



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia**

**Evaluación del efecto de tres suplementos proteicos en el desempeño
polinizador de Apis Mellifera en el Fundo Agroinca la Joya -
Arequipa, 2025**

Tesis presentada por:

Millones Abarca, Valeria Belen

ORCID: 0009-0009-1881-2991

para optar el Título Profesional de Médico Veterinario y Zootecnista

Asesora:

Dra. Roman Coyla, Veronica Marianella

ORCID: 0000-0002-4398-0729

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Abril del 2026

Dictamen: 016701-C-EPMVZ-2026

Visto el borrador del expediente 016701, presentado por:

2020229222 - MILLONES ABARCA VALERIA BELEN

Titulado:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL
DESEMPEÑO POLINIZADOR DE APIS MELLIFERA EN EL FUNDO AGROINCA LA
JOYA - AREQUIPA, 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

**29616421 - OBANDO SANCHEZ ALEXANDER
DANIEL DICTAMINADOR**



**29614489 - SANZ LUDEÑA CARLO EDISON
DICTAMINADOR**



**29729675 - ZUÑIGA VALENCIA ELOISA GABRIELA
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL DESEMPEÑO POLINIZADOR DE APIS MELLIFERA EN EL FUNDO AGROINCA LA JOYA - AREQUIPA, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	14%	7%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	2%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	tesisdigitales.umich.mx	1%
	Fuente de Internet	
5	bdigital.zamorano.edu	<1%
	Fuente de Internet	
6	revistas.untumbes.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	www.coursehero.com	<1%
	Fuente de Internet	
9	bmcvetres.biomedcentral.com	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.uteq.edu.ec	
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios, por su amor infinito, por brindarme paz, fortaleza y luz en cada momento, y por guiarme con esperanza y perseverancia a lo largo de este camino académico.

A mi familia, pilar fundamental de este logro: a mis padres, Leonidas y Sol, por su amor incondicional, paciencia, sacrificio y apoyo constante; y a mi hermano, Aarón, por su compañía, comprensión y aliento permanente. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este proceso.

A la Universidad Católica de Santa María, espacio donde la vocación se transformó en conocimiento, disciplina y compromiso profesional.

Al respeto por la vida y el bienestar animal, que dio sentido a esta vocación y orientó cada esfuerzo realizado durante mi formación.

Este logro representa un inicio consciente, en el que lo aprendido se convierte en responsabilidad, ética y propósito profesional

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Víctor Valdivia y a la Dra. Úrsula Chirinos, de la empresa Beep Products, por brindarme la oportunidad de desarrollar la presente tesis en su empresa, así como por su apoyo, confianza y disposición para compartir sus conocimientos y experiencia profesional, contribuyendo significativamente al enriquecimiento de este estudio.

Agradezco de manera especial a mi asesora de tesis, Dra. Verónica Román, por su orientación constante, dedicación, paciencia y valiosos aportes académicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

Mi reconocimiento y gratitud a mis jurados de tesis, Dr. Alexander Obando, Mag. Carlo Sanz y Mag. Eloisa Zúñiga por su tiempo, observaciones y valiosas recomendaciones, las cuales permitieron fortalecer la calidad académica del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con su apoyo, motivación y confianza para hacer posible la culminación de esta importante etapa de mi formación profesional.

RESUMEN

La presente tesis evaluó el efecto de tres suplementos proteicos (NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta alimenticia) para abeja) sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca (Arequipa) durante 2025. Se desarrolló un ensayo de campo con cuatro tratamientos (incluido control) y mediciones repetidas del peso de la colmena (kg), número de marcos poblados y número de marcos con crías. Paralelamente, se realizó un análisis proximal de los suplementos para determinar su composición nutricional, incluyendo proteína bruta y valor energético.

El análisis proximal evidenció diferencias en la composición de los suplementos: NUC+ PRO SISA y PROMEGA presentaron contenidos similares de proteína bruta ($\approx 14\text{--}15\%$), mientras que la Torta Proteica (Pasta alimenticia) mostró predominio de carbohidratos y aporte energético y no presentó proteína detectable en el análisis proximal. En los resultados de campo, se observaron diferencias significativas en el peso de la colmena según el tipo de pasta (ANOVA, $p < 0,05$), registrándose el mayor promedio en PROMEGA y el menor en NUC+ PRO SISA. Asimismo, el número de marcos poblados mostró diferencias significativas entre tratamientos (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$), destacando PROMEGA con el mayor promedio. Para el número de marcos con crías se identificaron diferencias altamente significativas (Kruskal–Wallis, $p < 0,001$), donde PROMEGA presentó el mayor valor promedio, evidenciando mejor desempeño reproductivo y poblacional. En conclusión, PROMEGA fue el suplemento con mejor efecto global en el fortalecimiento y desarrollo de las colonias bajo las condiciones del estudio.

Palabras clave: *Apis mellifera*, suplementos proteicos, apicultura.

ABSTRACT

This thesis evaluated the effect of three protein supplements (NUC+ PRO SISA, PROMEGA, and Protein Patty (Food Paste) for bees) on the development of *Apis mellifera* colonies at the Agroinca Farm (Arequipa) during 2025. A field trial was conducted with four treatments (including a control) and repeated measurements of colony weight (kg), number of occupied frames, and number of brood frames. In parallel, a proximate analysis of the supplements was performed to determine their nutritional composition, including crude protein and energy value.

The proximate analysis revealed differences in supplement composition: NUC+ PRO SISA and PROMEGA showed similar crude protein contents (approximately 14–15%), whereas the PROTEIN PATTY exhibited a predominance of carbohydrates and energy contribution since it did not present detectable protein in the proximal analysis, with a higher energy contribution. Field results showed significant differences in colony weight according to the type of supplement (one-way ANOVA, $p < 0.05$), with PROMEGA registering the highest mean and NUC+ PRO SISA the lowest. Likewise, the number of occupied frames differed significantly among treatments (Kruskal–Wallis, $p < 0.05$), with PROMEGA achieving the highest average. For the number of brood frames, highly significant differences were observed (Kruskal–Wallis, $p < 0.001$), with PROMEGA again presenting the highest mean, indicating superior reproductive and population performance. In conclusion, PROMEGA was the supplement with the best overall effect on colony strengthening and development under the conditions of this study.

Keywords: *Apis mellifera*, protein supplements, apiculture.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I..... 3

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO 4

1.1. Enunciado del Problema 4

1.2. Descripción del problema 4

1.3. Justificación del trabajo 4

1.3.1. Aspecto general..... 4

1.3.2. Aspecto tecnológico..... 5

1.3.3. Aspecto socio económico 5

1.3.4. Importancia 6

1.4. Objetivos..... 6

1.4.1. Objetivo general..... 6

1.4.2. Objetivos específicos 6

1.5. Hipótesis 7

CAPÍTULO II..... 8

2. MARCO TEÓRICO 9

2.1. Análisis bibliográfico..... 9

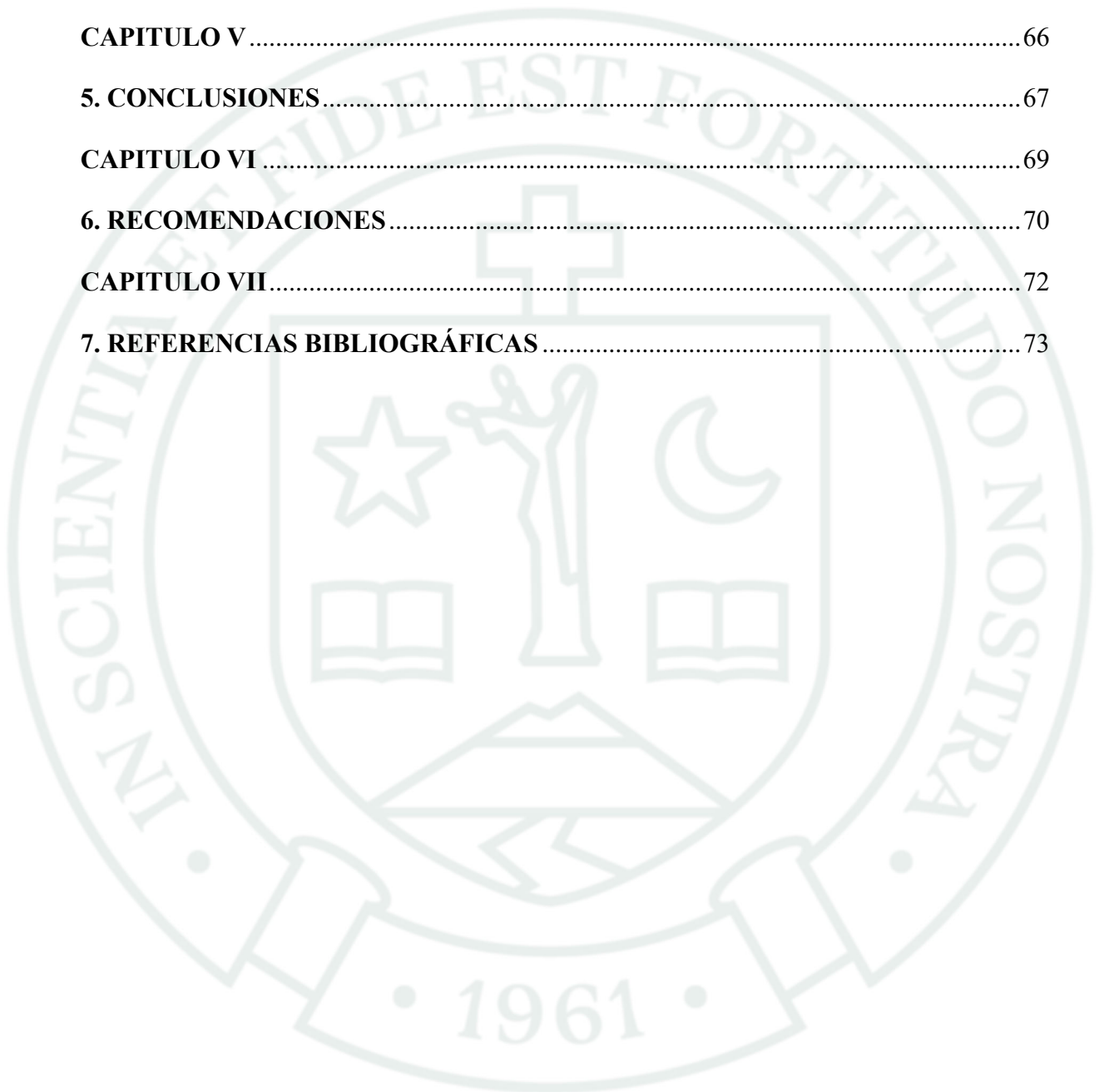
2.1.1. Bibliografía principal 9

2.2. Antecedentes de investigación..... 26

2.2.1. Análisis de tesis..... 26

2.2.2. Análisis de trabajos de investigación.....	30
CAPÍTULO III.....	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Materiales.....	38
3.1.1. Localización del trabajo.....	38
3.1.2. Materiales biológicos.....	39
3.1.3. Materiales de laboratorio.....	39
3.1.4. Materiales de campo.....	40
3.1.5. Equipos y maquinarias.....	41
3.1.6. Otros materiales.....	42
3.2. Métodos.....	43
3.2.1. Muestreo.....	43
3.2.2. Métodos de evaluación.....	44
3.3. Variables de respuesta.....	46
3.3.1. Variables independientes.....	46
3.3.2. Variables dependientes.....	46
3.3.3. Operacionalización de variables.....	47
3.4. Evaluación estadística.....	48
3.4.1. Diseño Experimental.....	48
CAPITULO IV.....	50
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
4.1. Resultados.....	51
4.1.1. Resultados de la composición nutricional mediante análisis proximal.....	51
4.1.2. Resultados del efecto de los suplementos en el peso de las colmenas.....	52

4.1.3. Resultados del efecto de los suplementos sobre el número en los marcos poblados.....	54
4.1.4. Resultados del efecto de los suplementos sobre el número crías.....	56
4.2. Discusión.....	58
CAPITULO V	66
5. CONCLUSIONES	67
CAPITULO VI	69
6. RECOMENDACIONES	70
CAPITULO VII	72
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición proximal de los suplementos proteicos evaluados	52
Tabla 2. Comparación de los pesos de las colmenas (kg) según tipo de pasta proteica.....	53
Tabla 3. Comparaciones múltiples del peso de la colmena según tipo de pasta	54
Tabla 4. Comparación de los números de marcos poblados según tipo de pasta proteica	55
Tabla 5. Comparaciones múltiples del número de marcos poblados según tipo de pasta.....	56
Tabla 6. Comparación de los números de marcos con crías según tipo de pasta proteica	57
Tabla 7. Comparaciones múltiples del número de marcos con crías según tipo de pasta.....	58
Tabla 8. Composición proximal de los suplementos proteicos evaluados	111
Tabla 9. Comparación de los pesos de las colmenas (kg) según tipo de pasta proteica.....	112
Tabla 10. Comparaciones múltiples del peso de la colmena según tipo de pasta	113
Tabla 11. Comparación de los números de marcos poblados según tipo de pasta proteica	114
Tabla 12. Comparaciones múltiples del número de marcos poblados según tipo de pasta.	115
Tabla 13. Comparación de los números de marcos con crías según tipo de pasta proteica	115
Tabla 14. Comparaciones múltiples del número de marcos con crías según tipo de pasta.	116

ÍNDICE DE FIGURAS

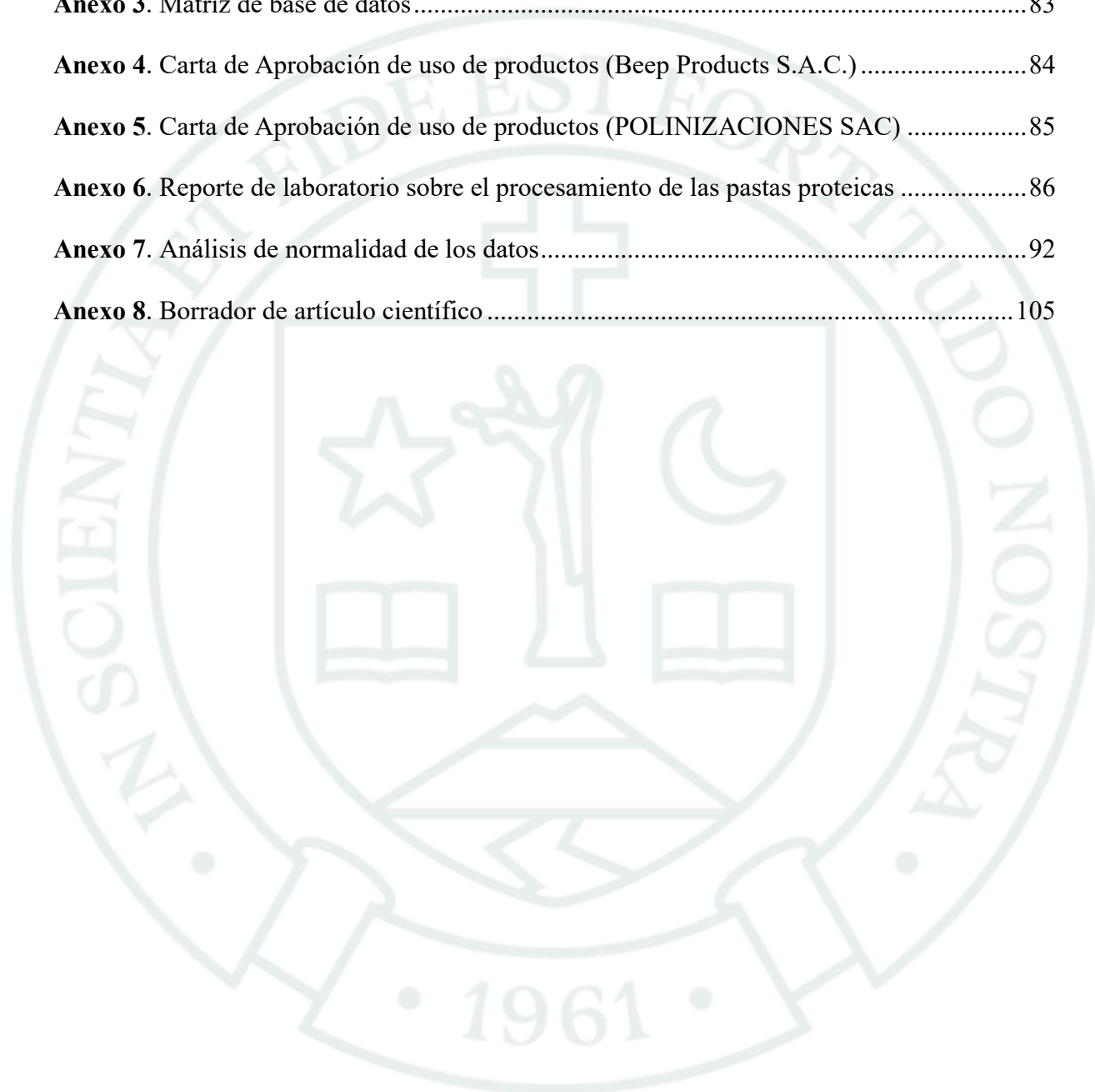
Figura 1. Linajes y subespecies de *Apis mellifera* (mapa filogeográfico)..... 9

Figura 2. Efecto de suplementos proteicos sobre la cría..... 19



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta de aceptación de asesor	81
Anexo 2. Mapas o croquis de ubicación.....	82
Anexo 3. Matriz de base de datos	83
Anexo 4. Carta de Aprobación de uso de productos (Beep Products S.A.C.).....	84
Anexo 5. Carta de Aprobación de uso de productos (POLINIZACIONES SAC)	85
Anexo 6. Reporte de laboratorio sobre el procesamiento de las pastas proteicas	86
Anexo 7. Análisis de normalidad de los datos.....	92
Anexo 8. Borrador de artículo científico	105



INTRODUCCIÓN

La *Apis mellifera*, comúnmente conocida como abeja melífera, es una de las especies polinizadoras de mayor importancia a nivel global, teniendo un rol fundamental en la producción alimentaria y en el equilibrio de los ecosistemas. Su capacidad para transformar néctar y polen en miel y otros productos apícolas ha permitido el desarrollo de la apicultura como una actividad económica estratégica en diversas regiones, incluida la provincia de Arequipa. Sin embargo, la disponibilidad de recursos florales varía a lo largo del año, generando periodos de escasez de polen que afectan directamente el desarrollo y productividad de las colonias. En este contexto, la suplementación proteica se presenta como una alternativa técnica para mantener la fortaleza y el rendimiento de las colmenas durante épocas de baja oferta de polen.

Actualmente, diversos estudios han evaluado el uso de suplementos proteicos en la dieta de las abejas, demostrando efectos positivos en variables como el área de cría, el crecimiento poblacional y la producción de miel. No obstante, gran parte de estas investigaciones se han desarrollado en condiciones ambientales y florales distintas a las del sur del Perú, y con productos comerciales que no siempre están disponibles o adaptados al contexto local. Asimismo, existe una limitada evidencia experimental en la región de Arequipa que compare de forma sistemática el efecto de diferentes suplementos proteicos sobre el desarrollo de *Apis mellifera*, considerando un manejo estandarizado de colmenas y reinas. Esta carencia de información impide a los apicultores tomar decisiones basadas en evidencia para optimizar la alimentación artificial en condiciones locales.

En este contexto, esta investigación tiene como fin principal evaluar el efecto de tres sustitutos proteicos comerciales en el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca, distrito de La Joya, Arequipa, durante el año 2025. Para ello, se utilizarán técnicas de evaluación de campo estandarizadas que permitan medir el impacto de cada suplemento sobre

variables asociadas al desarrollo poblacional de las colonias, como peso de la colmena, marcos poblados y marcos con cría. Los resultados contribuirán a generar información aplicada para el sector apícola regional, promoviendo el uso de estrategias alimenticias eficientes y adaptadas a las condiciones locales.

El presente trabajo está estructurado en cinco capítulos. En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, el objetivo principal y específicos de la investigación y la justificación. En el Capítulo II se desarrollan el marco teórico, incluyendo la biología de *Apis mellifera*, la importancia de la suplementación proteica y los tipos de suplementos utilizados en apicultura. En el Capítulo III se detalla la metodología aplicada, especificando el diseño experimental, materiales y métodos de evaluación. El Capítulo IV expone y discute los resultados obtenidos, comparándolos con la bibliografía existente. Finalmente, el Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones para su aplicación práctica en el contexto apícola de Arequipa.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Enunciado del Problema

¿Cómo influye el uso de tres diferentes suplementos proteicos en el desarrollo poblacional de las colonias de *Apis mellifera* especie de importancia, como agente polinizador en el Fundo Agroinca, La Joya – Arequipa durante el año 2025?

1.2. Descripción del problema

En zonas agrícolas como La Joya, las abejas enfrentan períodos críticos donde la disponibilidad de recursos florales es limitada, especialmente durante estaciones secas o cuando predominan los monocultivos. Esta escasez de polen afecta directamente la nutrición proteica de las colonias de *Apis mellifera*, reduciendo su crecimiento, longevidad y comportamiento forrajero. Como consecuencia, se disminuye la eficiencia en la polinización y por ende, el rendimiento de los cultivos.

Para contrarrestar estos efectos, se han desarrollado suplementos proteicos que intentan sustituir el polen natural. No obstante, su impacto real varía según la calidad nutricional, el grado de aceptación por parte de las abejas y el contexto ambiental donde se apliquen.

Por ello, es necesario evaluar en condiciones reales de campo cómo diferentes suplementos proteicos influyen en variables asociadas al desarrollo de las colonias, como el peso de la colmena, el número de marcos poblados y el número de marcos con cría, para definir estrategias de alimentación más efectivas y sostenibles.

1.3. Justificación del trabajo

1.3.1. Aspecto general

La polinización es un servicio ecosistémico esencial para la producción agrícola, y la abeja melífera (*Apis mellifera*) representa uno de sus principales agentes. En zonas

agrícolas como La Joya (Arequipa), la actividad apícola enfrenta periodos críticos de escasez de recursos florales, lo que repercute negativamente en el desarrollo poblacional de las colmenas y, por ende, en la eficiencia de la polinización. Este proyecto propone evaluar el efecto de tres suplementos proteicos como alternativa nutricional en épocas de baja disponibilidad de polen, con el fin de fortalecer las colonias y asegurar una polinización eficiente que contribuya a la productividad de los cultivos.

1.3.2. Aspecto tecnológico

El estudio incorpora un enfoque experimental que combina análisis proximal de los suplementos (contenido de proteína, energía y materia seca) con la evaluación de variables asociadas al desarrollo de las colonias en campo. La metodología propuesta permite determinar el efecto de cada suplemento sobre indicadores como el peso de la colmena, el número de marcos poblados y el número de marcos con cría. De este modo, se generará información técnica que permita seleccionar el suplemento más eficiente, optimizando el manejo apícola con base en evidencia científica y adaptada a las condiciones locales.

1.3.3. Aspecto socio económico

El fortalecimiento de las colonias de *Apis mellifera* mediante suplementación proteica repercute de manera directa en la productividad agrícola, especialmente en cultivos dependientes de polinización. Un mejor desempeño polinizador se traduce en mayores rendimientos y mejor calidad de cosecha, lo que beneficia económicamente tanto a apicultores como a agricultores. Asimismo, la identificación de un suplemento con mejor relación costo-beneficio permitirá optimizar recursos,

incrementar la rentabilidad y fomentar la sostenibilidad económica del sector agropecuario en La Joya y zonas similares.

1.3.4. Importancia

Este estudio es relevante porque aborda un problema recurrente en la apicultura: la escasez de recursos proteicos naturales en determinados periodos del año. Los resultados permitirán establecer prácticas de alimentación suplementaria más efectivas y sostenibles, contribuyendo al bienestar de las abejas, al incremento del servicio de polinización y, en consecuencia, al desarrollo agrícola y económico regional. Además, la investigación generará conocimiento aplicable a nivel local y nacional, sirviendo como referencia para futuros estudios y para la formulación de estrategias de manejo apícola en entornos con similares limitaciones florales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de tres suplementos proteicos en el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca, La Joya – Arequipa, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición nutricional de los tres suplementos proteicos mediante análisis proximal, determinando su contenido de materia seca, proteína bruta y energía.
- Evaluar el efecto de los tres suplementos proteicos sobre el peso (kg) de las colmenas.
- Evaluar el efecto de los suplementos sobre el número de marcos poblados en las colmenas.

- Evaluar el efecto de los suplementos sobre el número de marcos destinados a cría en las colmenas.

1.5. Hipótesis

Considerando que los suplementos proteicos contribuyan al desarrollo de las colonias durante periodos de baja disponibilidad de recursos florales, se espera que las colonias suplementadas presenten un mayor desarrollo poblacional, evidenciado en mayor peso de la colmena, número de marcos poblados y marcos con cría, en comparación con las colmenas sin suplementación.

Hipótesis específicas.

- H1. No aplica.
- H2. Las colmenas suplementadas incrementarán el peso y el número de marcos poblados en mayor proporción que el control.
- H3. Las colmenas suplementadas presentarán mayor número de marcos con cría que el control.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis bibliográfico

2.1.1. Bibliografía principal

2.1.1.1. Taxonomía de las abejas: *Apis mellifera*

Apis mellifera Linnaeus, 1758, es la especie de abeja melífera más ampliamente distribuida y gestionada en la apicultura mundial. La especie presenta una notable diversidad de subespecies y linajes (linajes A, M, C, O y Y), que varían en rasgos morfológicos, comportamentales y genéticos; dicha variación tiene implicancias prácticas en manejo y selección de razas (ej. tolerancia a enfermedades, docilidad, productividad). Estudios modernos combinan morfometría, análisis molecular y datos filogeográficos para revisar y redefinir la estructura taxonómica de *A. mellifera*, advirtiendo que algunas clasificaciones tradicionales requieren reevaluación a la luz de datos genéticos recientes. Esta riqueza genética y adaptativa condiciona la respuesta de las colonias a prácticas como la suplementación nutricional y al estrés ambiental (1,2).

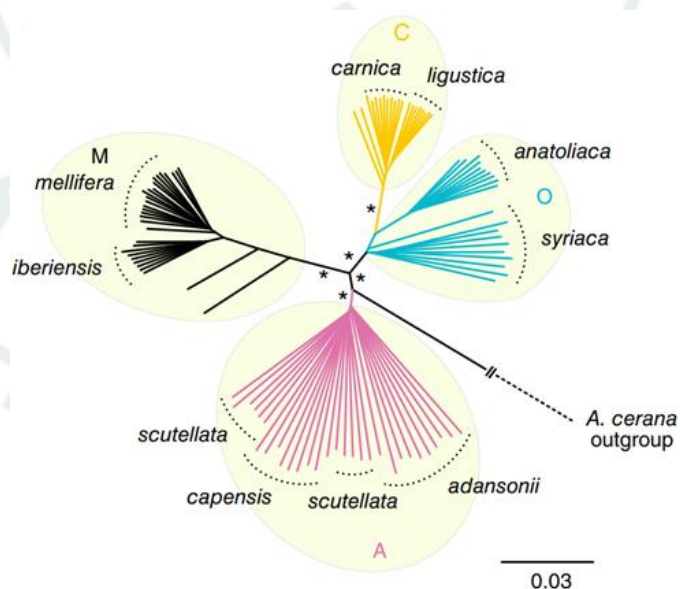


Figura 1. Linajes y subespecies de *Apis mellifera* (mapa filogeográfico)

Nota: Árbol por Neighbor-joining (unión de vecinos) construido a partir de las distancias de compartición de alelos entre subespecies nativas. Los nodos que conducen a los cuatro grupos geográficos con 100 % de soporte están marcados con un asterisco; la barra de escala indica la distancia genética bruta por sitio variable.

Wallberg A et al (2014) (3).

2.1.1.2. Comportamiento de colonia de *Apis mellifera*

La organización social de *A. mellifera* está basada en castas (reina, obreras, zánganos) y en una red de comportamientos colectivos que regulan la reproducción, la defensa, la recolección de recursos y la higiene de la colonia. Comportamientos clave relevantes para el estudio nutricional y productivo incluyen:

- **Recolección y selección de recursos:** las obreras forrajeras evalúan la calidad del polen/néctar y comunican fuentes ricas mediante danza; la diversidad florística del paisaje determina la calidad nutricional disponible (4).
- **Higiene y defensa:** respuestas como la eliminación de cría enferma (comportamiento higiénico) o conductas defensivas afectan supervivencia y productividad, y pueden interactuar con la nutrición y el estado inmunológico de la colonia (5).
- **Dinámica de cría:** la capacidad de la reina para poner huevos y la conversión de alimento en cría dependen estrechamente de la disponibilidad proteica y de la condición fisiológica de las obreras (p. ej. glándulas hipofaríngeas, vitelogenina) (6).

Comprender estos comportamientos es esencial para interpretar indicadores de éxito de la suplementación, por ejemplo, si un suplemento eleva el número de marcos con cría, esto reflejará cambios en la dinámica reproductiva y/o en la capacidad de las

obreras para alimentar larvas. Revisiones y estudios experimentales muestran cómo la nutrición modula tanto la conducta de forrajeo como parámetros fisiológicos que determinan la productividad.

2.1.1.3. Efecto de la suplementación proteica sobre *Apis mellifera*

La evidencia experimental y de revisión indica que la suplementación proteica puede beneficiar a las colonias cuando el forraje natural es limitado, pero sus efectos son contextuales y dependen de la calidad nutricional del suplemento, el momento de aplicación (p. ej. primavera vs. otoño) y las condiciones de manejo y ambientales.

Estudios relevantes señalan:

- **Beneficios condicionados:** suplementar en primavera puede aumentar la cría temprana y preparar colonias para la temporada de polinización (Hoover et al., 2022). Sin embargo, grandes estudios longitudinales muestran que los beneficios no siempre son consistentes y que en algunos contextos la suplementación continuada puede asociarse con efectos negativos (mayor mortalidad o reducción de tamaño a largo plazo) si no se gestiona correctamente. Esto resalta que la suplementación debe aplicarse con criterio y sólo cuando la oferta natural es insuficiente (7,8).
- **Relación consumo ↔ respuesta:** múltiples ensayos muestran una relación positiva entre la cantidad de suplemento consumida y el aumento de área de cría y población adulta; dietas mejor consumidas (más palatables) tienden a generar mejores respuestas poblacionales. Pero el simple consumo no garantiza beneficio si la composición carece de aminoácidos clave o nutrientes limitantes (9).
- **Composición nutricional crítica:** trabajos controlados han identificado rangos óptimos de proteína cruda ($\approx 29\text{--}34\%$ antes de mezclar) que maximizan el

crecimiento poblacional en primavera; además, la presencia de aminoácidos esenciales (p. ej. lisina, arginina) y el balance de azúcares/lípidos afectan la eficacia del producto. Por ello, los análisis proximales (proteína, materia seca, energía) son centrales para interpretar la respuesta de la colonia (10,11).

- **Efectos sobre salud y plagas:** algunos estudios han documentado efectos indirectos (p. ej. cambios en infestación por *Varroa* u otras enfermedades) asociados a la mejor condición de la colonia luego de suplementación; sin embargo, las respuestas son heterogéneas y requieren evaluación caso a caso (12).

2.1.1.4. Tipos de suplementos más comunes

En la literatura y la práctica apícola se describen varias presentaciones y formulaciones de suplementos proteicos. Las más comunes son:

- **Patties (pastas proteicas):** mezclas sólidas/pastosas (harina de soya, levadura, harina de semillas, polen en polvo, miel o azúcar) que se colocan sobre los marcos. Muchos estudios experimentales usan patties y encuentran buena palatabilidad y efectos positivos en cría cuando están bien formulados (9).
- **Sustitutos deshidratados/polvos (mezclados con jarabe):** polvos de harina de soya, harina de pescado, harina de leguminosas, proteína microbiana o concentrados vegetales que se mezclan con jarabe para ofrecerlos; su eficacia depende de granulometría y digestibilidad. Estudios experimentales indican que la finura de la harina (p. ej. partículas <100 μm) mejora aceptación (11,13).
- **Suplementos líquidos/proteicos:** preparados líquidos o productos comerciales líquidos que pueden administrarse similar a jarabe; recientes estudios indican que algunos suplementos líquidos aumentan cría abierta y pueden tener efectos

sanitarios (ej. menor carga de Varroa en algunos contextos), aunque la evidencia sigue en **crecimiento (14)**.

- **Productos comerciales formulados (ej. BeePro, MegaBee, FeedBee, etc.):** mezclas industriales estandarizadas que incluyen harina de soya, levadura de cerveza, leche en polvo, vitaminas y micronutrientes; la evidencia muestra que la respuesta varía por producto y lote —algunos igualan o superan la torta de polen en broods y población, otros tienen menor consumo (12,15).
- **Suplementos enriquecidos (probióticos, microalgas, harinas alternativas):** investigaciones recientes exploran adición de probióticos, microalgas (spirulina), harina de pescado, amaranto o concentrados vegetales para mejorar perfil aminoacídico y el microbiota intestinal; algunos ensayos indicaron mejoras en salud individual y parámetros poblacionales (16,17).

2.1.1.5. Fisiología digestiva y requerimientos nutricionales de *Apis mellifera*

La digestión de proteínas y el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas (GH) son fundamentales para la nutrición infantil y el desarrollo poblacional de las colonias.

Estudios proteómicos muestran que las GH alcanzan su máxima secreción de jalea real entre los 6 y 12 días de edad en obreras, expresando proteínas clave como las MRJP y enzimas metabólicas relacionadas con energía y secreción larval (18).

La calidad del alimento condiciona el desarrollo glandular: una dieta pobre provoca atrofia de GH, menor actividad proteolítica e incluso reducción de la vida útil (19).

Además, tratamientos comparativos muestran que las abejas alimentadas exclusivamente con jarabe desarrollan glándulas significativamente más pequeñas y menor concentración proteica que las alimentadas con polen o suplementos adecuados (20).

También se ha demostrado que la comparación entre razas y la capacidad de conversión proteica varía: por ejemplo, las africanizadas convierten mejor los suplementos en proteína hemolinfática que las carnícolas (21). Este conjunto de resultados avala que la calidad y fuente de proteína afectan directamente la fisiología, inmunocompetencia y productividad apícola.

2.1.1.6. Factores ambientales y estacionales que condicionan la suplementación proteica

La disponibilidad de polen natural varía según época del año y tipo de clima, lo que determina cuándo es necesario suplementar. En primavera, el aporte suplementario puede impulsar el crecimiento de cría justo antes de picos de polinización (19). Sin embargo, durante épocas con floración abundante, la suplementación puede resultar innecesaria y hasta contraproducente.

Un análisis amplio indica que el efecto de la suplementación depende del contexto local y de la gestión apícola: en algunos casos, puede elevar temporalmente rendimiento, pero en otros no aporta beneficio o incluso se correlaciona con mortalidades más altas y disminución poblacional con el tiempo (22).

Por eso, se recomienda evaluar la oferta de polen (mediante observaciones directas o indicadores como formación de cría) para planificar suplementos. Evaluaciones de campo y estudios como Hoover et al. destacan que el efecto positivo de la suplementación solo se observa cuando hay déficit nutricional real (7).

2.1.1.7. Nutrición proteica en *Apis mellifera*

La nutrición proteica en *Apis mellifera* es un componente estructural del vigor y la resiliencia de las colonias. Las proteínas y aminoácidos esenciales constituyen bloques moleculares imprescindibles para la síntesis de enzimas digestivas, factores de crecimiento, componentes de la hemolinfa y moléculas reguladoras implicadas en el

sistema inmune. En condiciones naturales, el polen es la fuente dominante de estos nutrientes para las obreras y larvas; sin embargo, su calidad y disponibilidad fluctúan estacionalmente, exponiendo a la colonia a riesgos nutricionales durante periodos de escasez floral (23).

Desde el punto de vista fisiológico, las obreras nodrizas digieren el polen a través de enzimas proteolíticas activas en el intestino medio, transformando las proteínas en péptidos y aminoácidos libres que luego viajan por la hemolinfa hacia tejidos diana: glándulas hipofaríngeas, glándulas mandibulares, músculos y glándulas larvarias. En particular, las glándulas hipofaríngeas (responsables de producir jalea real y secreciones destinadas a alimentar larvas y a la reina) mantienen alta demanda proteica. Si la provisión de aminoácidos no es suficiente, estas glándulas pueden atrofiarse, reducir su actividad secretora y comprometer la nutrición larvaria (20,24).

La suplementación con dietas proteicas artificiales (pastas, líquidos o sustitutos del polen) ha surgido como una estrategia compensatoria para suplantar lagunas nutricionales durante periodos críticos. Por ejemplo, el uso de suplementos líquidos proteicos ha demostrado un aumento de la cría abierta en colonias de *A. mellifera*, lo cual sugiere que la disponibilidad proteica adicional estimula la reproducción social y el crecimiento del nido (25). Asimismo, algunos ensayos reportan mejoras en la supervivencia de colonias suplementadas frente a colonias no suplementadas, particularmente en condiciones donde la floración natural es insuficiente (26).

No obstante, el éxito de la suplementación no depende únicamente del contenido bruto de proteína, sino de factores cualitativos clave:

- **Balance de aminoácidos esenciales:** no basta con altas tasas de proteína total si faltan algunos aminoácidos limitantes. Algunas dietas experimentales han

demostrado que la suplementación con aminoácidos esenciales mejora el crecimiento corporal y el peso torácico en abejas confinadas (24).

- **Digestibilidad de la proteína:** parte de la proteína suministrada puede no ser accesible para la digestión; elementos fibrosos o aglutinantes pueden reducir la absorción efectiva.
- **Interacción con el forraje natural:** cuando la oferta de polen es abundante, el efecto relativo del suplemento puede disminuir, mientras que en etapas de escasez el suplemento actúa como soporte nutricional crítico (26).
- **Concentración óptima y riesgos de exceso:** dietas con proteína demasiado alta pueden generar acumulación de residuos nitrogenados, estrés metabólico o interferencia con otras vías metabólicas, lo que sugiere un umbral útil más allá del cual no hay beneficio adicional o incluso efectos adversos (23).

En el plano empírico, estudios recientes brindan evidencia sobre esos matices. Peirson et al. evaluaron el efecto de suplementos proteicos comerciales sobre la productividad y supervivencia de colonias; encontraron que la suplementación mejoró el recuento de abejas adultas y tasas de cría en ciertas regiones, aunque con variabilidad interanual⁰search⁰. Lamontagne-Drolet et al. compararon dos suplementos proteicos comerciales y reportaron diferencias en el rendimiento y producción de cría entre tratamientos (27). Glavinic et al. mostraron que un complejo dietario de aminoácidos y vitaminas podría mitigar la supresión inmunológica inducida por *Nosema* en abejas adultas (28). En otro estudio, El-Din et al. usaron hidrolizado proteico de pescado como suplemento invernal y observaron que aumentaba la disponibilidad de aminoácidos libres y promovía la salud de colonias durante estaciones frías (29).

A nivel nutricional del polen, los perfiles de aminoácidos y su variabilidad entre especies florales han sido documentados recientemente; el balance nutritivo del polen influye en la eficacia del suplemento porque las abejas comparan calidad relativa entre polen y dietas artificiales (30). Por ejemplo, análisis metabólicos de productos apícolas han detectado perfiles particulares de aminoácidos libres que reflejan procesos digestivos internos (31).

En conjunto, la nutrición proteica en *Apis mellifera* demanda un enfoque holístico: suplementación con cantidades controladas, ajuste del balance aminoacídico y consideración del contexto floral. Para colonias ubicadas en regiones con estacionalidad marcada, una suplementación adecuada puede marcar la diferencia entre una colonia robusta y una con déficit nutricional, siempre que se diseñe con base en estudios locales, pruebas de aceptación y control de efectos adversos.

2.1.1.8. Palatabilidad y consumo de suplementos

La palatabilidad de una dieta suplementaria para *Apis mellifera* es un atributo esencial que determina cuánta de esa dieta ofrecerán las abejas y cuánta de ella consumirán efectivamente. Aun cuando un suplemento posea un perfil nutricional teóricamente óptimo, si las abejas no lo aceptan o consumen en cantidades mínimas, su aporte real será nulo. En la literatura apícola se distingue claramente entre palatabilidad (la disposición de las abejas a consumir el suplemento) y digestibilidad/asimilación (qué proporción del nutriente ingerido puede metabolizarse) (32).

Los estudios muestran que ciertos factores estructurales y químicos influyen en la palatabilidad: la textura del pienso, tamaño de partículas, contenido lipídico, presencia de moléculas estimulantes (sales minerales, feromonas), humedad y aditivos comestibles. Por ejemplo, dietas con partículas más finas y adición de lípidos han sido

preferidas en ensayos controlados (33). También se ha observado que las sales minerales actúan como “fagonósticos” (moléculas estimulantes del apetito) y pueden mejorar la aceptación de alimentos suplementarios en abejas (34).

En condiciones de suplementación, la tasa de consumo, medida como la diferencia de masa del suplemento entre el momento de oferta y el momento de revisión en el campo, se emplea frecuentemente como proxy de palatabilidad (aunque no es sinónimo de eficacia nutricional) (7). Un estudio con suplementos proteicos observó variaciones sustanciales entre dietas: algunas fueron consumidas rápidamente, mientras otras persistieron sin modificación, lo que sugirió baja aceptación o rechazo por parte de las obreras (35). Tales diferencias de consumo condicionan el éxito del suplemento: si una colmena apenas consume el suplemento ofrecido, no habrá efecto positivo aun si el suplemento es nutricionalmente óptimo.

Por lo tanto, en la práctica de suplementación apícola, es imprescindible validar previamente la aceptación del suplemento en colonias piloto, medir la tasa de consumo real y ajustar la formulación en función de la respuesta de ingestión. Solo así puede esperarse que el suplemento aporte beneficios reales y no se convierta en desperdicio o carga logística.

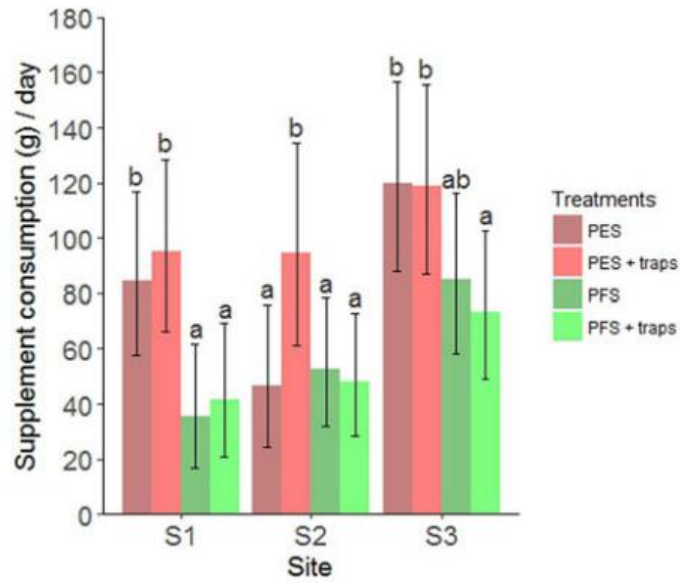


Figura 2. Efecto de suplementos proteicos sobre la cría

Nota: Promedios de mínimos cuadrados del peso del suplemento consumido por día y por colmena \pm IC del 95 % para cada tratamiento y sitio en 2016 (n = 10). PES: Polen enriquecido con suplemento, PFS: polen sin enriquecimiento con suplemento, traps: trampas de polen (27).

2.1.1.9. Estacionalidad, oferta floral y pertinencia de suplementar

La dinámica de los recursos florales, en particular polen y néctar, varía considerablemente a lo largo de las estaciones, en función de lluvias, temperatura, fenología floral, uso del suelo y competidores florales. Esa variabilidad define periodos con abundancia de recursos florales y otros, denominados valles nutricionales, en los cuales la cartera floral resulta insuficiente para cubrir las demandas proteicas de una colonia activa. Durante tales valles, la suplementación proteica puede convertirse en un soporte estratégico para sostener la postura de la reina, el crecimiento de la cría y la fuerza de la colonia (36).

La investigación ecológica sobre la estacionalidad de recursos florales y su relación con la actividad de abejas muestra que la disponibilidad floral no es constante: algunos estudios han cuantificado cómo la abundancia de flores declina o fluctúa entre

estaciones, afectando directamente la tasa de visitas y actividad polinizadora, lo que sugiere que las colonias son limitadas por recursos actuales o acumulados (37). En agroecosistemas, Guezen et al. documentaron que la visita de abejas se correlaciona con el volumen floral disponible localmente y con la acumulación de recursos florales a lo largo de la temporada (37). Asimismo, Harris et al. analizaron la variación estacional de recursos florales en paisajes agrícolas, demostrando que la fluctuación en oferta floral puede imponer estrés alimentario sobre poblaciones de polinizadores (38).

El momento óptimo para suplementar debe sincronizarse con esos periodos críticos: suplementar antes del inicio del valle nutricional puede preparar a la colonia para atravesarlo con mayor fuerza, mientras que suplementar durante un pico floral podría resultar redundante o incluso contraproducente, al desviar forrajeo natural. Por ejemplo, Hoover et al. realizaron suplementaciones tempranas en primavera, antes del pico de floración, y observaron incrementos en la población colmena, al disponer de recursos adicionales anticipados (7). Esto sugiere que el suplemento más efectivo no es el que se administra en cualquier momento, sino el que se aplica estratégicamente en función de la oferta floral local.

En regiones con estacionalidad marcada, como ecosistemas áridos o de montaña, el intervalo entre floraciones puede ser amplio y provocar déficits nutricionales prolongados. En tales contextos, la suplementación parcial podría ser una herramienta necesaria para evitar colapsos poblacionales. Sin embargo, la suplementación indiscriminada también puede inducir competencia entre colonias o desplazar el forrajeo natural si la dieta artificial es excesivamente atractiva. Por ello, una estrategia óptima de suplementación debe integrarse con monitoreos florales, calendarios fenológicos locales y consideraciones económicas, asegurando que la suplementación aporte valor en los momentos más críticos.

2.1.1.10. Desarrollo poblacional y métricas operativas

El desarrollo poblacional de una colonia de *Apis mellifera* refleja su capacidad biológica para crecer, mantener reservas y responder a condiciones ambientales. En estudios apícolas y experimentos de suplementación, dicho proceso se monitorea mediante métricas operativas cuantificables que funcionan como indicadores de la fuerza, salud y dinámica de la colonia. Dichas métricas permiten comparar tratamientos, predecir el comportamiento futuro y detectar señales tempranas de estrés o declive.

Métricas operativas fundamentales

Entre las métricas más difundidas para evaluar el estado poblacional de una colonia destacan:

1. Peso de la colonia (masa total)

El peso de toda la colonia (abejas adultas más reservas de miel y polen) se considera un indicador global de fuerza. Si bien su interpretación es más compleja porque incluye reservas y no solo población viva—, entre temporadas o tratamientos puede servir como proxy del balance entre crecimiento y consumo metabólico. Muchos ensayos registran variaciones de peso como indicador de acumulación o pérdida neta de biomasa.

2. Área de cría (celdas operculadas, pupas, cría abierta)

La cantidad de cría presente indica la capacidad reproductiva de la colonia y su proyección futura. En modelos simulados, el número de celdas de cría operculada (equivalente a pupas) se comporta como uno de los indicadores más tempranos de estrés poblacional, superando incluso al número de abejas adultas en la detección de perturbaciones ambientales (39). Dicha métrica también

correlaciona con el consumo de polen, pues una mayor demanda larvaria exige más alimento.

3. Número relativo de adultos

Contar las abejas adultas (o estimar su número mediante métodos indirectos) permite conocer el estado actual del “capital laboral” de la colonia. Aunque su variación puede ser más lenta, el recuento de adultos sigue siendo una métrica central en estudios de dinámica poblacional (40).

4. Relación cría: abejas (brood-bee ratio)

Esta relación —proporción entre cría (huevos, larvas, pupas) y abejas adultas se ha propuesto como una señal de alerta temprana, ya que cambios en esa relación pueden anticipar alteraciones en la dinámica antes que los cambios en población absoluta (39).

5. Actividad de vuelo / forrajeo

Aunque no es una métrica estrictamente poblacional, el nivel de actividad externa (número de vuelos o forrajeos) sirve como indicador funcional del vigor de la colonia y su interacción con el ambiente.

Dinámica temporal y modelado

Para entender el crecimiento poblacional, es habitual registrar estas métricas en series temporales (por ejemplo, cada 3 días, semanalmente o mensual), construyendo curvas de crecimiento poblacional. En este contexto, la pendiente de la trayectoria temporal (por ejemplo, del peso o del número de marcos de cría en función del tiempo) puede usarse como medida sintética de la tasa de desarrollo. Al comparar pendientes entre tratamientos, se evalúa qué suplemento o condición favorece mayor crecimiento poblacional neto.

En ensayos y modelos, se observa que el número de celdas de cría operculada permite detectar estrés antes que el recuento de adultos (40) y que la relación cría: abejas puede discriminar escenarios de estrés más temprano que otras métricas1.

Método de medición en campo y estándar

Para mediciones confiables se emplean métodos estandarizados de campo descritos en la literatura “Standard Methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies” (41). En ellos se explican técnicas objetivas (mediciones directas) y subjetivas (estimaciones visuales). Por ejemplo:

- Uso de piezas plásticas con malla uniforme para estimar el área de cría (sumatoria de celdas activas).
- Uso de escalas o balanzas para pesar colonias con equipamiento no invasivo.
- Métodos no destructivos para estimar adultos mediante desplazamientos dentro de la colmena o mediante conteo posterior (42).

Estos protocolos buscan balancear precisión y perturbación mínima sobre la colonia.

Relevancia en estudios de suplementación

Cuando se evalúan suplementos proteicos o estrategias nutricionales, estas métricas operativas permiten cuantificar el impacto de cada tratamiento en el desarrollo poblacional. Por ejemplo, si un suplemento logra elevar la pendiente de crecimiento (peso o cría) en comparación al control, se considera eficaz. También permite observar si el suplemento acelera la acumulación de cría, favorece aumento del número de obreras o mejora la relación cría: abejas frente al tratamiento rival.

En resumen, el desarrollo poblacional de *Apis mellifera* puede ser capturado con métricas operativas robustas, peso, área de cría, número de adultos, relación cría: abejas, registradas en serie temporal. Su correcta medición y análisis permiten contrastar

tratamientos, detectar estrés temprano y comprender la dinámica relativa entre nutrición, ambiente y crecimiento de colonia.

2.1.1.11. Calidad/composición de suplementos comerciales

La calidad de los suplementos comerciales no se limita a la concentración de nutrientes declarada, sino también a su estabilidad físico-química, compatibilidad microbiológica y efecto fisiológico real sobre la colonia. En la práctica, se ha evidenciado que la mayoría de suplementos del mercado presentan amplias variaciones en composición, incluso dentro de una misma marca o lote, lo que dificulta la comparación entre estudios y la estandarización de resultados experimentales (27). Tales diferencias pueden obedecer a la fuente proteica (soya, levaduras, caseína, harina de pescado, subproductos vegetales), al proceso de secado y molienda, o al tipo de conservante empleado.

La fuente proteica es, en efecto, uno de los determinantes principales de calidad. Las proteínas derivadas de leguminosas (soya, chícharo, lenteja) suelen tener alta digestibilidad, pero su perfil de aminoácidos es incompleto; por ello se suelen complementar con harinas animales o levaduras para alcanzar un patrón más equilibrado. Las harinas de pescado o levaduras hidrolizadas aportan lisina, metionina y arginina, aminoácidos críticos para el crecimiento larval, aunque su empleo excesivo puede generar rechazo por olor o sabor (baja palatabilidad) y afectar el consumo (8). Por su parte, los suplementos basados en polen fermentado o en proteínas de origen vegetal ensiladas logran mejorar la digestibilidad y aceptación por las abejas, al imitar la textura y perfil químico del pan de abeja (36).

En evaluaciones comparativas, se ha comprobado que las dietas suplementarias con mayor diversidad de fuentes proteicas producen mejores resultados en peso de colmena y número de marcos de cría que aquellas formuladas con una sola fuente (12). Además,

suplementos que incluyen hidratos de carbono de liberación lenta (fructosa, maltosa) favorecen la estabilidad energética de la colonia, reduciendo el riesgo de fermentación y evitando desequilibrios osmóticos en periodos de alta humedad (35).

Otro aspecto crítico es la presencia de contaminantes o residuos. Algunos productos comerciales pueden contener trazas de micotoxinas, pesticidas o metales pesados provenientes de las materias primas utilizadas. Dichos contaminantes, incluso en bajas concentraciones, pueden alterar la longevidad y la expresión génica de detoxificación en abejas adultas (43). Por ello, los fabricantes responsables deberían certificar la inocuidad del suplemento mediante análisis proximales y microbiológicos, garantizando la ausencia de patógenos y contaminantes químicos.

Asimismo, la forma de presentación (pasta, polvo, líquido o torta compacta) influye en la conservación de nutrientes y en la tasa de consumo. Las pastas y tortas semihúmedas tienden a ser más aceptadas en climas áridos, mientras que los suplementos líquidos, aunque más fáciles de dosificar, presentan mayor riesgo de fermentación si no se manejan bajo condiciones higiénicas. Investigaciones recientes señalan que el contenido de humedad óptimo de las pastas proteicas se sitúa entre 15 % y 25 %, rango en el cual se equilibra estabilidad y palatabilidad (32).

Los suplementos funcionales que integran componentes antioxidantes, probióticos o fitonutrientes representan una nueva generación de alimentos apícolas. Su objetivo no es solo compensar carencias nutricionales, sino también fortalecer la inmunocompetencia de las colonias frente a estrés oxidativo o patógenos como *Nosema ceranae*. Glavinic et al. demostraron que un suplemento con complejo de aminoácidos y vitaminas mitigó la inmunosupresión inducida por *Nosema*, reduciendo la mortalidad y restaurando la actividad de genes antimicrobianos (28). Del mismo modo, El-Din et

al. probaron un hidrolizado proteico de pescado que aumentó la concentración de proteínas hemolinfáticas y la vitalidad de las abejas durante el invierno (29).

La calidad sensorial del suplemento —olor, textura y color— también influye indirectamente en su consumo. Dietas con olores rancios o textura excesivamente seca son rechazadas por las obreras, reduciendo la efectividad global del tratamiento. Por tanto, la evaluación integral de un suplemento debe incluir tanto su composición nutricional como su aceptación en campo.

En síntesis, los suplementos proteicos comerciales constituyen una herramienta valiosa para mantener la productividad apícola, pero su efectividad depende de un conjunto de atributos interrelacionados:

1. Equilibrio aminoacídico.
2. Alta digestibilidad.
3. Inocuidad microbiológica y química.
4. Presencia de micronutrientes esenciales.
5. Buena aceptación por parte de las abejas.

La selección de un suplemento debe basarse en evidencia analítica y en resultados de campo, considerando la estacionalidad floral, la fisiología local de la abeja y los objetivos del manejo (estimular cría, sostener cosecha o prevenir pérdidas). Solo bajo esos criterios, la suplementación puede traducirse en un verdadero beneficio zootécnico y ecológico para *Apis mellifera*.

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Análisis de tesis

- **Autores:** Hernández Hernández, R. I., González Hernández, F. C., & Arias Carballo, J. E. (44)

- **Año:** 2022
- **Título:** “Alimentación alternativa de abejas (*Apis mellifera* L.) usando suplementos proteicos durante la estación lluviosa, en el municipio de Cojutepeque, El Salvador, 2019”

Resumen: El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes formulaciones proteicas sobre parámetros productivos de colmenas, en comparación con la alimentación convencional con jarabe de azúcar. Se planteó como objetivo determinar si la suplementación proteica podía mejorar indicadores como el nivel de postura, el crecimiento poblacional (cría abierta y sellada), la aceptación del suplemento, y la producción de miel y cera. El estudio utilizó 20 colmenas distribuidas en un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones: T0 (100% jarabe de azúcar), T1 (33% teberinto, 33% leche en polvo, 34% jarabe), T2 (33% morro, 33% leche en polvo, 34% jarabe) y T3 (17% morro, 16% ajonjolí, 33% leche en polvo, 34% jarabe). Los resultados mostraron que el tratamiento T2 obtuvo el mayor nivel de postura (4,5 cuadros con postura) y mejor crecimiento poblacional en cría abierta (4,0 cuadros), mientras que el T0 presentó el mayor crecimiento poblacional en cría sellada (8,8 cuadros) y mayor consumo del suplemento. En producción de miel, T2 fue superior con 3,75 kg, y en producción de cera también lideró con 0,97 kg. Los autores concluyen que la suplementación proteica, especialmente con la formulación T2, constituye una alternativa viable para mejorar ciertos parámetros productivos, presentando resultados similares a la alimentación con jarabe de azúcar y superando a otros tratamientos en variables clave.

- **Autor:** León Ceras, F. (45)
- **Año:** 2008

- **Título:** “Efecto de la suplementación proteica en la cantidad de polen acopiado por *Apis mellifera* en época lluviosa en el distrito de El Mantaro – Jauja”,

Resumen: evaluó la preferencia de consumo y el impacto de diferentes suplementos proteicos sobre la recolección de polen y la rentabilidad económica de colmenas ubicadas a 3 300 m s. n. m. en la región Junín, Perú. El estudio tuvo como objetivos determinar el consumo de tres suplementos (soya, frijol y leche en polvo) considerando la granulometría, evaluar la cantidad de polen acopiado con la dieta de mayor preferencia y calcular la retribución económica de dicha actividad. La investigación se desarrolló en dos experimentos: el primero con 9 colmenas distribuidas en nueve dietas (tres por ingrediente proteico), y el segundo con 8 colmenas distribuidas en ocho dietas, empleando el suplemento de mayor aceptación. Entre los hallazgos del primer experimento, la dieta más consumida fue la D5 (50% harina de frijol, 10% polen y 40% miel), con un consumo promedio de 46,20 g en cuatro meses. En cuanto a la granulometría, la leche en polvo presentó el 100% de partículas menores de 100 μm , la harina de frijol 95,86% y la de soya 75,39%. En el segundo experimento, la mayor cantidad de polen acopiado correspondió a la dieta D4, con un promedio de 145,73 g, superando a la dieta control (D0, 105,39 g) y a otras formulaciones. La mayor retribución económica también se obtuvo con la dieta D4 (S/. 167,34), seguida por la dieta DT (S/. 105,28). Los resultados indican que la harina de frijol, por su granulometría fina y alto consumo, favorece la recolección de polen y mejora la rentabilidad en época lluviosa. La autora concluye que la suplementación proteica, ajustada a la preferencia y características físicas del insumo, es una estrategia eficaz para optimizar el rendimiento apícola en zonas altoandinas.

- **Autores:** Cala, M. N. (46)

- **Año:** 2021

- **Título:** “Investigación de dos dietas proteicas para desarrollo de núcleos y colmenas de abejas (*Apis mellifera*) en Hato Santander, año 2021”

Resumen: evaluó el impacto de dos suplementos proteicos en el fortalecimiento y desarrollo de colmenas. El trabajo partió de la preocupación por el debilitamiento progresivo de la especie debido al cambio climático, lo que afecta su capacidad de polinización y, en consecuencia, al ecosistema y la producción apícola. El objetivo central fue comparar la eficiencia de dos dietas artificiales ricas en proteínas y aminoácidos esenciales, determinando su influencia sobre variables como la postura de la reina y la rentabilidad para los apicultores. La metodología consistió en la alimentación controlada de núcleos y colmenas con cada suplemento, registrando indicadores productivos y de desarrollo poblacional. Los resultados permitieron identificar cuál de las dietas evaluadas favoreció en mayor medida el crecimiento de la colonia y la actividad reproductiva de la reina, además de mostrar mejor relación costo-beneficio para los productores. La autora concluye que la suplementación proteica es una herramienta efectiva no solo para mejorar la productividad de las colmenas, sino también como estrategia de conservación de *Apis mellifera*, contribuyendo a la estabilidad del ecosistema y a la obtención sostenible de productos apícolas.

- **Autores:** Ríos Granados, J. A. (47)
- **Año:** 1987
- **Título:** “Estudio comparativo de suplementos proteicos en la nutrición de abejas *Apis mellifera* L.”

Resumen: evaluó la aceptación, valor nutritivo, viabilidad técnica y costo económico de diferentes suplementos proteicos en la alimentación artificial de colmenas. El

objetivo fue identificar el suplemento más adecuado para su uso práctico en apicultura. La investigación se desarrolló entre abril y octubre de 1987 en los municipios de Tultepec y Santana Nextlalpan, Estado de México, empleando 70 colonias de *Apis mellifera* de la raza italiana. Se evaluaron siete mezclas de alto valor proteico: spirulina, harina de pescado, harina de girasol, harina de amaranto, harina de soya, levadura de cerveza y polen de flores. Las variables consideradas incluyeron el consumo de suplemento, aumento poblacional de crías y abejas adultas, variación del peso de las colmenas, conservación de las mezclas, costo económico y rendimiento en producción de miel. Los resultados indicaron que, aunque el consumo y la conservación fueron favorables, no se evidenció una influencia directa sobre la población ni el aumento de peso. El suplemento que mostró el mejor perfil general, considerando aceptación, valor nutritivo y costo-beneficio, fue la harina de pescado, recomendándose como opción viable para la suplementación proteica en colmenas.

2.2.2. Análisis de trabajos de investigación

- **Autores:** Peirson, M., Ibrahim, A., Ovinge, L. P., Hoover, S. E., Guarna, M. M., Melathopoulos, A., & Pernal, S. F. (26)
- **Año:** 2024
- **Título:** “The effects of protein supplementation, fumagillin treatment, and colony management on the productivity and long-term survival of honey bee (*Apis mellifera*) colonies”

Resumen: evaluaron el impacto de la suplementación proteica y del tratamiento con fumagilina sobre la productividad y supervivencia de colonias comerciales de abejas en Canadá. La investigación tuvo una duración de dos años e incluyó 362 colmenas distribuidas en tres regiones con condiciones y estrategias de manejo distintas: norte de

Alberta, sur de Alberta y la isla del Príncipe Eduardo. Se aplicó un diseño experimental factorial, en el que los tratamientos consistieron en: (1) suplementación continua con un alimento proteico comercial que contenía 25% p/p de polen, y (2) tratamiento con Fumagilin-B® en dosis de etiqueta durante el otoño. Los resultados mostraron que ninguno de los tratamientos produjo beneficios consistentes en todos los sitios. La fumagilina se asoció con un incremento notable en la producción de miel solo en el norte de Alberta, mientras que la suplementación proteica generó un aumento temprano en la producción de cría únicamente en el sur de Alberta. Sin embargo, el suplemento proteico no tuvo beneficios prolongados y estuvo vinculado a un mayor riesgo de mortalidad y a la reducción del tamaño de la colonia en etapas posteriores. Los autores concluyen que los efectos de la suplementación proteica y de la fumagilina dependen fuertemente del contexto, siendo recomendable aportar proteína extra solo cuando exista limitación de forraje natural, y que el uso de fumagilina, aunque seguro, no siempre produce beneficios productivos.

- **Autores:** Ahmad, S., Khan, K. A., Khan, S. A., Ghramh, H. A., & Gul, A. (9)
- **Año:** 2021
- **Título:** “Comparative assessment of various supplementary diets on commercial honey bee (*Apis mellifera*) health and colony performance”

Resumen: evaluaron el efecto de diferentes dietas proteicas suplementarias sobre parámetros productivos y de salud en colonias comerciales, durante periodos de escasez de polen. El experimento incluyó varios grupos de tratamiento alimentados con “patties” de sustitutos de polen, mientras que el grupo control recibió únicamente jarabe de azúcar. Entre las formulaciones evaluadas, la Dieta 1 —compuesta por 45 g de harina de soya, 15 g de levadura de cerveza, 75 g de azúcar en polvo, 7,5 g de leche descremada en polvo, 7,5 g de polen de palma datilera y 200 mL de jarabe de azúcar suplementado

con vitamina C— fue la más consumida por las abejas. Los resultados mostraron que las colonias que recibieron la Dieta 1 presentaron mayores cargas de polen, mayor área de cría operculada, mayor fuerza poblacional y mayor producción de miel en comparación con las que recibieron otras dietas. En cambio, el grupo control presentó valores más bajos en todos los parámetros evaluados. Los autores concluyen que el uso de dietas proteicas balanceadas puede mejorar significativamente la salud y el desarrollo de las colonias de *Apis mellifera* en periodos de escasez y baja diversidad de polen, contribuyendo así a una mayor productividad apícola.

- **Autores:** DeGrandi-Hoffman, G., Wardell, G., Ahumada-Segura, F., Rinderer, T., Danka, R., & Pettis, J. (48)
- **Año:** 2008
- **Título:** “Comparisons of pollen substitute diets for honey bees: consumption rates by colonies and effects on brood and adult populations”

Resumen: evaluaron el consumo y los efectos sobre el crecimiento de la cría y la población adulta de colonias de *Apis mellifera* alimentadas con diferentes sustitutos comerciales de polen, comparados con torta de polen y jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS). La investigación incluyó dos ensayos: el primero, de tres meses de duración en otoño e invierno, evaluó tres dietas (Dieta 1, Dieta 2 y Dieta 3 en forma líquida y de patty), y el segundo, de dos meses en verano, evaluó Dieta 2 y Dieta 3 (patty). En ambos ensayos, Dieta 2 y Dieta 3 en presentación patty fueron consumidas en cantidades comparables a la torta de polen, mientras que Dieta 1 registró un consumo significativamente menor. Se encontró una relación positiva entre la cantidad de dieta consumida y el incremento en el área de cría y la población adulta. En el primer ensayo, las colonias alimentadas con Dieta 3 (patty) produjeron significativamente más cría que aquellas alimentadas con torta de polen u otras dietas, mientras que las alimentadas con

Dieta 1 o HFCS tuvieron la menor producción de cría. Las poblaciones adultas alimentadas con Dieta 3 (líquida o patty) no difirieron de las alimentadas con torta de polen, y superaron a las alimentadas con Dieta 1 o Dieta 2. Los autores concluyen que algunos sustitutos proteicos comerciales, particularmente Dieta 3, pueden igualar o incluso superar a la torta de polen en términos de crecimiento poblacional y desarrollo de cría, especialmente cuando la disponibilidad de polen natural es limitada.

- **Autores:** Hoover, S. E., Ovinge, L. P., & Kearns, J. D. (7)
- **Año:** 2022
- **Título:** “Consumption of Supplemental Spring Protein Feeds by Western Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies: Effects on Colony Growth and Pollination Potential”

Resumen: evaluaron los efectos de diferentes suplementos proteicos comerciales administrados en primavera sobre el crecimiento de colonias de *Apis mellifera* y su potencial de polinización, previo a su uso en polinización de canola híbrida. La investigación, realizada durante tres años, incluyó los tratamientos: Global 15% polen, Global 0% polen, Bee Pollen-Ate, FeedBee y Healthy Bees, además de un control sin suplementación (en el segundo año). Se midió el consumo de cada suplemento, la eficiencia de alimentación (abejas criadas por gramo de alimento consumido) y parámetros poblacionales (área de cría y número de abejas adultas). Los resultados mostraron que el consumo varió según colonia, tratamiento, fecha y año, y que la eficiencia de conversión estuvo influenciada por la disponibilidad de forraje externo. En apiarios con baja oferta de polen, las colonias no suplementadas criaron menos cría y tuvieron menor población adulta que las suplementadas. Sin embargo, las diferencias en consumo entre tratamientos no siempre se tradujeron en diferencias significativas en cría o población adulta. En cuanto a la composición, todos los suplementos contenían

los diez aminoácidos esenciales para las abejas, aunque solo la formulación FeedBee presentó niveles óptimos de lisina y arginina. También se observaron variaciones en el contenido de proteínas, azúcares y grasas según el tipo y lote de producto. Los autores concluyen que la suplementación proteica de primavera puede incrementar las poblaciones de abejas y optimizar su preparación para la temporada de polinización, aunque su efectividad depende de la calidad nutricional del suplemento y de la disponibilidad de polen en el entorno.

- **Autores:** Zheng, B., Wu, Z., & Xu, B. (11)
- **Año:** 2014
- **Título:** “The Effects of Dietary Protein Levels on the Population Growth, Performance, and Physiology of Honey Bee Workers During Early Spring”

Resumen: evaluaron el impacto de diferentes niveles de proteína cruda en la dieta sobre el crecimiento poblacional, la fisiología y la longevidad de obreras de *Apis mellifera* durante la primavera temprana. El ensayo incluyó 25 colonias con reinas hermanas, alimentadas con dietas que contenían 25,0%, 29,5%, 34,0% o 38,5% de proteína cruda, además de un grupo control alimentado con polen puro. Se midieron parámetros como el crecimiento poblacional, el peso de las obreras emergentes, la actividad enzimática proteolítica del intestino medio, el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas y la supervivencia. Tras 48 días, la cantidad acumulada de obreras producidas por colonia varió entre 22.420 y 29.519 individuos, ajustándose a una ecuación cuadrática que predijo un máximo de crecimiento poblacional con un contenido de proteína del 31,7%. Las dietas con 34,0% de proteína cruda produjeron obreras con mayor peso, mayor actividad enzimática, glándulas hipofaríngeas más desarrolladas y mayor supervivencia, en comparación con los otros niveles proteicos. Aunque el polen puro mostró valores altos en peso y supervivencia, no hubo diferencias significativas

respecto al tratamiento con 34,0% de proteína. Los autores concluyen que un rango de 29,5–34,0% de proteína cruda en la dieta optimiza la tasa reproductiva de las colonias en primavera temprana, mejorando tanto parámetros poblacionales como fisiológicos.

- **Autores:** Noordyke, E. R., & Ellis, J. D. (49)
- **Año:** 2021
- **Título:** “Reviewing the Efficacy of Pollen Substitutes as a Management Tool for Improving the Health and Productivity of Western Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies”

Resumen: analizaron la evidencia disponible sobre la eficacia de los sustitutos de polen como estrategia de manejo para mejorar la salud y productividad de las colonias de *Apis mellifera*. La revisión agrupó los estudios publicados en cuatro categorías principales: (1) consumo y palatabilidad de los sustitutos de polen, (2) efectos sobre la productividad de la colonia, (3) influencia en la respuesta frente a plagas y enfermedades, y (4) impacto sobre parámetros fisiológicos. Los resultados recopilados mostraron que los sustitutos de polen pueden generar efectos positivos, neutros o incluso negativos, dependiendo de factores como la composición nutricional del suplemento, la disponibilidad de polen natural y las condiciones de manejo. Los autores destacan que, a pesar de su uso extendido, la eficacia de los sustitutos de polen no está plenamente establecida y que la investigación presenta vacíos metodológicos importantes. Recomiendan incrementar la cantidad y calidad de los estudios, considerando que la nutrición es un factor clave en la salud de las abejas manejadas a nivel global.

- **Autores:** Perianes Rodríguez, A., Gadea, L., Landero, J., & Hernández, A. M. (50)
- **Año:** 2015

- **Título:** “Evaluación de tres suplementos alimenticios en la producción de *Apis mellifera* en la Agropecuaria Los Potrerillos – Jinotega”

Resumen: analizaron el efecto de tres dietas proteicas —harina de soya, harina de maní y harina de maíz— como suplementación alimenticia sobre abejas africanizadas. La investigación se desarrolló en la comunidad San Esteban, municipio de Jinotega, durante un periodo de 5 semanas, utilizando 16 colmenas en núcleo, distribuidas en cuatro repeticiones por tratamiento y un grupo control absoluto. Se evaluaron variables como consumo de alimento, incremento poblacional, producción de miel y relación costo-beneficio, aplicando análisis de varianza y prueba de Tukey mediante el software INFOSTAT. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas, los promedios indicaron que la harina de soya presentó mejores resultados en varias variables productivas, destacando en producción de miel, con una diferencia de 7 litros respecto al control. En cuanto al consumo, la harina de maíz mostró mayor palatabilidad, seguida de la harina de soya. Los autores concluyen que ambos tipos de harina fueron aceptados y consumidos por las colonias, y recomiendan ampliar el tamaño muestral para evaluar con mayor precisión el potencial de estos suplementos proteicos como dietas sustitutas en la apicultura.



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

3.1.1.1. Espacial

La investigación se desarrolló en el Fundo Agroinca, localizado en el distrito de La Joya, provincia y región de Arequipa, Perú, a una altitud aproximada de 1 350 m s. n. m. La zona presenta un clima predominantemente árido, con precipitaciones anuales que rara vez superan los 100 mm, alta radiación solar durante la mayor parte del año y una oscilación térmica diaria marcada, con temperaturas mínimas cercanas a 10 °C y máximas que pueden alcanzar los 27 °C. Estas condiciones influyeron significativamente en la fenología de las plantas melíferas, reduciendo la disponibilidad de polen y néctar en determinados periodos, lo que repercutió en la dinámica poblacional y en la actividad forrajera de *Apis mellifera*. Además, el área contó con cultivos agrícolas de importancia económica que requieren polinización, lo que convirtió al lugar en un entorno idóneo para la evaluación de la suplementación proteica en un contexto productivo real.

3.1.1.2. Temporal

El estudio se llevó a cabo durante el año 2025, con una fase experimental de campo de dos meses y medio de duración, desarrollada en un periodo de baja oferta floral para las abejas. Durante este lapso, se realizaron evaluaciones periódicas cada tres días, registrando indicadores como peso de colmenas, número de marcos poblados y marcos destinados a cría. La selección de este periodo respondió a la necesidad de evaluar la efectividad de los suplementos proteicos en condiciones críticas, donde la limitación de recursos naturales hizo más evidente el impacto de la alimentación suplementaria en el desarrollo de las colonias.

3.1.2. Materiales biológicos

Para el desarrollo del experimento se emplearon colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera*) pertenecientes a la línea genética “Mama Ocllo”, reconocida por su buena adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región de Arequipa, alta productividad y comportamiento dócil, características que facilitaron el manejo en campo y redujeron el riesgo para el personal apícola. Las colonias fueron sometidas a tres tratamientos de suplementación proteica, consistentes en:

- **NUC+ PRO SISA (*Bee Products*):** suplemento proteico comercial utilizado como fuente complementaria de nutrientes, para colonias de abejas durante periodo de escasez de polen.
- **PROMEGA (*Bee Products*):** suplemento proteico cuya composición corresponde a información declarada por el fabricante, empleado como fuente nutricional complementaria.
- **Torta Proteica (Pasta alimenticia) para abejas (*Polinizaciones SAC*):** suplemento alimenticio comercial, utilizado como referencia para la comparación de desempeño frente a los productos de *Bee Products*.

Cada suplemento fue administrado en cantidades estandarizadas, siguiendo protocolos uniformes de manejo, con el fin para asegurar la comparabilidad de resultados.

3.1.3. Materiales de laboratorio

Para la caracterización nutricional de los suplementos proteicos se realizó un análisis proximal que incluyó la determinación de materia seca, contenido calórico y porcentaje de proteína bruta. Este procedimiento permitió establecer la calidad nutricional de cada suplemento y su posible relación con el desempeño de las colonias de *Apis mellifera*. El análisis se llevó a cabo utilizando:

- Balanza analítica de precisión ($\pm 0,001$ g) para el pesaje de muestras.
- Estufa de secado para la determinación de materia seca.
- Calorímetro para la medición del contenido energético.
- Sistema de digestión y destilación Kjeldahl para la cuantificación de proteína bruta.
- Reactivos químicos de grado analítico necesarios para los análisis (ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, catalizadores, indicadores, entre otros).
- Vidriería de laboratorio (matraces, probetas, tubos de ensayo, pipetas y vasos precipitados) para la manipulación y preparación de las muestras.

Este análisis permitió correlacionar los resultados de campo con la composición nutricional de los suplementos, fortaleciendo la interpretación de los datos obtenidos.

3.1.4. Materiales de campo

Para la ejecución de las actividades en el apiario se utilizaron los siguientes materiales:

- **Ahumador apícola:** empleado para generar humo que facilite el manejo de las colmenas, reduciendo la agresividad de las abejas.
- **Espátula o palanca apícola:** utilizada para desprender y manipular los cuadros de la colmena durante las evaluaciones.
- **Cepillo apícola:** para retirar suavemente las abejas de los cuadros sin causarles daño.
- **Recipientes plásticos con tapa hermética:** para el transporte y almacenamiento temporal de los suplementos proteicos.
- **Gautes de protección:** para manipular los cuadros y otros elementos del apiario de forma segura.

- **Cuadernos y lápices de campo:** para el registro manual de datos y observaciones durante el trabajo en el apiario.

Estructura de las colmenas utilizadas

Las colmenas que se emplearon en el estudio corresponden al modelo estándar Langstroth, ampliamente utilizado en apicultura moderna por su diseño modular y facilidad de manejo. Cada unidad estuvo compuesta por:

- **Cuerpo de cría (deep):** caja principal de $50 \times 41,5 \times 24$ cm que aloja los cuadros para cría, con marcos interiores de $48,3 \times 23,2$ cm.
- **Alza melaria (media alza):** caja de $50 \times 41,5 \times 16,5$ cm con marcos interiores de 15,9 cm, destinada al almacenamiento de miel.
- **Piso o base:** $50 \times 41,5$ cm, con malla para ventilación.
- **Tapa o techo:** plano o inclinado, con medidas aproximadas de 55×46 cm para protección contra la lluvia.

El peso aproximado en vacío de una colmena completa (1 cuerpo de cría + 1 alza + piso + tapa) osciló entre 12.60 y 13 kg, dependiendo del tipo de madera (pino, cedro, eucalipto) y acabados aplicados.

3.1.5. Equipos y maquinarias

Para la ejecución del presente estudio se emplearon los siguientes equipos:

- **Balanza digital (Alexander Mobba):** utilizada para el registro preciso del peso de las colmenas y de los suplementos proteicos antes y después de la administración, permitiendo cuantificar el consumo y el incremento de masa.

- **Teléfono celular:** destinado a la toma de registros fotográficos y videos del proceso experimental, así como para el almacenamiento de datos de campo y la comunicación durante las actividades de recolección de información.
- **Traje de apicultura:** equipo de protección personal indispensable para garantizar la seguridad del investigador durante la manipulación de las colmenas, minimizando el riesgo de picaduras y permitiendo un manejo seguro de las abejas.

3.1.6. Otros materiales

Para el registro, procesamiento y presentación de los datos obtenidos durante la investigación, se utilizaron los siguientes materiales de escritorio:

- Cuadernos de campo para el registro manual de observaciones y mediciones.
- Hojas de registro estandarizadas para control de peso, marcos poblados y marcos de cría.
- Lápices, lapiceros y borradores para anotaciones.
- Calculadora científica para operaciones básicas en campo.
- Carpeta clasificadora para el almacenamiento y organización de documentos.
- Computadora portátil para la digitalización y análisis de datos.
- Software estadístico (STATA v.18) para el procesamiento y análisis de resultados.

Estos materiales garantizaron un registro ordenado y preciso de la información generada durante el trabajo de campo y laboratorio.

3.2. Métodos

3.2.1. Muestreo

3.2.1.1. Universo

El universo muestral estuvo constituido por la totalidad de colmenas de *Apis mellifera* presentes en el Fundo Agroinca, distrito de La Joya, provincia y región de Arequipa. Estas colmenas pertenecieron a la línea genética “Mama Oclo” y se encontraban bajo manejo técnico apícola.

3.2.1.2. Tamaño de muestra

Por razones de disponibilidad experimental, logística y control de variables, se trabajó con un total de cuatro colmenas: una correspondiente al grupo control (sin suplementación proteica) y tres colmenas experimentales, cada una suplementada con uno de los diferentes productos en evaluación (NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta alimenticia) para abejas). Este tamaño de muestra permitió realizar un seguimiento exhaustivo y controlado de cada tratamiento, garantizando la comparabilidad de los resultados.

3.2.1.3. Procedimiento de muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando las colmenas que cumplieron con condiciones homogéneas en cuanto a estado sanitario, edad de la reina, número inicial de marcos poblados y de cría, así como peso inicial. Esta metodología permitió asegurar que las diferencias observadas al final del experimento pudieron atribuirse principalmente a los tratamientos de suplementación proteica y no a variaciones previas entre las colmenas.

3.2.2. Métodos de evaluación

3.2.2.1. Metodología de la experimentación

El experimento se llevó a cabo durante un periodo de dos meses y medio, en condiciones controladas de campo, evaluando el efecto de tres suplementos proteicos sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera*. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos (un control sin suplementación y tres con diferentes suplementos).

Cabe precisar que el presente estudio no evaluó combinaciones de tratamientos, sino que se trabajó con tratamientos independientes. En este sentido, se establecieron cuatro grupos experimentales claramente diferenciados: un grupo control sin suplementación y tres grupos experimentales, cada uno correspondiente a un tipo específico de suplemento proteico (NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta alimenticia) para abejas). Cada tratamiento estuvo representado por una unidad experimental (una colmena), manteniéndose condiciones estandarizadas en la cantidad administrada y la frecuencia de reposición del suplemento, las cuales no fueron consideradas como variables de estudio, sino como parámetros constantes del protocolo experimental. Esto permitió que las diferencias observadas en las variables de respuesta se atribuyeran exclusivamente al tipo de suplemento evaluado.

Las variables registradas fueron:

- Peso de la colmena (kg) mediante balanza digital, como indicador indirecto de crecimiento poblacional y acumulación de reservas.
- Número de marcos poblados, contabilizando los marcos cubiertos por abejas adultas.

- Número de marcos de cría, contabilizando los marcos con presencia de crías operculadas y abiertas.

Las mediciones se realizaron cada tres días para registrar la evolución de las variables durante todo el periodo experimental.

Cabe precisar que cada tratamiento estuvo representado por una única unidad experimental (colmena), debido a limitaciones logísticas y de disponibilidad de colonias homogéneas. No obstante, se realizaron mediciones repetidas cada tres días durante el periodo experimental, generando un conjunto de datos longitudinales que permitió evaluar la evolución temporal de las variables de estudio. Estas mediciones no constituyen réplicas independientes, sino observaciones sucesivas de la misma unidad experimental, por lo que el análisis se orientó a la comparación de tendencias entre tratamientos

3.2.2.2. Recopilación de la información

a. En el campo

Se recopilaron los datos de peso de colmena, número de marcos poblados y de cría, así como observaciones sobre la actividad forrajera y el estado general de la colonia. Los registros se hicieron en hojas de control preestablecidas, para luego ser digitalizados.

b. En el laboratorio

Se realizó el análisis proximal de los suplementos proteicos para determinar materia seca, contenido calórico y proteína bruta. Estos resultados se usaron para correlacionar la calidad nutricional de los suplementos con los cambios observados en las colmenas.

c. En la biblioteca

Se recopiló información bibliográfica y antecedentes científicos sobre suplementación proteica en *Apis mellifera*, nutrición apícola y su relación con el desempeño polinizador, con el fin de sustentar teóricamente el estudio y comparar resultados.

d. En otros ambientes generadores de la información científica

Se consideró información proveniente de bases de datos académicas, informes técnicos y publicaciones de asociaciones apícolas, así como datos meteorológicos locales que pudieron influir en la interpretación de los resultados.

3.3. Variables de respuesta

3.3.1. Variables independientes

Variables independientes (VI)

- **Tipo de suplemento (4 niveles):** Control | NUC+ PRO SISA | PROMEGA | Torta Proteica (Pasta Alimenticia).
- **Cantidad administrada:** 0,5 kg/colmena por reposición (constante).
- **Frecuencia de reposición:** cada 7 días (constante).

3.3.2. Variables dependientes

Variables dependientes (VD)

- **Peso de colmena (kg):** continuo. Medición con balanza digital, cada 7 días.
- **Marcos poblados (n):** discreta. Conteo de marcos cubiertos por adultas, cada 7 días.
- **Marcos de cría (n):** discreta. Conteo de marcos con cría abierta/operculada, cada 7 días.

3.3.3. Operacionalización de variables

Variables	Variable	Definición operacional	Indicador(es)	Unidad / escala	Instrumento / procedimiento	Frecuencia	Tipo	
Variables independientes (VD)	Tipo de suplementación proteica	Tratamiento administrado a la colmena (categoría del suplemento).	Nivel de tratamiento: Control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA, Torta Proteica (Pasta alimenticia) para abejas (Polinizaciones SAC).	Nominal (4 niveles)	Registro administrativo de tratamientos; etiquetado de colmenas.	Una vez (asignación)	Independiente	
	Variables dependientes (VD)	Peso de la colmena	Masa total de la colmena (sin sustrato externo) como indicador indirecto de población y reservas.	Peso neto de la colmena.	Kilogramos (kg)	Balanza digital portátil; pesaje estandarizado colocando la colmena sobre la balanza; registrar peso inicial y sucesivos.	Cada 7 días	Dependiente (continua)
		Marcos poblados	Número de marcos cubiertos por abejas adultas en cada colmena.	Conteo de marcos poblados.	Número entero (0–20)	Conteo visual revisando cada marco; registro en hoja de campo. Igualar marcos iniciales (p. ej., 10 poblados / 10 cría) y registrar.	Cada 7 días	Dependiente (discreta)
	Marcos de cría	Número de marcos que contienen cría (abierta u operculada).	Conteo de marcos con cría.	Número entero (0–20)	Inspección visual de marcos; conteo y registro en hoja de campo.	Cada 7 días	Dependiente (discreta)	

3.4. Evaluación estadística

3.4.1. Diseño Experimental

3.4.1.1. Unidades experimentales

Cada unidad experimental estuvo conformada por una colmena de *Apis mellifera* de la línea “Mama Oclo”, las cuales presentaron condiciones iniciales homogéneas en cuanto a peso, número de marcos poblados y de cría.

Diseño de tratamientos

Se emplearon cuatro tratamientos: un grupo control sin suplementación y tres grupos experimentales, cada uno alimentado con un suplemento proteico distinto (NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas de la empresa Polinizaciones S.A.C.).

Distribución de tratamientos

La asignación de tratamientos a las colmenas se realizó de manera aleatoria, garantizando que cada unidad experimental recibió únicamente el tratamiento asignado durante todo el periodo experimental.

3.4.1.2. Análisis estadísticos

Prueba de normalidad

Se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk para evaluar el cumplimiento del supuesto de normalidad de las variables evaluadas.

Análisis de varianza

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos en las variables evaluadas (peso de colmena, número de marcos poblados y número de marcos con cría), siempre

que los datos cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Debido a que cada tratamiento contó con una sola unidad experimental, no se dispone de replicación independiente. En consecuencia, los análisis estadísticos realizados deben interpretarse con cautela, siendo utilizados principalmente con fines descriptivos y comparativos de tendencias, más que como inferencias generalizables. El uso de mediciones repetidas permitió observar el comportamiento dinámico de las variables a lo largo del tiempo.

3.4.1.3. Análisis de significancia

Pruebas paramétricas

Cuando se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) mediante el análisis de varianza (ANOVA), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar entre qué tratamientos existieron diferencias.

Pruebas no paramétricas

Cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad o el tamaño muestral efectivo fue reducido, se empleó la prueba de Kruskal–Wallis para comparar los tratamientos. En caso de significancia, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste de Holm–Bonferroni, reportándose el estadístico H, valores p ajustados y el tamaño del efecto (r).



CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de la composición nutricional mediante análisis proximal

La **Tabla 1** muestra la composición proximal de los tres suplementos proteicos evaluados. Se observa que PROMEGA y NUC+ PRO SISA presentan contenidos similares de proteína bruta, con valores de 14,68 % y 14,94 %, respectivamente, lo que indica un aporte proteico comparable entre ambos productos. En contraste, la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja no presenta contenido proteico detectable, lo que limita su función como suplemento proteico y sugiere que su aporte nutricional se basa principalmente en carbohidratos.

En cuanto a los carbohidratos, la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) mostró el valor más elevado (83,51 %), superando ampliamente a NUC+ PRO SISA (60,75 %) y PROMEGA (58,76 %), lo que explica también su mayor contenido energético (339,09 kcal/100 g). PROMEGA presentó un contenido energético intermedio (315,57 kcal/100 g), ligeramente superior al de NUC+ PRO SISA (311,54 kcal/100 g).

Respecto a la grasa, PROMEGA registró el valor más alto (2,37 %), mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) presentó el menor (0,53 %). Los contenidos de fibra y cenizas fueron bajos y similares entre los suplementos, lo que indica una baja fracción estructural y mineral, con escasa variabilidad nutricional en estos componentes.

En conjunto, PROMEGA y NUC+ PRO SISA destacan por su aporte proteico, mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) sobresale por su aporte energético basado en carbohidratos.

Tabla 1. Composición proximal de los suplementos proteicos evaluados

Parámetro	Unidad	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja
Humedad	%	20,58	21,47	14,12
Cenizas		2,63	2,48	1,70
Grasa		0,94	2,37	0,53
Proteínas (× 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

4.1.2. Resultados del efecto de los suplementos en el peso de las colmenas

La **Tabla 2** muestra la comparación del peso de las colmenas a lo largo de diez mediciones para los cuatro tratamientos evaluados. El análisis mediante ANOVA de una vía evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 3,10$; $p = 0,0388$), lo que indica que el tipo de pasta proteica influyó en el peso total de las colmenas.

En términos descriptivos, el tratamiento PROMEGA presentó el mayor peso promedio de colmena (44,15 kg), seguido del grupo control (43,78 kg) y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja (43,33 kg). En contraste, el tratamiento NUC+ PRO SISA registró el menor peso promedio (41,05 kg), evidenciando un desempeño inferior respecto a los demás tratamientos.

Durante las mediciones sucesivas se observa una tendencia creciente del peso de las colmenas en todos los tratamientos, especialmente a partir de la sexta medición. No obstante, PROMEGA mantuvo consistentemente valores superiores, alcanzando los valores máximos de peso en las mediciones finales (hasta 47,98 kg), mientras que NUC+ PRO SISA mostró los valores más bajos en la mayoría de los registros.

Estos resultados sugieren que PROMEGA favoreció una mayor acumulación de biomasa y reservas en la colmena, mientras que NUC+ PRO SISA tuvo un efecto más limitado sobre esta variable.

Tabla 2. Comparación de los pesos de las colmenas (kg) según tipo de pasta proteica

Medición	Peso de la colmena (kg)				F	p valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	39.06	38.6	40.38	40.88	3.10	0.0388
2	41.06	37.6	39.9	40.04		
3	45.56	40.28	43.96	42.94		
4	46.1	39.44	44	43.02		
5	45.4	38.88	43.76	42.66		
6	44.8	38.62	44.38	42.78		
7	43.8	40.62	44.76	44.06		
8	42.08	43.6	45.51	46.02		
9	44.02	45.98	46.88	45.02		
10	46.01	46.94	47.98	45.9		
Promedio	43.789	41.056	44.151	43.332		

Nota: calculado usando la prueba de ANOVA de 1 vía.

La Tabla 3 presenta las comparaciones múltiples del peso de la colmena mediante la prueba de Tukey. Ninguna de las comparaciones entre pares de tratamientos mostró intervalos de confianza que excluyeran el valor cero, lo que indica que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos específicos, a pesar de que el ANOVA global fue significativo.

No obstante, se observó una tendencia a menores pesos en colmenas suplementadas con NUC+ PRO SISA en comparación con PROMEGA y la torta proteica, lo que coincide con los valores promedio observados, aunque sin alcanzar significancia estadística en el análisis post hoc.

Tabla 3. Comparaciones múltiples del peso de la colmena según tipo de pasta

Peso de la colmena (kg)		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	Contrast	-2.733001		
	Int.Coef	-5.923897/-0.4578946		
PROMEGA	Contrast	0.2619995	2.995001	
	Int.Coef	-2.928896/3.452895	.1958951/6.185897	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja	Contrast	0.343	3.076001	0.0810005
	Int.Coef	-2.847896/3.533896	.1148946/6.266897	-3.109895/3.271896

Nota: Contrast: diferencia de medias. Int.Coef: Intervalo de Confianza de Tukey. Elaborado usando la prueba de Tukey.

4.1.3. Resultados del efecto de los suplementos sobre el número en los marcos poblados

La **Tabla 4** muestra el comportamiento del número de marcos poblados según el tipo de suplementación proteica. La prueba de Kruskal–Wallis evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 9,40$; $p = 0,0244$), lo que indica que al menos uno de los grupos evaluados presenta un comportamiento diferente en el desarrollo poblacional de *Apis mellifera*.

El tratamiento PROMEGA presentó el mayor promedio de marcos poblados (18,11 marcos), destacándose sobre los demás tratamientos. NUC + PRO SISA mostró un valor intermedio (16,89 marcos), seguido del grupo control (16,22 marcos), mientras que la Torta Proteica registró el menor promedio (15,00 marcos).

Estos resultados sugieren que la suplementación con PROMEGA tuvo un efecto más favorable en la ocupación de marcos, evidenciando una mayor eficiencia en el fortalecimiento poblacional de las colonias evaluadas.

Tabla 4. Comparación de los números de marcos poblados según tipo de pasta proteica

Medición	Marco poblado				χ^2	P valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	-	-	-	-	9.40	0.0244
2	8	7	6	5		
3	9	17	17	9		
4	17	15	19	16		
5	19	19	21	18		
6	19	19	19	17		
7	18	19	20	18		
8	18	19	21	18		
9	19	18	20	17		
10	19	19	20	17		
Promedio	16.22	16.89	18.11	15.00		

Nota: calculado usando la prueba de Kruskal-Wallis.

La **Tabla 5** muestra la prueba de Dunn, se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre algunos tratamientos. PROMEGA presentó un número significativamente mayor de marcos poblados en comparación con el grupo control ($p = 0,0425$) y con la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja ($p = 0,0011$). Estas diferencias evidencian un mejor efecto de PROMEGA sobre la fuerza poblacional de las colmenas.

Las comparaciones entre NUC+ PRO SISA y los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas, lo que indica un efecto intermedio y menos marcado en esta variable.

Tabla 5. Comparaciones múltiples del número de marcos poblados según tipo de pasta

Marco poblado		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	p valor	0.0187		
PROMEGA		0.0425	0.0646	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		0.091	0.0418	0.0011

Nota: Elaborado usando el test de Dunn.

4.1.4. Resultados del efecto de los suplementos sobre el número crías

La **Tabla 6** muestra el comportamiento del número de marcos con crías, variable directamente asociada al desarrollo reproductivo de la colonia. La prueba de Kruskal–Wallis evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 20,27$; $p < 0,001$).

El tratamiento PROMEGA presentó el mayor promedio de marcos con crías (9,11 marcos), destacándose claramente sobre los demás tratamientos. NUC+ PRO SISA mostró un valor intermedio (7,33 marcos), mientras que el grupo control (6,56 marcos) y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja (6,33 marcos) registraron los valores más bajos.

Este resultado indica que PROMEGA favoreció significativamente la actividad reproductiva y el desarrollo de cría, siendo el tratamiento con mejor desempeño biológico en esta variable.

Tabla 6. Comparación de los números de marcos con crías según tipo de pasta proteica

Medición	Marco con crías				χ^2	p valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	-	-	-	-	20.27	p<0.001
2	7	7	7	6		
3	6	6	8	4		
4	7	7	9	7		
5	6	8	9	6		
6	6	7	10	6		
7	6	7	9	6		
8	7	8	10	7		
9	7	8	10	7		
10	7	8	10	8		
Promedio	6.56	7.33	9.11	6.33		

Nota: calculado usando la prueba de Kruskal-Wallis.

La **Tabla 7** muestra la prueba de Dunn aplicada al número de marcos con crías mostró diferencias estadísticamente significativas entre varios tratamientos. PROMEGA presentó valores significativamente superiores al grupo control ($p < 0,001$) y a la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja ($p = 0,0001$), confirmando su mayor efecto sobre el desarrollo reproductivo de la colonia.

Asimismo, NUC+ PRO SISA mostró diferencias significativas frente al control ($p = 0,0447$), aunque con un efecto menor en comparación con PROMEGA. La Torta Proteica (Pasta Alimenticia) no mostró ventajas claras frente al control, evidenciando un efecto limitado sobre la producción de cría.

Tabla 7. Comparaciones múltiples del número de marcos con crías según tipo de pasta

Marco con crías		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	p valor	0.0447		
PROMEGA		p<0.001	0.0124	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		0.4491	0.0481	0.0001

Nota: Elaborado usando el test de Dunn

4.2. Discusión

Los hallazgos del presente estudio muestran que la suplementación con pastas proteicas genera respuestas diferenciadas en el desempeño de las colmenas de *Apis mellifera*, expresadas en variables asociadas al desarrollo poblacional de las colonias como el peso de la colmena, el número de marcos poblados y el número de marcos con crías. En conjunto, los resultados sugieren que no basta con suministrar “una pasta” para esperar un efecto uniforme, sino que la calidad nutricional real, la composición nutricional de los suplementos y las condiciones ambientales pueden influir en el impacto final de la suplementación.

En la comparación del peso de la colmena (kg), el ANOVA de una vía evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($F = 3,10$; $p = 0,0388$), lo que indica que el tipo de pasta proteica se asoció con variaciones en el peso total de las colmenas. Descriptivamente, el tratamiento PROMEGA registró el mayor promedio (44,151 kg), seguido del control (43,789 kg) y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja (43,332 kg), mientras que NUC+ PRO SISA presentó el promedio más bajo (41,056 kg). Esto es relevante porque el peso de la colmena no solo refleja biomasa de abejas adultas, sino también reservas energéticas (miel/néctar almacenado), polen almacenado,

cría, cera y humedad. Por ello, es una medida “integral” que puede aumentar por diferentes vías.

Una observación importante para la interpretación es que, aunque el ANOVA global fue significativo, la comparación post hoc de Tukey (según el intervalo de confianza) no siempre identifica con claridad todos los pares responsables de esa diferencia global, especialmente cuando el tamaño muestral es limitado y la prueba de Tukey actúa de manera conservadora. Este patrón (significancia global, pero sin separaciones nítidas en todas las comparaciones por pares) es común en estudios con n pequeño y variabilidad intra-grupo moderada. En términos prácticos, la evidencia sugiere que existe un efecto general del tratamiento sobre el peso, pero que dicho efecto podría estar distribuido en varias diferencias pequeñas acumulativas o en pocos contrastes con magnitud moderada.

Al comparar estos resultados con la literatura, es útil considerar que algunos estudios reportan beneficios claros en variables productivas con suplementos proteicos, mientras otros describen efectos neutros o dependientes del contexto. Peirson et al. evaluaron suplementación proteica y manejo sanitario en condiciones comerciales por dos años y encontraron que los beneficios no fueron consistentes en todos los sitios y que, en ciertos contextos, la suplementación podría mejorar la cría en etapas tempranas pero no necesariamente traducirse en ventajas prolongadas; incluso, en algunos escenarios, la suplementación se vinculó con riesgos de mortalidad y reducción del tamaño colonial más adelante, subrayando la importancia del contexto y de la oferta natural de forraje.

(26) Esto ayuda a explicar por qué, en tu estudio, un tratamiento como PROMEGA puede mostrar un mejor comportamiento promedio, mientras que otros no generan una diferencia marcada frente al control.

De manera similar, Ríos Granados evaluó varios suplementos (incluyendo ingredientes con alto valor proteico) y concluyó que, aunque el consumo y la viabilidad técnica pueden ser adecuados, no siempre se evidencia una influencia directa sobre el aumento de población o peso, y que al final el “mejor suplemento” puede definirse por un equilibrio entre aceptación, valor nutritivo y costo-beneficio. (47) Esto es clave: el hecho de que un suplemento tenga “etiqueta” o se denomine proteico no garantiza el incremento del peso si no se consume adecuadamente, si no se aprovecha metabólicamente o si el ambiente ya provee proteína suficiente mediante polen.

Una explicación biológica plausible para el mejor desempeño de PROMEGA en peso es que su formulación haya favorecido una mejor utilización de los nutrientes disponibles por parte de la colonia, mayor retención de alimento o mejor conversión de nutrientes hacia la producción de biomasa y almacenamiento. Sin embargo, el peso también puede subir si hay mayor almacenamiento de néctar/miel o si la colonia incrementa su población adulta. Por eso es importante interpretar el peso junto con las variables poblacionales (marcos poblados y cría). En tu estudio, PROMEGA también destaca en marcos poblados y marcos con cría, lo cual refuerza la coherencia biológica: si crece la población y la actividad de cría, se puede esperar un aumento del peso total por mayor biomasa y mayor demanda energética que se traduce en mayor recolección y acumulación.

La variable marco poblado es un indicador directo de la fuerza poblacional adulta de la colonia. La prueba de Kruskal–Wallis mostró diferencias significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 9,40$; $p = 0,0244$). Descriptivamente, PROMEGA alcanzó el mayor promedio (18,11), seguido por NUC+ PRO SISA (16,89) y control (16,22), mientras la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja mostró el menor promedio (15,00). La magnitud de estas diferencias resulta importante desde el punto de vista del manejo apícola: en condiciones de producción o de preparación para floraciones/polinización, una colonia

con mayor población adulta suele tener ventaja en recolección, termorregulación y capacidad de sostener la cría.

La literatura respalda que los sustitutos de polen y suplementos proteicos pueden aumentar población adulta cuando existe limitación de recursos naturales. DeGrandi-Hoffman et al. reportaron que ciertos sustitutos en forma “patty” pueden consumirse a tasas comparables a tortas de polen y que existe relación positiva entre la cantidad consumida y el incremento de área de cría y población adulta; sin embargo, también observaron que algunas dietas (dependiendo del producto) son menos consumidas y se asocian con menor producción de cría. (48) Esto encaja con tu resultado: PROMEGA podría representar una formulación nutricional más adecuada para sostener el crecimiento poblacional, mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) (aun si energética) podría no cubrir aminoácidos esenciales o no ser tan adecuada para sostener crecimiento adulto.

Asimismo, Hernández Hernández et al. evaluaron formulaciones proteicas alternativas en estación lluviosa y hallaron que ciertas dietas sobresalieron en postura y cría abierta, mientras el control (jarabe) se asoció con mayor cría sellada y consumo. (44) Este tipo de hallazgos enfatiza que el suplemento no necesariamente “gana” en todas las variables; puede mejorar cría abierta pero no cría sellada, o favorecer peso, pero no consumo. En tu investigación, la significancia en marcos poblados sugiere que, al menos para esta variable, el tratamiento sí marca diferencia; y el mejor desempeño de PROMEGA es coherente con el planteamiento de que dietas proteicas adecuadas (sobre todo cuando mejoran cría y nutrición de nodrizas) tienden a aumentar fuerza poblacional.

Un matiz importante: tu diseño incluye un grupo control que también mostró valores relativamente altos (16,22), cercanos al NUC+ PRO SISA (16,89). Esta cercanía puede

interpretarse desde dos perspectivas: (1) la oferta natural de polen/néctar pudo ser suficiente para sostener colonias fuertes, reduciendo el “margen” de mejora de la suplementación; o (2) los suplementos, aunque útiles, no superaron consistentemente el desempeño basal, lo cual coincide con la revisión de Noordyke y Ellis, quienes señalan que la eficacia de sustitutos de polen es variable: pueden ser positivos, neutros o incluso negativos dependiendo de composición, disponibilidad de polen natural y manejo. (49)

La Torta Proteica (Pasta Alimenticia) presentó el menor promedio de marcos poblados. Esto puede sugerir que su aporte nutricional fue menos apto para sostener fuerza poblacional adulta. Una explicación coherente con tu Tabla de composición proximal es que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) presentó muy alto contenido de carbohidratos (83,51%) y energía, pero proteína nula en el análisis proximal reportado. En términos biológicos, los carbohidratos pueden sostener actividad energética (vuelo, termorregulación) pero no reemplazan la necesidad de proteína y aminoácidos para mantener fisiología de nodrizas, glándulas hipofaríngeas y producción de jalea para la cría. En consecuencia, una dieta con alta energía, pero sin proteína podría no impulsar el crecimiento poblacional y, en algunos casos, asociarse con estancamiento o menor expansión. Este hallazgo resalta la importancia de verificar experimentalmente la composición nutricional de los suplementos comerciales antes de recomendar su uso en programas de alimentación apícola.

La variable marco con crías resultó altamente significativa ($\chi^2 = 20,27$; $p < 0,001$), siendo el contraste estadístico más fuerte del estudio. Descriptivamente, PROMEGA alcanzó el promedio más alto (9,11), seguido por NUC+ PRO SISA (7,33), mientras control (6,56) y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) (6,33) mostraron valores menores. La diferencia aquí no solo es estadística; es biológicamente muy relevante, porque la cría refleja la capacidad de renovación y crecimiento poblacional de la colonia.

En la evidencia internacional, Ahmad et al. reportaron que dietas proteicas suplementarias balanceadas, especialmente ciertas formulaciones con mezcla de ingredientes (soya, levadura, leche, polen, azúcar, vitaminas), se asociaron con mayor área de cría operculada, mayor fuerza poblacional y mayor producción de miel en comparación con el control alimentado con jarabe. (9) Este patrón es altamente concordante con tus resultados, donde PROMEGA (posiblemente con formulación más equilibrada) muestra un desempeño superior en cría.

Además, Zheng et al. demostraron que los niveles de proteína dietaria influyen en crecimiento poblacional y fisiología, sugiriendo un rango óptimo que maximiza producción de obreras; dietas con niveles adecuados mejoran desarrollo de glándulas hipofaríngeas, actividad enzimática y supervivencia, con impacto directo en capacidad de alimentar la cría. (11) Bajo este marco, PROMEGA podría estar proporcionando nutrientes de manera más eficiente para el mantenimiento de nodrizas eficientes, mayor postura sostenida y mayor supervivencia de la cría.

DeGrandi-Hoffman et al. también hallaron que ciertos sustitutos pueden producir significativamente más cría que la torta de polen u otras dietas, pero que el efecto depende del producto y del consumo real. (48) Esto apoya la idea central: no todos los suplementos son equivalentes, y la cría es una variable sensible para revelar diferencias de calidad nutricional.

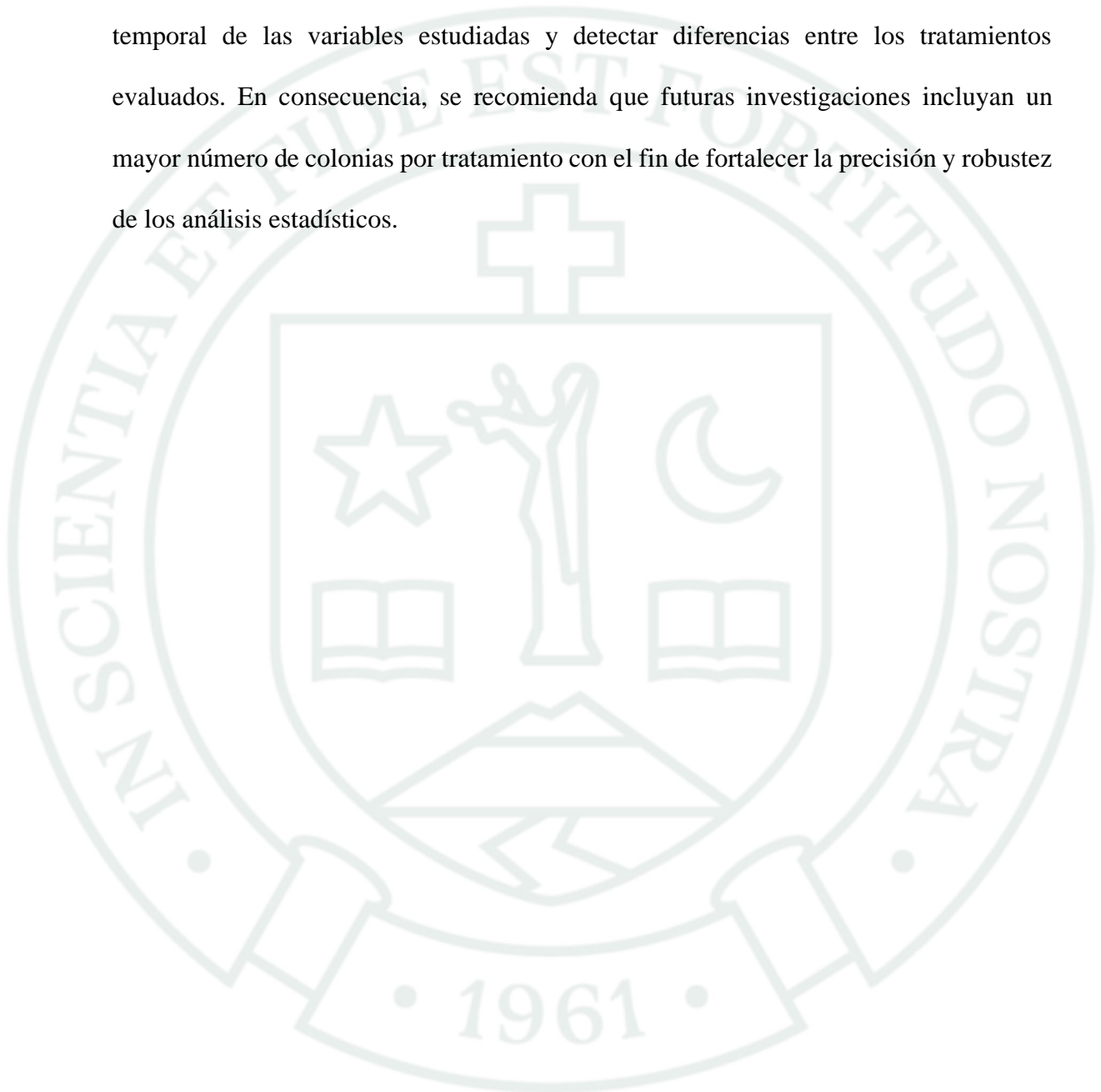
Por otro lado, el desempeño bajo de la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) en cría es consistente con su composición reportada (proteína nula). La cría requiere proteína para su desarrollo y para mantener la producción de jalea real; sin proteína suficiente, el sistema nodriza se limita y la colonia puede reducir la postura o canibalizar cría para mantener balance nutricional. Este fenómeno explicaría por qué la torta, pese a su energía

alta, no incrementa cría. De manera aplicada, esto coincide con la experiencia descrita por León Ceras, quien resalta que el rendimiento apícola en época lluviosa depende del consumo, granulometría y características físicas del insumo, y que suplementos más “aceptables” y adecuados pueden mejorar recolección y rendimiento; sin embargo, la utilidad está ligada a la calidad del recurso, no solo al aporte energético (45).

En síntesis, tu estudio aporta evidencia práctica de que, entre las pastas evaluadas, PROMEGA mostró el desempeño más favorable en variables poblacionales y de cría, y también se asoció con los mayores promedios de peso. NUC+ PRO SISA tuvo un comportamiento intermedio o menor, y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja, pese a su alto aporte energético por carbohidratos, no impulsó variables reproductivas, lo cual sugiere limitación por falta de proteína efectiva. Este patrón es coherente con la literatura que sostiene que suplementos proteicos balanceados pueden mejorar cría y población durante escasez, pero que la eficacia es altamente dependiente de la formulación y del contexto (7,9,11,26,48,49). Asimismo, coincide con trabajos regionales que demuestran que dietas específicas pueden superar a otras en variables clave, y que los beneficios no siempre se expresan en todas las variables por igual (44–46,50).

Finalmente, estos hallazgos permiten una recomendación técnica: en escenarios donde se busca fortalecer colmenas (incrementar cría y población), la elección del suplemento debe priorizar una adecuada composición nutricional y contenido proteico, más que únicamente el aporte energético. Además, se recomienda evaluar consumo real y condiciones ambientales para decidir cuándo suplementar, concordando con las recomendaciones de los estudios revisados (7,26,49).

Una de las principales limitaciones del presente estudio fue el reducido número de unidades experimentales por tratamiento, lo que restringe la capacidad de generalizar los resultados a otras condiciones de producción apícola. Sin embargo, el seguimiento periódico de las colonias mediante mediciones repetidas permitió evaluar la evolución temporal de las variables estudiadas y detectar diferencias entre los tratamientos evaluados. En consecuencia, se recomienda que futuras investigaciones incluyan un mayor número de colonias por tratamiento con el fin de fortalecer la precisión y robustez de los análisis estadísticos.





CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

General: El suplemento proteico **PROMEGA** presentó el mejor desempeño en el desarrollo de las colonias de *Apis mellifera*, evidenciando incrementos superiores y consistentes en las variables productivas evaluadas, como el **peso de la colmena, número de marcos poblados y número de marcos con cría**, en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados indican que dicho suplemento favorece de manera más eficiente el fortalecimiento y crecimiento poblacional de las colonias durante el periodo experimental.

Primera: En relación con la composición nutricional de los suplementos evaluados, se observaron diferencias en el contenido proteico entre los tratamientos, destacando **PROMEGA y NUC+ PRO SISA** por presentar mayor concentración de proteína. Este mayor aporte nutricional podría estar asociado a una mejor disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo fisiológico de *Apis mellifera*, especialmente en etapas de crecimiento y actividad reproductiva.

Segunda: El tipo de suplemento proteico influyó de manera significativa en el **peso de las colmenas**, siendo **PROMEGA** el tratamiento que obtuvo los valores más elevados durante el periodo de evaluación. Este comportamiento sugiere una mayor acumulación de biomasa y un mejor estado nutricional general de las colonias suplementadas con este tratamiento en comparación con los demás grupos experimentales.

Tercera: El suplemento **PROMEGA** mostró un efecto positivo sobre el **número de marcos poblados**, evidenciando una mayor expansión de la población dentro de las colmenas. Este incremento refleja una mejor adaptación de las colonias y una mayor eficiencia en la utilización del suplemento para sostener el crecimiento poblacional de las obreras.

Cuarta: Las colonias suplementadas con **PROMEGA** presentaron un mayor número de **marcos con cría**, lo que indica una mayor actividad reproductiva de la reina y un fortalecimiento del ciclo biológico de la colonia. Este resultado sugiere que el suplemento favorece condiciones nutricionales adecuadas para el desarrollo de la cría, contribuyendo a la continuidad y estabilidad de la colonia en el tiempo.





CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los apicultores y asociaciones apícolas de la región Arequipa implementar programas de suplementación proteica durante periodos de escasez de polen, priorizando el uso de suplementos con adecuado valor nutricional y buena aceptación por parte de las abejas, como **PROMEGA**, debido a su efecto favorable sobre el peso de la colmena, el número de marcos poblados y el número de marcos de cría.
2. Se recomienda al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI), al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y a la Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa fortalecer programas de capacitación dirigidos a productores apícolas sobre nutrición y suplementación proteica, enfatizando la importancia de la composición nutricional y del adecuado aporte de proteínas en los suplementos empleados en *Apis mellifera*.
3. Se recomienda a instituciones de investigación y universidades, como la Universidad Católica de Santa María, desarrollar estudios complementarios sobre consumo, palatabilidad y eficiencia biológica de suplementos proteicos comerciales, incorporando análisis más detallados del perfil de aminoácidos esenciales, digestibilidad proteica y contenido de micronutrientes.
4. Se recomienda al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) y a las empresas dedicadas a la formulación de suplementos apícolas fortalecer los controles de calidad y evaluación nutricional de los productos comercializados, de garantizar suplementos seguros, balanceados y acordes con los requerimientos nutricionales de las colonias de *Apis mellifera*.

5. Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el periodo experimental y el tamaño muestral, considerando diferentes estaciones del año y diversas condiciones agroecológicas, con la finalidad de evaluar la persistencia de los efectos de la suplementación proteica sobre el desarrollo poblacional y productivo de las colonias.





CAPITULO VII

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carpenter MH, Harpur BA. Genetic past, present, and future of the honey bee (*Apis mellifera*) in the United States of America. *Apidologie*. 2021 Feb 25;52(1):63–79.
2. Ilyasov RA, Lee M Iyeol, Takahashi J ichi, Kwon HW, Nikolenko AG. A revision of subspecies structure of western honey bee *Apis mellifera*. *Saudi J Biol Sci*. 2020 Dec;27(12):3615–21.
3. Quinlan GM, Grozinger CM. Honey bee nutritional ecology: From physiology to landscapes. In: *Advances in Insect Physiology*. 2023. p. 289–345.
4. Al Toufalia H, Evison SEF, Hughes WOH, Ratnieks FLW. Both hygienic and non-hygienic honeybee, *Apis mellifera*, colonies remove dead and diseased larvae from open brood cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018 Jul 19;373(1751):20170201.
5. Nouvian M, Reinhard J, Giurfa M. The defensive response of the honeybee *Apis mellifera*. *Journal of Experimental Biology*. 2016 Nov 15;219(22):3505–17.
6. Hoover SE, Ovinge LP, Kearns JD. Consumption of Supplemental Spring Protein Feeds by Western Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies: Effects on Colony Growth and Pollination Potential. *J Econ Entomol*. 2022 Apr 13;115(2):417–29.
7. Peirson M, Ibrahim A, Ovinge LP, Hoover SE, Guarna MM, Melathopoulos A, et al. 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*. 2024 Mar 15;19(3):e0288953.

8. Ahmad S, Khan KA, Khan SA, Ghramh HA, Gul A. Comparative assessment of various supplementary diets on commercial honey bee (*Apis mellifera*) health and colony performance. *PLoS One*. 2021 Oct 11;16(10):e0258430.
9. Ansaloni LS, Kristl J, Domingues CEC, Gregorc A. An Overview of the Nutritional Requirements of Honey Bees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758). *Insects*. 2025 Jan 18;16(1).
10. Zheng B, Wu Z, Xu B. The Effects of Dietary Protein Levels on the Population Growth, Performance, and Physiology of Honey Bee Workers During Early Spring. *Journal of Insect Science*. 2014 Jan 1;14(1).
11. Kim H, Frunze O, Lee JH, Kwon HW. Enhancing Honey Bee Health: Evaluating Pollen Substitute Diets in Field and Cage Experiments. *Insects*. 2024 May 16;15(5):361.
12. Paray BA, Kumari I, Hajam YA, Sharma B, Kumar R, Albeshr MF, et al. Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi J Biol Sci*. 2021 Jan;28(1):1167–76.
13. García-Vicente EJ, Martín M, Rey-Casero I, Pérez A, Martín J, García A, et al. Effects of feeding with a protein liquid supplement on productivity, mortality and health of *Apis mellifera* hives in southwestern Spain. *Res Vet Sci*. 2024 Mar; 169:105173.
14. DeGrandi-Hoffman G, Wardell G, Ahumada-Segura F, Rinderer T, Danka R, Pettis J. Comparisons of pollen substitute diets for honey bees: consumption rates by colonies and effects on brood and adult populations. *Journal of Apicultural Research and Bee World*. 2008;47(4):265–70.

15. Brown AF, Wiedmer S, Retschnig G, Neumann P. Feeding with plant powders increases longevity and body weight of Western honeybee workers (*Apis mellifera*). *Apidologie*. 2024 Aug 16;55(4):54.
16. Kim H, Maigoro AY, Lee JH, Frunze O, Kwon HW. The Improving Effects of Probiotic-Added Pollen Substitute Diets on the Gut Microbiota and Individual Health of Honey Bee (*Apis mellifera* L.). *Microorganisms*. 2024 Jul 31;12(8).
17. Feng M, Fang Y, Li J. Proteomic analysis of honeybee worker (*Apis mellifera*) hypopharyngeal gland development. *BMC Genomics*. 2009 Dec 31;10(1):645.
18. Ahmad S, Khan SA, Khan KA, Li J. Novel Insight Into the Development and Function of Hypopharyngeal Glands in Honey Bees. *Front Physiol*. 2021 Jan 22;11.
19. DeGrandi-Hoffman G, Chen Y, Huang E, Huang MH. The effect of diet on protein concentration, hypopharyngeal gland development and virus load in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *J Insect Physiol*. 2010 Sep;56(9):1184–91.
20. Musila J, Pridal A. Seasonal Changes in Hemolymph Protein Level and Hypopharyngeal Gland Size Depending on Age and In-Nest Location of Honeybee Workers. *Animals*. 2024 Feb 4;14(3):512.
21. Ghramh HA, Khan KA. Honey Bees Prefer Pollen Substitutes Rich in Protein Content Located at Short Distance from the Apiary. *Animals*. 2023 Feb 28;13(5):885.
22. Ansaloni LS, Kristl J, Domingues CEC, Gregorc A. An Overview of the Nutritional Requirements of Honey Bees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758). *Insects*. 2025 Jan 18;16(1):97.

23. DeGrandi-Hoffman G, Chen Y, Huang E, Huang MH. The effect of diet on protein concentration, hypopharyngeal gland development and virus load in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *J Insect Physiol.* 2010 Sep;56(9):1184–91.
24. Hendriksma HP, Pachow CD, Nieh JC. Effects of essential amino acid supplementation to promote honey bee gland and muscle development in cages and colonies. *J Insect Physiol.* 2019 Aug; 117:103906.
25. García-Vicente EJ, Martín M, Rey-Casero I, Pérez A, Martín J, García A, et al. Effects of feeding with a protein liquid supplement on productivity, mortality and health of *Apis mellifera* hives in southwestern Spain. *Res Vet Sci.* 2024 Mar; 169:105173.
26. Peirson M, Ibrahim A, Ovinge LP, Hoover SE, Guarna MM, Melathopoulos A, et al. 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.* 2024 Mar 15;19(3): e0288953.
27. Lamontagne-Drolet M, Samson-Robert O, Giovenazzo P, Fournier V. The Impacts of Two Protein Supplements on Commercial Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Colonies. *J Apic Res.* 2019 Oct 20;58(5):800–13.
28. Glavinic U, Stankovic B, Draskovic V, Stevanovic J, Petrovic T, Lakic N, et al. Dietary amino acid and vitamin complex protects honey bee from immunosuppression caused by *Nosema ceranae*. *PLoS One.* 2017 Nov 8;12(11): e0187726.
29. El-Din HS, Radawan H, Ghramh HA, Al Naggar Y. A novel Fish Protein Hydrolysate supplement enhances honey bee foraging activity and colony strength: A pilot study. *PLoS One.* 2025 May 14;20(5): e0323423.

30. Stephen KW, Chau KD, Rehan SM. Dietary foundations for pollinators: nutritional profiling of plants for bee health. *Front Sustain Food Syst.* 2024 Jun 26;8.
31. Rzetecka N, Matuszewska E, Plewa S, Matysiak J, Klupczynska-Gabryszak A. Bee products as valuable nutritional ingredients: Determination of broad free amino acid profiles in bee pollen, royal jelly, and propolis. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2024 Feb; 126:105860.
32. Falcão SI, Bocquet M, Chlebo R, Barreira JCM, Giacomelli A, Smodiš Škerl MI, et al. Composition and Quality of Honey Bee Feed: The Methodology and Monitoring of Candy Boards. *Animals.* 2024 Oct 1;14(19):2836.
33. Paray BA, Kumari I, Hajam YA, Sharma B, Kumar R, Albeshr MF, et al. Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi J Biol Sci.* 2021 Jan;28(1):1167–76.
34. de Sousa RT, Darnell R, Wright GA. Behavioural regulation of mineral salt intake in honeybees: a self-selection approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2022 Jun 20;377(1853).
35. Amera WA, Mersso BT, Sisay TA, Arega AB, Alene AT. Effect of various supplements on productive performance of honey bees, in the south Wollo Zone, Ethiopia. *PLoS One.* 2024 May 29;19(5):e0303579.
36. Ullah A, Shahzad MF, Iqbal J, Baloch MS. Nutritional effects of supplementary diets on brood development, biological activities and honey production of *Apis mellifera* L. *Saudi J Biol Sci.* 2021 Dec;28(12):6861–8.
37. Guezen JM, Forrest JRK. Seasonality of floral resources in relation to bee activity in agroecosystems. *Ecol Evol.* 2021 Apr 28;11(7):3130–47.

38. Harris C, Balfour NJ, Ratnieks FLW. Seasonal variation in the general availability of floral resources for pollinators in northwest Europe: A review of the data. *Biol Conserv.* 2024 Oct; 298:110774.
39. Groeneveld J, Odemer R, Requier F. Brood indicators are an early warning signal of honey bee colony loss—a simulation-based study. *PLoS One.* 2024 May 16;19(5): e0302907.
40. Capela N, Dupont YL, Rortais A, Sarmiento A, Papanikolaou A, Topping CJ, et al. High accuracy monitoring of honey bee colony development by a quantitative method. *J Apic Res.* 2023 Aug 8;62(4):741–50.
41. Delaplane KS, van der Steen J, Guzman-Novoa E. Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *J Apic Res.* 2013 Jan 29;52(1).
42. Chabert S, Requier F, Chadoeuf J, Guilbaud L, Morison N, Vaissière BE. Rapid measurement of the adult worker population size in honey bees. *Ecol Indic.* 2021 Mar; 122:107313.
43. Hernández R, González F, Arias J. Alimentación alternativa de abejas (*Apis mellifera* L.) usando suplementos proteicos durante la estación lluviosa, en el municipio de Cojutepeque, El Salvador, 2019 [Internet]. Tesis de Titulación. Univ. De El Salvador; 2022 [cited 2025 Aug 7]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/a78abb43-6535-45a6-87d6-26f71ba91bc7/content>
44. León F. Efecto de la suplementación proteica en la cantidad de polen acopiado por *Apis mellifera* en época lluviosa en el distrito de El Mantaro - Jauja. Tesis de Titulación. Univ. Nacional Del Centro Del Perú; 2008.

45. Cala M. Investigación de dos dietas proteicas para desarrollo de núcleos y colmenas de abejas (*Apis mellífera*) en Hato Santander año 2021 [Internet]. Tesis de Titulación. Universidad Industrial de Santander; 2021 [cited 2025 Aug 7]. Available from: <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/a1538cb4-7a86-48cc-8464-271bce316454/content>
46. Rios Granados JA. Estudio comparativo de suplementos proteicos en la nutrición de abejas “*Apis mellifera* L.” [Internet]. [México]: Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México; 1988 [cited 2025 Aug 7]. Available from: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/179379>
47. Noordyke ER, Ellis JD. Reviewing the Efficacy of Pollen Substitutes as a Management Tool for Improving the Health and Productivity of Western Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies. *Front Sustain Food Syst.* 2021 Nov 10;5.
48. Rodríguez A, Gadea L, Hernández Landeros JA, Hernández AM. Evaluation of three food supplements in the production of *Apis mellifera* in the Agricultural Potrerillos - Jinotega. *Universitas (León).* 2015 Dec 1;6(2):1–8.



ANEXOS

Anexo 1.

Carta de aceptación de asesor

CARTA DE ACEPTACIÓN DE ASESORÍA

PLAN Y BORRADOR DE TESIS PARA TITULACIÓN EN LA PRIMERA ESPECIALIDAD DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

La que suscribe deja constancia expresa, la aceptación de asesor del plan y borrador de tesis, ante la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa - Perú.

TITULO DEL PLAN DE TESIS:

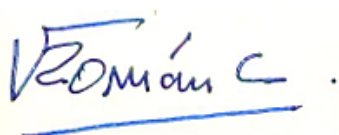
“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL DESEMPEÑO POLINIZADOR DE *APIS MELLIFERA* EN EL FUNDO AGROINCA LA JOYA - AREQUIPA, 2025”

PRESENTADO POR:

Millones Abarca, Valeria Belén

Igualmente deja constancia de su aceptación para supervisar el desarrollo del trabajo

Arequipa, 25 de agosto del 2025

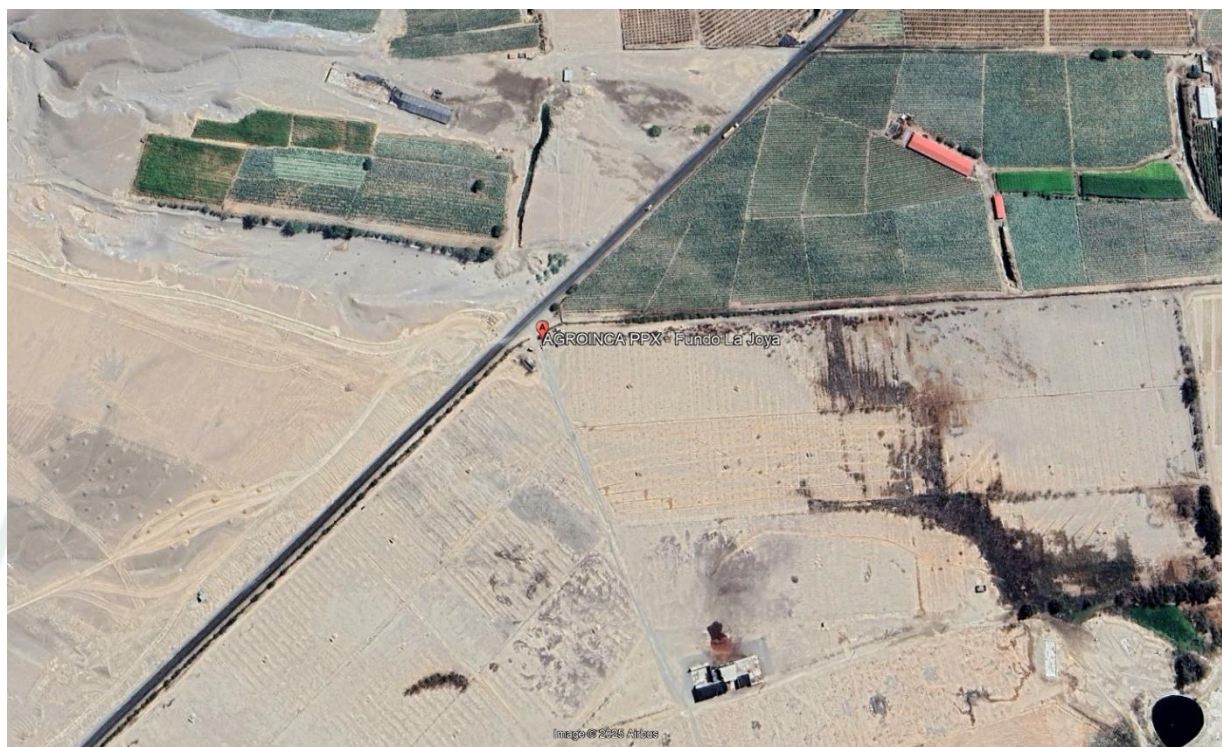


Dra. MVZ Verónica Román Coyla

Cod. 3129

Anexo 2.

Mapas o croquis de ubicación



Coordenadas del Fundo Agroinca- La Joya, Arequipa.

Latitud: 16°30'42.98"S

Longitud: 71°51'54.04"O

Anexo 3.

Matriz de base de datos

- **Nombre de la investigación:** Evaluación de tres suplementos proteicos en el desempeño polinizador "*Apis mellifera*" en el Fundo *Agroinca La Joya Arequipa 2025*.
- **Lugar:** Fundo Agroinca - La Joya Arequipa -Perú
- **Nombre de la Tesista:** Valeria Belén Millones Abarca
- **Fecha:**

Fecha	Grupo Control (001)			Suplemento protéico 1 NUC+ PRO SISA (Beep products) (047)			Suplemento protéico 2 PROMEGA (Beep products) (094)			Suplemento protéico 3 Torta Proteica para abejas (Pasta Alimenticia) (Polinizaciones SAC) (S.N)			Edad de la reina: Natural
	Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			
	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

Anexo 4.

Carta de Aprobación de uso de productos (Beep Products S.A.C.)

BEEP PRODUCTS S.A.C.

RUC: 20558001209

Dirección: Variante de Uchumayo km. 2. Sachaca, Arequipa, Perú, Arequipa, Peru

Teléfono: 986 854 387

Arequipa, 15 de agosto del 2025

CARTA DE APROBACIÓN DE USO DE PRODUCTOS

A quien corresponda:

Por medio de la presente, la empresa **Beep Products S.A.C.** otorga su aprobación para el uso de los suplementos proteicos **NUC+ PRO SISA** y **PROMEGA**, en el marco de la realización de la tesis titulada:

“Evaluación del efecto de tres suplementos proteicos en el desempeño polinizador de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca La Joya - Arequipa, 2025”, elaborada por la señorita **Valeria Belén Millones Abarca**, como parte de los requisitos académicos para la obtención de su título profesional.

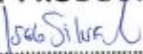
Nuestra empresa autoriza el uso de los productos mencionados exclusivamente con fines de investigación científica y académica, en el contexto del estudio antes señalado, comprometiéndonos a brindar la información técnica necesaria para su correcta utilización.

Reafirmamos nuestro compromiso con el desarrollo de la apicultura nacional y la promoción de investigaciones que contribuyan al avance del conocimiento en el sector.

Sin otro particular, quedamos atentos ante cualquier consulta adicional.

Atentamente,

BEE PRODUCTS S.A.C.


.....
Isela N. Silva Andia
Gerente General

Isela N. Silva Andia

Representante Legal / Gerente General

Beep Products S.A.C.

Anexo 5.

Carta de Aprobación de uso de productos (POLINIZACIONES SAC)

POLINIZACIONES SAC.

RUC: 20610717226

Dirección:

Teléfono:

Arequipa, 15 de agosto del 2025

CARTA DE APROBACIÓN DE USO DE PRODUCTOS

A quien corresponda:

Por medio de la presente, la empresa **POLINIZACIONES SAC** otorga su aprobación para el uso de los suplementos proteicos **Torta Proteica para abejas**, en el marco de la realización de la tesis titulada:

“Evaluación del efecto de tres suplementos proteicos en el desempeño polinizador de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca La Joya - Arequipa, 2025”, elaborada por la señorita **Valeria Belén Millones Abarca**, como parte de los requisitos académicos para la obtención de su título profesional.

Nuestra empresa autoriza el uso de los productos mencionados exclusivamente con fines de investigación científica y académica, en el contexto del estudio antes señalado, comprometiéndonos a brindar la información técnica necesaria para su correcta utilización.

Reafirmamos nuestro compromiso con el desarrollo de la apicultura nacional y la promoción de investigaciones que contribuyan al avance del conocimiento en el sector.

Sin otro particular, quedamos atentos ante cualquier consulta adicional.

Atentamente,

James Oporto Vargas

Representante Legal / Gerente General

POLINIZACIONES SAC.

Firma y sello

POLINIZACIONES S.A.C.
ASEGURA UNA BUENA COSECHA

Ing. James Oporto Vargas
GERENTE

Anexo 6.

Reporte de laboratorio sobre el procesamiento de las pastas proteicas



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE:	26635-26
CLIENTE:	VALERIA BELEN MILLONES ABARCA.
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO	PASTA PROTEICA PARA ABEJAS.
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCION:	Lunes, 15 de diciembre de 2025.
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES:	BOLSA DE PLASTICO SELLADA
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Viernes, 09 de enero de 2026.
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA:	PROCISA EMPRESA BEEP PRODUCTS.
TITULO DE TESIS:	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL DESEMPEÑO POLINIZADOR DE APIS MELLIFERA EN EL FUNDO AGROINCA LA JOYA - AREQUIPA, 2025.
CÓDIGO DE MUESTRA:	33207

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 26635-26

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Humedad	%	20,58	Método 205.027 Norma Técnica Nacional
Cenizas	%	2,63	Método 2.173 de la AOAC
Grasa	%	0,94	Método 209.093 Norma Técnica Nacional
Proteínas (X 6,25)	%	14,94	Método 2.057 de la AOAC
Fibra	%	0,16	Método 209.074 Norma Técnica Nacional
Carbohidratos	%	60,75	Método 31.043 de la AOAC
Energía	Kcal/100g	311,54	Por Cálculo
OBSERVACIONES:			

Emitido en Arequipa, 09 de enero del 2026.

Página 2 e 2


Dra. Miriam Yllana-Maria Millaña Corrojo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259




Lic. Químico Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 26636-26

CLIENTE: VALERIA BELEN MILLONES ABARCA.

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO PASTA PROTEICA PARA ABEJAS.

CANTIDAD DE MUESTRA 01

FECHA DE RECEPCION: Lunes, 15 de diciembre de 2025.

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA DE PLASTICO SELLADA

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Viernes, 09 de enero de 2026.

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA: **PRO OMEGA - EMPRESA BEEP PRODUCTS .**

TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL DESEMPEÑO POLINIZADOR DE APIS MELLIFERA EN EL FUNDO AGROINCA LA JOYA - AREQUIPA, 2025.

CÓDIGO DE MUESTRA: 33208

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 26636-26

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Humedad	%	21,47	Método 205.027 Norma Técnica Nacional
Cenizas	%	2,48	Método 2.173 de la AOAC
Grasa	%	2,37	Método 209.093 Norma Técnica Nacional
Proteínas (X 6,25)	%	14,68	Método 2.057 de la AOAC
Fibra	%	0,24	Método 209.074 Norma Técnica Nacional
Carbohidratos	%	58,76	Método 31.043 de la AOAC
Energía	Kcal/100g	315,57	Por Cálculo
OBSERVACIONES:			

Emitido en Arequipa, 09 de enero del 2026.

Página 2 e 2



Miriam Vilva María Málaga Cornejo
Dra. Miriam Vilva María Málaga Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259




Lic. Químico Fredy Agustín Valderrama Pardo
Lic. Químico Fredy Agustín Valderrama Pardo
Químico Responsable
RCQP - 892

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 26637-26

CLIENTE: VALERIA BELEN MILLONES ABARCA.

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO TORTA PROTEICA PARA ABEJAS.

CANTIDAD DE MUESTRA 01

FECHA DE RECEPCION: Lunes, 15 de diciembre de 2025.

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Viernes, 09 de enero de 2026.

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA: **EMPRESA POLINIZACIONES SAC.**

TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES SUPLEMENTOS PROTEICOS EN EL DESEMPEÑO POLINIZADOR DE APIS MELLIFERA EN EL FUNDO AGROINCA LA JOYA - AREQUIPA, 2025.

CÓDIGO DE MUESTRA: 33209

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 26637-26

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Humedad	%	14,12	Método 205.027 Norma Técnica Nacional
Cenizas	%	1,70	Método 2.173 de la AOAC
Grasa	%	0,53	Método 209.093 Norma Técnica Nacional
Proteínas (X 6,25)	%	0,00	Método 2.057 de la AOAC
Fibra	%	0,14	Método 209.074 Norma Técnica Nacional
Carbohidratos	%	83,51	Método 31.043 de la AOAC
Energía	Kcal/100g	339,09	Por Cálculo
OBSERVACIONES:			

Emitido en Arequipa, 09 de enero del 2026.

Página 2 e 2



Dra. Miriam Vilma Merja Malaga Corrallo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259




Ltc. Quito Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Anexo 7.

Análisis de normalidad de los datos

La normalidad de los datos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro–Wilk, considerando como criterio de decisión un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Valores de $p > 0,05$ indican que los datos no se apartan significativamente de una distribución normal, mientras que valores de $p \leq 0,05$ evidencian ausencia de normalidad.

Peso de la colmena (kg)

Para la variable peso de la colmena, los resultados de la prueba de Shapiro–Wilk mostraron que todos los grupos (control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja) presentaron valores de $p > 0,05$ (0,150; 0,230; 0,284 y 0,348, respectivamente). Esto indica que los datos del peso de la colmena cumplen el supuesto de normalidad en cada uno de los tratamientos evaluados. En consecuencia, esta variable es adecuada para el análisis mediante pruebas paramétricas, como el ANOVA de una vía, para la comparación entre grupos.

Variable	Muestra	Obs	W	V	z	Prob>z
Peso de la colmena (kg)	Control	10	0.88538	1.766	1.035	0.15036
	NUC+ PRO SISA	10	0.90189	1.512	0.739	0.2298
	PROMEGA	10	0.91041	1.381	0.572	0.28383
	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja	10	0.91887	1.25	0.392	0.3476

Marcos poblados

En la variable marco poblado, todos los tratamientos presentaron valores de $p \leq 0,05$, con p-valores que oscilaron entre 0,00001 y 0,00868, lo que evidencia una desviación significativa de la normalidad en los datos. Este resultado indica que la distribución del número de marcos poblados no es normal en ninguno de los grupos, lo cual puede atribuirse a la naturaleza discreta de la variable y a la concentración de valores en rangos específicos. En este caso, es

estadísticamente apropiado emplear pruebas no paramétricas, como la prueba de Kruskal-Wallis, para comparar los tratamientos.

Variable	Muestra	Obs	W	V	z	Prob>z
Marco poblado	Control	9	0.61669	5.632	3.615	0.00015
	NUC+ PRO SISA	9	0.50451	7.28	4.337	0.00001
	PROMEGA	9	0.76764	3.414	2.379	0.00868
	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja	9	0.64087	5.276	3.442	0.00029

Marcos con crías

Para la variable marco con crías, los valores de p obtenidos fueron mayores a 0,05 en todos los grupos (control, NUC+ PRO SISA, PROMEGA y Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja), con p-valores de 0,993; 0,190; 0,190 y 0,690, respectivamente. Estos resultados indican que los datos no presentan evidencia estadística de no normalidad, cumpliendo formalmente el supuesto de normalidad. No obstante, al tratarse de una variable de tipo discreta (conteo de marcos) y con un tamaño muestral reducido (n = 9 por grupo), se justifica el uso de pruebas no paramétricas por un criterio conservador y metodológicamente más robusto.

Variable	Muestra	Obs	W	V	z	Prob>z
Marco con crías	Control	9	0.98812	0.175	-2.46	0.99296
	NUC+ PRO SISA	9	0.88794	1.646	0.878	0.19001
	PROMEGA	9	0.88794	1.646	0.878	0.19001
	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja	9	0.94997	0.735	-0.5	0.68977

Anexo 8.

Evidencia fotográfica

MATERIALES



Fotografía 1: Balanza marca Alexander Mobba



Fotografía 2: Pastas proteica

Evaluación de tres suplementos proteicos en el desempeño polinizador "APIS MALIFERAS" en el Fundo Agroinca La Joya Arequipa 2025.



Lugar: Fundo Agroinca - La Joya Arequipa -Peru
 Nombre de la Tesista: Valeria Belen Millones Abarca
 Fecha:

Fecha	Grupo Control (001)			Suplemento protéico 1 NUC+ PRO SISA (Beep products) (047)			Suplemento protéico 2 PROMEGA (Beep products) (094)			Suplemento protéico 3 Torta Proteica para abejas (Polinizaciones SAC) (S.N)			Edad de la reina: Natural 07/2025
	Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			Peso inicial sin abeja reina:			
	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	Peso (kg)	Marco poblado	Marco con crías	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

Figura 3: Registro

IMPLEMENTOS DE CAMPO



Figura 4: Colmena



Figura 4: Protector



Figura 3: Ahumador



Figura 4: Palanca

FOTOGRAFÍAS DE CAMPO



Fotografía 3: Colmenas seleccionadas para el estudio. 001 (grupo control sin suplementación), 047 (“Pro Sisa”, Beep Products), 094 (“Pro Omega”, Beep Products) y S.N (“Torta proteica” (Pasta Alimenticia), Polinizaciones SAC). Agosto 2025.



Fotografía 4: Grupo de reinas evaluadas. Genética P-4 (07/25) y Reinas naturales (07/25) para la evaluación del estudio. Agosto 2025.



Fotografía 5: Observación de marcos poblado y crías. correspondientes a las colmenas evaluadas. Agosto 2025.



Fotografía 6: Colmena compuesta, por marcos poblados y marcos con cría. Agosto 2025.



Fotografía 7: Peso de la Colmena del grupo Control, con en ausencia de abeja reina y sin aplicación de suplemento proteico. Agosto 2025.



Fotografía 8: Peso de la colmena 047 (Suplemento proteico 1: Pro Sisa – Beep Products). En ausencia de abeja reina y sin aplicación del suplemento proteico. Agosto 2025.



Fotografía 9: Peso de la colmena 094 (Suplemento proteico 2: Pro Omega – Beep Products)
En ausencia de abeja reina y sin aplicación del suplemento proteico. Agosto 2025.



Fotografía 10: Peso de la colmena S.N. (Suplemento proteico 3: Torta Proteica (Pasta Alimenticia), Polinizaciones SAC) En ausencia de abeja reina y sin aplicación del suplemento proteico. Agosto 2025.



Fotografía 11: Preparación del suplemento proteico para su aplicación en 3 colmenas evaluadas de manera individual. Setiembre 2025.



Fotografía 12: Colocación del suplemento proteico directamente en las colmenas, conforme al tratamiento asignado en el estudio. Setiembre 2025.



Fotografía 13: Observación del suplemento proteico dentro de las colmenas para su consumo por las abejas, según el tratamiento establecido. Setiembre 2025.



Fotografía 14: Uso de equipo de protección apícola durante las actividades de manejo y evaluación de las colmenas en el desarrollo del estudio. Setiembre 2025.



Fotografía 15: Peso de la Colmena del grupo Control, con abeja reina G - 4 y sin aplicación de suplemento proteico. Setiembre 2025.



Fotografía 16: Peso de la colmena 047 (Suplemento proteico 1: Pro Sisa – Beep Products). Con presencia de abeja reina Natural y aplicación del suplemento proteico. Setiembre 2025.



Fotografía 17: Peso de la colmena 094 G - 4 (Suplemento proteico 2: Pro Omega – Beep Products)

Con presencia de abeja reina Natural y aplicación del suplemento proteico. Setiembre 2025.



Fotografía 18: Peso de la colmena S.N. (Suplemento proteico 3: Torta Proteica (Pasta Alimenticia), Polinizaciones SAC) con presencia de abeja reina Natural y con aplicación del suplemento proteico. Setiembre 2025.

Anexo 8.

Borrador de artículo científico

1. TÍTULO

Evaluación del efecto de tres suplementos proteicos en el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en Arequipa, Perú, 2025

Evaluation of the effect of three protein supplements on the development of *Apis mellifera* colonies in Arequipa, Peru, 2025

2. AUTORES

Valeria Belén Millones Abarca¹

Verónica Marianella Román Coyla²

3. AFILIACIÓN

¹ Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú

² Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú

4. CORRESPONDENCIA:

Valeria Belén Millones Abarca

Email: valeria.millones@estudiante.ucsm.edu.pe

5. RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de tres suplementos proteicos sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en el Fundo Agroinca, Arequipa, durante el año 2025. Se desarrolló un ensayo experimental de campo con cuatro tratamientos (NUC+ PRO SISA, PROMEGA, Torta Proteica (Pasta Alimenticia) y control), aplicados a colmenas con mediciones repetidas de peso (kg), número de marcos poblados y número de marcos con

cría. Paralelamente, se realizó un análisis proximal de los suplementos para determinar su composición nutricional. Los resultados evidenciaron diferencias en la composición, destacando PROMEGA y NUC+ PRO SISA con mayor contenido proteico ($\approx 14\text{--}15\%$), mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) presentó predominio de carbohidratos y energía y no presentó proteína detectable en el análisis proximal. En campo, se observaron diferencias significativas en el peso de las colmenas (ANOVA, $p < 0,05$), siendo PROMEGA el tratamiento con mayor promedio. Asimismo, el número de marcos poblados mostró diferencias significativas (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$), y el número de marcos con cría presentó diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), destacando nuevamente PROMEGA. Se concluye que el suplemento PROMEGA favorece el desarrollo poblacional y reproductivo de las colonias bajo condiciones locales.

Palabras clave: *Apis mellifera*, suplementos proteicos, apicultura.

6. ABSTRACT

This study evaluated the effect of three protein supplements on the development of *Apis mellifera* colonies at Agroinca Farm, Arequipa, during 2025. A field experimental design was conducted with four treatments (NUC+ PRO SISA, PROMEGA, protein Patty (Food Paste), and control), measuring colony weight, number of occupied frames, and brood frames. A proximate analysis of supplements was also performed. Results showed differences in composition, with PROMEGA and NUC+ PRO SISA presenting higher crude protein ($\approx 14\text{--}15\%$), while the PROTEIN PATTY exhibited a predominance of carbohydrates and energy contribution since it did not present detectable protein in the proximal analysis. Field results revealed significant differences in colony weight (ANOVA, $p < 0.05$), with PROMEGA showing the highest values. Similarly, occupied frames differed significantly (Kruskal–Wallis, $p < 0.05$), and brood frames showed highly significant

differences ($p < 0.001$), again favoring PROMEGA. It is concluded that PROMEGA enhances colony population and reproductive performance under local conditions.

Keywords: *Apis mellifera*, protein supplements, apiculture.

- INTRODUCCIÓN

La abeja *Apis mellifera* constituye uno de los principales agentes polinizadores a nivel mundial, desempeñando un rol esencial en la sostenibilidad de los ecosistemas y en la productividad agrícola. Se estima que una proporción significativa de cultivos de importancia económica depende, en distinta medida, de la polinización entomófila, siendo las abejas responsables de mejorar tanto el rendimiento como la calidad de los productos agrícolas (1,2). En este contexto, el adecuado desarrollo poblacional de las colonias es un factor determinante para garantizar la eficiencia del servicio de polinización.

Sin embargo, el crecimiento y la estabilidad de las colonias de *Apis mellifera* están estrechamente condicionados por la disponibilidad y calidad de recursos florales, especialmente del polen, principal fuente de proteínas, lípidos y micronutrientes necesarios para el desarrollo larval y la actividad fisiológica de las abejas adultas (3,4). En regiones con marcada estacionalidad climática, como el sur del Perú, la oferta floral presenta variaciones significativas a lo largo del año, generando periodos de escasez nutricional que afectan negativamente el desarrollo poblacional, la producción de cría y la capacidad polinizadora de las colonias (5).

Ante esta problemática, la suplementación proteica ha sido ampliamente estudiada como una estrategia para mitigar los efectos de la deficiencia nutricional en las colmenas. Diversos estudios han demostrado que la administración de suplementos proteicos puede favorecer el incremento del área de cría, el número de abejas adultas y la productividad general de las colonias, especialmente en condiciones de déficit de polen (6–8). No obstante, la efectividad de estos suplementos depende de factores como su composición

nutricional, digestibilidad, balance de aminoácidos esenciales y grado de aceptación por parte de las abejas, lo que genera variabilidad en los resultados reportados (7,9).

En el estado actual del conocimiento, se reconoce que no todos los suplementos comerciales presentan el mismo impacto sobre el desarrollo de las colonias, incluso bajo condiciones similares de manejo. Investigaciones recientes han evidenciado que dietas con adecuado contenido proteico y mejor palatabilidad tienden a generar mayores incrementos en parámetros productivos, mientras que formulaciones con bajo valor nutricional o limitada aceptación presentan efectos reducidos o nulos (7,9,10). Asimismo, se ha señalado que la respuesta a la suplementación puede variar según el contexto ambiental, la disponibilidad de recursos naturales y las características propias de cada región (6,11).

A pesar de los avances en este campo, existe una limitada evidencia experimental en condiciones locales del sur del Perú, particularmente en la región de Arequipa, donde las condiciones agroecológicas y la dinámica floral difieren de otros escenarios estudiados. Esta falta de información dificulta la toma de decisiones basada en evidencia por parte de los apicultores, especialmente en lo referente a la selección de suplementos proteicos eficientes y económicamente viables.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres suplementos proteicos comerciales sobre el desarrollo de colonias de *Apis mellifera* en condiciones de campo en el Fundo Agroinca, Arequipa, durante el año 2025, contribuyendo a generar evidencia científica aplicable al manejo apícola en contextos locales.

- **MATERIALES Y MÉTODOS**

Diseño del estudio

Se realizó un estudio experimental de campo con diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y evaluaciones repetidas en el tiempo. Los tratamientos consistieron en la

administración de tres suplementos proteicos comerciales y un grupo control sin suplementación.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el Fundo Agroinca, ubicado en el distrito de La Joya, región Arequipa, Perú, durante el año 2025. La zona se caracteriza por condiciones agroecológicas de clima árido, con variabilidad estacional en la disponibilidad de recursos florales.

Unidades experimentales y tratamientos

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por colmenas de *Apis mellifera* manejadas bajo condiciones homogéneas. Se establecieron cuatro grupos experimentales:

- T0: Control (sin suplementación)
- T1: Suplemento NUC+ PRO SISA
- T2: Suplemento PROMEGA
- T3: Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abejas

Cada tratamiento fue aplicado de manera uniforme según el manejo apícola estándar, asegurando condiciones similares de ambiente, sanidad y disponibilidad de recursos.

VARIABLES DE ESTUDIO

Se evaluaron las siguientes variables productivas:

- Peso de la colmena (kg), como indicador del crecimiento y acumulación de biomasa.
- Número de marcos poblados, como medida del desarrollo poblacional.
- Número de marcos con cría, como indicador de la actividad reproductiva de la colonia.

Las mediciones se realizaron de forma periódica mediante técnicas de evaluación de campo estandarizadas para estimar la fuerza de colonias.

Análisis proximal de suplementos

Los suplementos proteicos fueron sometidos a análisis proximal para determinar su composición nutricional, incluyendo contenido de proteína bruta, materia seca y valor energético, siguiendo métodos convencionales de análisis de alimentos.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística inferencial utilizando software estadístico.

La normalidad de las variables se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk.

Para la variable peso de la colmena se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y, cuando se detectaron diferencias significativas, la prueba de comparación múltiple de Tukey. Para las variables número de marcos poblados y número de marcos con cría se empleó la prueba de Kruskal–Wallis y, en caso de significancia, la prueba de Dunn con ajuste de Holm–Bonferroni. En todos los análisis se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$.

- RESULTADOS

Resultados de la composición nutricional mediante análisis proximal

La **Tabla 1** muestra la composición proximal de los tres suplementos proteicos evaluados. Se observa que PROMEGA y NUC+ PRO SISA presentan contenidos similares de proteína bruta, con valores de 14,68 % y 14,94 %, respectivamente, lo que indica un aporte proteico comparable entre ambos productos. En contraste, la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja no presenta contenido proteico detectable, lo que limita su función como suplemento proteico y sugiere que su aporte nutricional se basa principalmente en carbohidratos.

En cuanto a los carbohidratos, la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) mostró el valor más elevado (83,51 %), superando ampliamente a NUC+ PRO SISA (60,75 %) y PROMEGA (58,76 %), lo que explica también su mayor contenido energético (339,09 kcal/100 g).

PROMEGA presentó un contenido energético intermedio (315,57 kcal/100 g), ligeramente superior al de NUC+ PRO SISA (311,54 kcal/100 g).

Respecto a la grasa, PROMEGA registró el valor más alto (2,37 %), mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) presentó el menor (0,53 %). Los contenidos de fibra y cenizas fueron bajos y similares entre los suplementos, lo que indica una baja fracción estructural y mineral, con escasa variabilidad nutricional en estos componentes.

En conjunto, PROMEGA y NUC+ PRO SISA destacan por su aporte proteico, mientras que la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) sobresale por su aporte energético basado en carbohidratos.

Tabla 8. Composición proximal de los suplementos proteicos evaluados

Parámetro	Unidad	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja
Humedad	%	20,58	21,47	14,12
Cenizas		2,63	2,48	1,70
Grasa		0,94	2,37	0,53
Proteínas (× 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

Resultados del efecto de los suplementos en el peso de las colmenas

La **Tabla 2** muestra la comparación del peso de las colmenas a lo largo de diez mediciones para los cuatro tratamientos evaluados. El análisis mediante ANOVA de una vía evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 3,10$; $p = 0,0388$), lo que indica que el tipo de pasta proteica influyó en el peso total de las colmenas.

En términos descriptivos, el tratamiento PROMEGA presentó el mayor peso promedio de colmena (44,15 kg), seguido del grupo control (43,78 kg) y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja (43,33 kg). En contraste, el tratamiento NUC+ PRO SISA registró

el menor peso promedio (41,05 kg), evidenciando un desempeño inferior respecto a los demás tratamientos.

Durante las mediciones sucesivas se observa una tendencia creciente del peso de las colmenas en todos los tratamientos, especialmente a partir de la sexta medición. No obstante, PROMEGA mantuvo consistentemente valores superiores, alcanzando los valores máximos de peso en las mediciones finales (hasta 47,98 kg), mientras que NUC+ PRO SISA mostró los valores más bajos en la mayoría de los registros.

Estos resultados sugieren que PROMEGA favoreció una mayor acumulación de biomasa y reservas en la colmena, mientras que NUC+ PRO SISA tuvo un efecto más limitado sobre esta variable.

Tabla 9. Comparación de los pesos de las colmenas (kg) según tipo de pasta proteica

Medición	Peso de la colmena (kg)				F	p valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	39.06	38.6	40.38	40.88	3.10	0.0388
2	41.06	37.6	39.9	40.04		
3	45.56	40.28	43.96	42.94		
4	46.1	39.44	44	43.02		
5	45.4	38.88	43.76	42.66		
6	44.8	38.62	44.38	42.78		
7	43.8	40.62	44.76	44.06		
8	42.08	43.6	45.51	46.02		
9	44.02	45.98	46.88	45.02		
10	46.01	46.94	47.98	45.9		
Promedio	43.789	41.056	44.151	43.332		

Nota: calculado usando la prueba de ANOVA de 1 vía.

La **Tabla 3** presenta las comparaciones múltiples del peso de la colmena mediante la prueba de Tukey. Ninguna de las comparaciones entre pares de tratamientos mostró intervalos de confianza que excluyeran el valor cero, lo que indica que no se detectaron diferencias

estadísticamente significativas entre tratamientos específicos, a pesar de que el ANOVA global fue significativo.

No obstante, se observó una tendencia a menores pesos en colmenas suplementadas con NUC+ PRO SISA en comparación con PROMEGA y la torta proteica, lo que coincide con los valores promedio observados, aunque sin alcanzar significancia estadística en el análisis post hoc.

Tabla 10. Comparaciones múltiples del peso de la colmena según tipo de pasta

Peso de la colmena (kg)		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	Contrast	-2.73		
	Int.Coef	-5.92/-0.46		
PROMEGA	Contrast	0.2619995	2.99	
	Int.Coef	-2.93/3.45	.19/ 6.18	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja	Contrast	0.343	3.076001	0.08
	Int.Coef	-2.85/3.53	.11/6.27	-3.11/3.27

Nota: Contrast: diferencia de medias. Int.Coef: Intervalo de Confianza de Tukey. Elaborado usando la prueba de Tukey

Resultados del efecto de los suplementos sobre el número en los marcos poblados

La **Tabla 4** muestra el comportamiento del número de marcos poblados según el tipo de suplementación proteica. La prueba de Kruskal–Wallis evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 9,40$; $p = 0,0244$), lo que indica que al menos uno de los grupos evaluados presenta un comportamiento diferente en el desarrollo poblacional de *Apis mellifera*.

El tratamiento PROMEGA presentó el mayor promedio de marcos poblados (18,11 marcos), destacándose sobre los demás tratamientos. NUC + PRO SISA mostró un valor intermedio (16,89 marcos), seguido del grupo control (16,22 marcos), mientras que la Torta Proteica registró el menor promedio (15,00 marcos).

Estos resultados sugieren que la suplementación con PROMEGA tuvo un efecto más favorable en la ocupación de marcos, evidenciando una mayor eficiencia en el fortalecimiento poblacional de las colonias evaluadas.

Tabla 11. Comparación de los números de marcos poblados según tipo de pasta proteica

Medición	Marco poblado				χ^2	p valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	-	-	-	-	9.40	0.0244
2	8	7	6	5		
3	9	17	17	9		
4	17	15	19	16		
5	19	19	21	18		
6	19	19	19	17		
7	18	19	20	18		
8	18	19	21	18		
9	19	18	20	17		
10	19	19	20	17		
Promedio	16.22	16.89	18.11	15.00		

Nota: calculado usando la prueba de Kruskal-Wallis.

La **Tabla 5** muestra la prueba de Dunn, se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre algunos tratamientos. PROMEGA presentó un número significativamente mayor de marcos poblados en comparación con el grupo control ($p = 0,0425$) y con la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja ($p = 0,0011$). Estas diferencias evidencian un mejor efecto de PROMEGA sobre la fuerza poblacional de las colmenas.

Las comparaciones entre NUC+ PRO SISA y los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas, lo que indica un efecto intermedio y menos marcado en esta variable.

Tabla 12. Comparaciones múltiples del número de marcos poblados según tipo de pasta

Marco poblado		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	p valor	0.0187		
PROMEGA		0.0425	0.0646	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		0.091	0.0418	0.0011

Nota: Elaborado usando el test de Dunn.

Resultados del efecto de los suplementos sobre el número crías

La **Tabla 6** muestra el comportamiento del número de marcos con crías, variable directamente asociada al desarrollo reproductivo de la colonia. La prueba de Kruskal–Wallis evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 20,27$; $p < 0,001$).

El tratamiento PROMEGA presentó el mayor promedio de marcos con crías (9,11 marcos), destacándose claramente sobre los demás tratamientos. NUC+ PRO SISA mostró un valor intermedio (7,33 marcos), mientras que el grupo control (6,56 marcos) y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja (6,33 marcos) registraron los valores más bajos.

Este resultado indica que PROMEGA favoreció significativamente la actividad reproductiva y el desarrollo de cría, siendo el tratamiento con mejor desempeño biológico en esta variable.

Tabla 13. Comparación de los números de marcos con crías según tipo de pasta proteica

Medición	Marco con crías				χ^2	p valor
	Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA	Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		
1	-	-	-	-	20.27	p<0.001
2	7	7	7	6		
3	6	6	8	4		

4	7	7	9	7		
5	6	8	9	6		
6	6	7	10	6		
7	6	7	9	6		
8	7	8	10	7		
9	7	8	10	7		
10	7	8	10	8		
Promedio	6.56	7.33	9.11	6.33		

Nota: calculado usando la prueba de Kruskal-Wallis.

La **Tabla 7** muestra la prueba de Dunn aplicada al número de marcos con crías mostró diferencias estadísticamente significativas entre varios tratamientos. PROMEGA presentó valores significativamente superiores al grupo control ($p < 0,001$) y a la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja ($p = 0,0001$), confirmando su mayor efecto sobre el desarrollo reproductivo de la colonia.

Asimismo, NUC+ PRO SISA mostró diferencias significativas frente al control ($p = 0,0447$), aunque con un efecto menor en comparación con PROMEGA. La Torta Proteica (Pasta Alimenticia) no mostró ventajas claras frente al control, evidenciando un efecto limitado sobre la producción de cría.

Tabla 14. Comparaciones múltiples del número de marcos con crías según tipo de pasta

Marco con crías		Control	NUC+ PRO SISA	PROMEGA
NUC+ PRO SISA	p valor	0.0447		
PROMEGA		$p < 0.001$	0.0124	
Torta Proteica (Pasta Alimenticia) para abeja		0.4491	0.0481	0.0001

Nota: Elaborado usando el test de Dunn

- DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que la suplementación proteica no genera efectos uniformes, sino que su impacto depende de la calidad nutricional, la composición y el contexto ambiental

(6,7). En este estudio, PROMEGA mostró el mejor desempeño global en peso de colmena, marcos poblados y, especialmente, marcos con cría, lo que indica una mayor eficiencia biológica en el desarrollo poblacional y reproductivo.

El peso de la colmena presentó diferencias significativas; sin embargo, la ausencia de diferencias claras en el análisis post hoc sugiere que el efecto del tratamiento es moderado y distribuido, probablemente influenciado por la variabilidad interna y el tamaño muestral. Dado que el peso integra múltiples componentes (biomasa, reservas y cría), su interpretación requiere ser complementada con variables poblacionales, como se realizó en este estudio (6).

En términos de población adulta (marcos poblados), PROMEGA evidenció superioridad, lo que sugiere una mejor conversión nutricional en crecimiento poblacional. Este resultado coincide con la literatura que señala que suplementos con mayor digestibilidad y balance de aminoácidos favorecen la expansión de la colonia, aunque su efecto depende de la disponibilidad de recursos naturales (7,9). La cercanía entre el grupo control y NUC+ PROSISA sugiere que la oferta natural de polen pudo ser suficiente, limitando el efecto diferencial de la suplementación (11).

La variable más sensible fue el número de marcos con cría, donde se observaron diferencias altamente significativas a favor de PROMEGA. Este hallazgo es clave, ya que la cría refleja directamente la capacidad reproductiva y el funcionamiento del sistema nodriza–reina. Su incremento indica una mejor nutrición proteica y una mayor eficiencia en la producción de jalea larval, lo que respalda el papel crítico de la proteína en el desarrollo de la colonia (8,10).

Por el contrario, la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) mostró el menor desempeño en variables poblacionales y de cría, lo que es coherente con su composición proximal

caracterizada por alto contenido de carbohidratos y ausencia de proteína. Esto confirma que el aporte energético por sí solo no es suficiente para sostener el crecimiento de la colonia, ya que la proteína es indispensable para el desarrollo larval y la fisiología de las abejas nodrizas (3,8).

En conjunto, los resultados confirman que no todos los suplementos proteicos son equivalentes y que su efectividad depende de su calidad nutricional real. PROMEGA destaca como el suplemento más eficiente en las condiciones del estudio, mientras que NUC+ PRO SISA presenta un efecto intermedio y la Torta Proteica (Pasta Alimenticia) una utilidad limitada. Estos hallazgos coinciden con la evidencia que señala que la suplementación puede ser beneficiosa, neutra o limitada dependiendo de la formulación y del contexto ambiental (6,7,9,11).

Finalmente, se resalta que la suplementación debe orientarse a mejorar el aporte proteico y no solo energético, y aplicarse estratégicamente en función de la disponibilidad de recursos florales, con el fin de optimizar el desarrollo poblacional y la productividad apícola (6,11).

- AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa Beep Products S.A.C. por el apoyo técnico y logístico brindado durante la ejecución del estudio, así como por facilitar los insumos necesarios para la evaluación de los suplementos proteicos. Asimismo, se reconoce el acompañamiento académico de la asesora de investigación, cuya orientación contribuyó al desarrollo metodológico del trabajo.

El presente estudio fue autofinanciado por los autores, sin intervención de entidades externas en el diseño, ejecución o análisis de los resultados.

- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci.* 2007;274(1608):303–13.
2. Potts SG, Imperatriz-Fonseca V, Ngo HT, Aizen MA, Biesmeijer JC, Breeze TD, et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature.* 2016;540:220–9.
3. Brodschneider R, Crailsheim K. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie.* 2010;41:278–94.
4. Di Pasquale G, Salignon M, Le Conte Y, Belzunces LP, Decourtye A, Kretzschmar A, et al. Influence of pollen nutrition on honey bee health. *PLoS One.* 2013;8(8):e72016.
5. Naug D. Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biol Conserv.* 2009;142:2369–72.
6. Peirson M, et al. Protein supplementation and colony health in honey bees. *J Apic Res.* 2021;60:1–10.
7. Hoover SE, Higo HA, Winston ML. Worker honey bee response to protein supplements. *Apidologie.* 2022;53:45–56.
8. Ahmad S, et al. Effect of protein diets on colony performance of honey bees. *Saudi J Biol Sci.* 2021;28:1–7.
9. DeGrandi-Hoffman G, et al. The effect of protein supplements on colony growth. *J Apic Res.* 2016;55:1–10.
10. Zheng HQ, et al. Effects of dietary protein on honey bee development. *Apidologie.* 2014;45:75–83.
11. Noordyke ER, Ellis JD. Reviewing the efficacy of pollen substitutes. *Bee World.* 2021;98:1–9.