendiendo hasta 4 marcos en la tercera medición, aunque posteriormente mostró una recuperación gradual y finalizó con 8 marcos con cría.

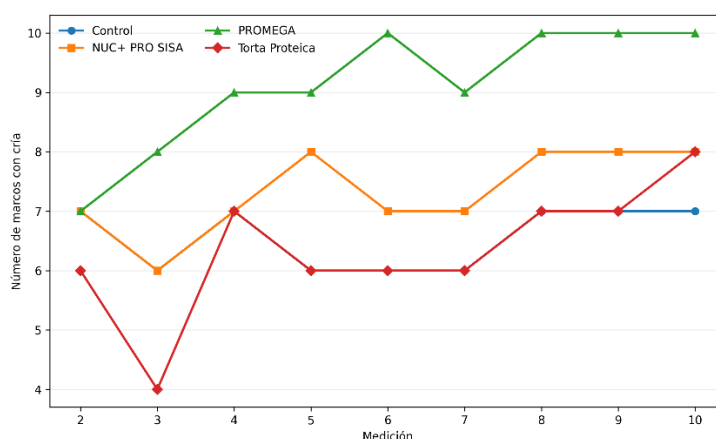


Figura 3. Evolución del número de marcos poblados según tratamiento durante el periodo experimental.

Las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn mostraron diferencias entre PROMEGA y el grupo control ($p < 0,001$), así como entre PROMEGA y la Torta Proteica ($p = 0,0001$). Asimismo, PROMEGA difirió de NUC+ PRO SISA ($p = 0,0124$). Por otro lado, NUC+ PRO SISA presentó diferencias frente al control ($p = 0,0447$) y frente a la Torta Proteica ($p = 0,0481$), mientras que entre el control y la Torta Proteica no se observaron diferencias significativas ($p = 0,4491$). En conjunto, estos resultados muestran que PROMEGA presentó el comportamiento más favorable en la variable número de marcos con cría bajo las condiciones del estudio.

Discusión de los hallazgos

Las diferencias observadas entre los suplementos sugieren que la respuesta de las colonias no depende exclusivamente de la cantidad de proteína bruta suministrada. Aunque PROMEGA y NUC+ PRO SISA presentaron contenidos proteicos muy próximos, su comportamiento biológico no fue equivalente, mientras que la Torta Proteica mostró un perfil predominantemente energético y sin proteína detectable en el análisis proximal. Esto coincide con la revisión de

Noordyke & Ellis (2021), quienes señalan que la eficacia de los sustitutos de polen está condicionada por su formulación, digestibilidad y disponibilidad de nutrientes. Asimismo, Zheng et al. (2014) demostraron que la respuesta fisiológica y poblacional de *Apis mellifera* está relacionada con la calidad y nivel de proteína dietaria, mientras que Hendriksma et al. (2019) destacaron la importancia del aporte de aminoácidos esenciales para el desarrollo glandular y muscular de las obreras. En consecuencia, las diferencias entre los productos evaluados podrían estar vinculadas con características nutricionales que no son reflejadas únicamente por el porcentaje de proteína bruta.

El comportamiento del peso de las colmenas debe interpretarse como una respuesta integrada del sistema colonial, debido a que esta variable incorpora tanto la biomasa de abejas y cría como las reservas acumuladas. En este sentido, la respuesta favorable observada con PROMEGA es compatible con lo reportado por Hoover et al. (2022), quienes encontraron que algunos suplementos proteicos pueden favorecer el crecimiento de las colonias cuando los recursos externos son limitados. Sin embargo, este efecto no necesariamente se mantiene de manera uniforme entre lugares o periodos. Peirson et al. (2024) observaron precisamente que los beneficios de la suplementación variaron según las condiciones regionales y de manejo, lo que refuerza la necesidad de interpretar el peso conjuntamente con indicadores más directamente relacionados con la dinámica poblacional.

El comportamiento de los marcos poblados respalda la existencia de respuestas diferenciadas según el suplemento utilizado. DeGrandi-Hoffman et al. (2008) encontraron que distintas dietas sustitutas de polen producen efectos variables sobre la población adulta y la cría, y que estas respuestas también dependen del consumo del alimento. De forma similar, Lamontagne-Drolet et al. (2019) identificaron diferencias entre suplementos proteicos comerciales en el desarrollo de colonias de *A. mellifera*. Estos antecedentes son consistentes con el patrón encontrado en el presente estudio y muestran que los productos comerciales no necesariamente son equivalentes en su capacidad para sostener el crecimiento poblacional, aun cuando sean administrados bajo un mismo esquema de suplementación.

La respuesta observada en los marcos con cría resulta especialmente relevante desde el punto de vista biológico, debido a la estrecha relación entre nutrición proteica, funcionamiento de las obreras nodrizas y desarrollo larvario. Además, los indicadores asociados a la cría pueden constituir señales sensibles de cambios en la dinámica y condición de las colonias (Groeneveld et al., 2024). DeGrandi-Hoffman et al. (2010) demostraron que la dieta influye sobre la concentración de proteínas y el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas, estructuras fundamentales para la producción de alimento destinado a las larvas. Asimismo, García-Vicente et al. (2024) reportaron mejoras en parámetros de cría tras administrar suplementación proteica, mientras que Zheng et al. (2014) relacionaron una nutrición proteica adecuada con mejores respuestas fisiológicas y reproductivas. Estos antecedentes proporcionan un sustento biológico para el mejor comportamiento reproductivo observado con PROMEGA y, en menor medida, con NUC+ PRO SISA.

En conjunto, los hallazgos indican que la selección de un suplemento para *A. mellifera* debería considerar su calidad nutricional integral y no únicamente su aporte energético o concentración total de proteína. La ausencia de una respuesta poblacional equivalente en el producto con mayor aporte de carbohidratos refuerza esta interpretación y coincide con el enfoque de ecología nutricional planteado por Quinlan & Grozinger (2023), según el cual el desempeño de las colonias depende del equilibrio y disponibilidad de múltiples nutrientes. Bajo las condiciones evaluadas en La Joya, PROMEGA presentó el comportamiento global más favorable; sin embargo, futuros estudios deberían incorporar un mayor número de colonias, cuantificar el consumo efectivo y evaluar el perfil de aminoácidos y la digestibilidad de los suplementos para precisar los mecanismos asociados a estas diferencias.

4. Conclusiones

Bajo las condiciones evaluadas, los suplementos comerciales produjeron respuestas diferenciadas en el desarrollo de las colonias de *Apis mellifera*. PROMEGA presentó el comportamiento global más favorable, particularmente en los indicadores relacionados con población adulta y presencia de cría, mientras que NUC+ PRO SISA mostró una respuesta intermedia y la Torta Proteica un efecto más limitado sobre estas variables. La similitud en el contenido de proteína bruta entre PROMEGA y NUC+ PRO SISA, junto con la distinta respuesta observada, sugiere que la eficacia de la suplementación depende de la calidad nutricional integral del producto y no únicamente de su concentración proteica o aporte energético. En conjunto, los resultados respaldan la importancia de evaluar los suplementos bajo condiciones locales antes de su incorporación rutinaria al manejo alimentario de las colonias.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

Millones-Abarca, V. B. y Román-Coyla, V. M.: Conceptualización, Metodología, Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Supervisión, Administración del proyecto, Visualización y Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Referencias bibliográficas

- Ansaloni, L. S., Kristl, J., Domingues, C. E. C., & Gregorc, A. (2025). An Overview of the Nutritional Requirements of Honey Bees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758). *Insects*, 16(1), 97. <https://doi.org/10.3390/insects16010097>
- Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3), 278–294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>
- Capela, N., Dupont, Y. L., Rortais, A., Sarmiento, A., Papanikolaou, A., Topping, C. J., Arnold, G., Pinto, M. A., Rodrigues, P. J., More, S. J., Tosi, S., Alves, T. S., & Sousa, J. P. (2023). High accuracy monitoring of honey bee colony development by a quantitative method. *Journal of Apicultural Research*, 62(4), 741–750. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2098899>
- DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., Huang, E., & Huang, M. H. (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., Wardell, G., Ahumada-Segura, F., Rinderer, T., Danka, R., & 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>
- Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J.-L., & Alaux, C. (2013). Influence of Pollen Nutrition on Honey Bee Health: Do Pollen Quality and Diversity Matter? *PLoS ONE*, 8(8), e72016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016>
- García-Vicente, E. J., Martín, M., Rey-Casero, I., Pérez, A., Martín, J., García, A., Alonso, J. M., & Risco, D. (2024). Effects of feeding with a protein liquid supplement on productivity,

- mortality and health of *Apis mellifera* hives in southwestern Spain. *Research in Veterinary Science*, 169, 105173. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105173>
- Groeneveld, J., Odemer, R., & Requier, F. (2024). Brood indicators are an early warning signal of honey bee colony loss—a simulation-based study. *PLOS ONE*, 19(5), e0302907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302907>
- Harris, C., Balfour, N. J., & Ratnieks, F. L. W. (2024). Seasonal variation in the general availability of floral resources for pollinators in northwest Europe: A review of the data. *Biological Conservation*, 298, 110774. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110774>
- Hendriksma, H. P., Pachow, C. D., & Nieh, J. C. (2019). Effects of essential amino acid supplementation to promote honey bee gland and muscle development in cages and colonies. *Journal of Insect Physiology*, 117, 103906. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2019.103906>
- Hoover, S. E., Ovinge, L. P., & Kearns, J. D. (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>
- K.S. Delaplane, J.J.M. van der Steen, E. G.-N. (2013). Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research*, 1–12. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.03>
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Lamontagne-Drolet, M., Samson-Robert, O., Giovenazzo, P., & 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>
- 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>
- Noordyke, E. R., & Ellis, J. D. (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. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.772897>
- Peirson, M., Ibrahim, A., Ovinge, L. P., Hoover, S. E., Guarna, M. M., Melathopoulos, A., & Pernal, S. F. (2024). The effects of protein supplementation, fumagillin treatment, and colony management on the productivity and long-term survival of honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *PLOS ONE*, 19(3), e0288953. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288953>
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Quinlan, G. M., & Grozinger, C. M. (2023). *Honey bee nutritional ecology: From physiology to landscapes* (pp. 289–345). <https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2023.01.003>
- Zheng, B., Wu, Z., & 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). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu053>