

**Universidad Zamorano**  
**Departamento de Agroindustria**  
**Ingeniería Agroindustria Alimentaria**



Proyecto Especial de Graduación  
**Efecto del suplemento proteico en la producción de jalea real y en el  
comportamiento de colonias de abejas (*Apis mellifera*)**

Estudiante

Alex Jafet Funez Mejia

Asesores

Carolina Valladares, M.Sc.

José Oscar Murillo Vargas, M.Sc.

Honduras, noviembre 2025

**Autoridades**

**KEITH L. ANDREWS**

Rector i.a.

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ADELA ACOSTA MARCHETTI**

Directora del Departamento de Agroindustria

**JULIO NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figura.....	6
Índice de Anexo.....	7
Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos .....	13
Ubicación del Estudio.....	13
Materiales .....	13
Fase 1. Obtención Artificial de Pan de Abeja.....	13
Peso de la Mezcla (Kg) .....	13
Potencial de Hidrógeno (pH) de la Mezcla.....	14
Fase 2. Implementar Alimentación con Pan de Abeja Artificial a Colmenas de Abejas .....	14
Proceso de Adaptación de la Colmena .....	15
Crianza de Reinas (Traslarve) Para Producción de Jalea Real.....	16
Cosecha de Jalea Real .....	16
Producción de Jalea Real (mg/copa).....	16
Pecoreo/abejeo (#Abejas/minuto) .....	17
Consumo de Alimento .....	17
Contenido de Proteína (%).....	17
Diseño Experimental.....	18
Resultados y Discusión.....	19
Fase 1. Obtención Artificial de Pan de Abeja.....	19
Peso de la mezcla (Kg).....	19

	4
Potencial de Hidrogeno (pH) de la Mezcla.....	20
Fase 2. Implementar Alimentación con Pan de Abeja Artificial a Colonias de Abejas.....	22
Pecoreo (#abejas/minuto) .....	22
Consumo de Alimento (%) .....	23
Producción de Jalea Real (mg/copa).....	24
Contenido de Proteína (%).....	25
Conclusiones .....	27
Recomendaciones.....	28
Anexos.....	33

**Índice de Cuadros**

Cuadro 1 Formulación del alimento para colonia de abejas acorde con los tratamientos del estudio	14
Cuadro 2 Resultados de diferencia en peso (Kg) del pan de abeja luego del proceso de fermentación .....	19
Cuadro 3 Resultado de diferencia en pH en mezclas durante el proceso de fermentación. ....	20
Cuadro 4 Resultados del efecto del uso de pan de abeja en el pecoreo de la colmena (#abejas/minuto) .....	22
Cuadro 5 Resultados del consumo de alimento (%) suplementado a colmenas de Apis mellifera.....	23
Cuadro 6 Resultados en la producción de jalea real luego de la alimentación con pan de abeja artificial .....	24
Cuadro 7 Resultados del efecto del uso de pan de abeja en el contenido de proteína (%) en la jalea real .....	25

**Índice de Figura**

Figura 1 Diagrama de flujo para elaboración de alimento .....	15
---	----

**Índice de Anexo**

Anexo A Costo variable de formulación de medio litro de alimento para abejas .....	33
--	----

## Resumen

La jalea real es alimento proteico para abejas y su producción depende de la alimentación que reciben las abejas nodrizas. El suero de la leche de vaca fue incorporado como ingrediente para producción del pan de abeja. Este estudio evaluó el efecto del suero de leche y miel en las propiedades fermentativas de la mezcla para pan artificial de abeja, y determinó el impacto de alimentar con pan artificial de abeja a colonias de abejas. La investigación tuvo dos fases: en la primera, se fermentó mezclas de polen con miel o suero de leche para producir pan de abeja artificial y se evaluó la pérdida de peso y el pH del producto. En la segunda fase, se suministró alimento a colmenas (alimento tradicional, pan de abeja con miel, pan de abeja con suero de leche) evaluando su efecto en el pecoreo de las colonias, consumo de alimento, producción de jalea real y proteína (%) en jalea real. El estudio concluye que, independiente del uso de miel o suero de leche en la mezcla para pan de abeja, se disminuyó el pH y hubo pérdida de peso, posiblemente por un proceso fermentativo que permitió obtener pan de abeja artificial. En colmenas independiente del tipo de alimento se mantuvo la actividad de pecoreo y consumo de alimento, pero hubo incremento de producción jalea real por uso de pan de abeja con miel. El rango de proteína fue considerado óptimo para jalea real fresca y fue independiente del tipo de pan de abeja.

*Palabras clave:* Fermentación, pecoreo, proteína, rendimiento

### **Abstract**

Royal jelly is a protein food for bees, and its production depends on the diet of nurse bees. Cow's milk whey was incorporated as an ingredient in the production of bee bread. This study evaluated the effect of whey and honey on the fermentative properties of the artificial bee bread mixture and determined the impact of feeding artificial bee bread to honeybee colonies. The research consisted of two phases: in the first, pollen mixtures were fermented with honey or whey to produce artificial bee bread, and the weight loss and pH of the product were evaluated. In the second phase, hives were supplied with food (traditional food, bee bread with honey, bee bread with whey), evaluating its effect on colony foraging, feed consumption, royal jelly production, and protein (%) in royal jelly. The study concludes that regardless of the use of honey or whey in the beebread mixture, the pH decreased and weight was lost, possibly due to a fermentation process that led to the production of artificial beebread. In hives, regardless of the type of food, foraging activity and feed consumption were maintained, but royal jelly production increased with the use of beebread with honey. The protein range was considered optimal for fresh royal jelly and was independent of the type of beebread.

*Keywords:* Fermentation, foraging, protein, yield

## Introducción

La apicultura es una actividad económica de creciente importancia por sus beneficios ecológicos y agrícolas a través de la polinización (Perianes Rodríguez et al., 2015). La jalea real es una sustancia gelatinosa secretada por las glándulas hipofaríngeas de las abejas obreras, utilizada para alimentar las larvas jóvenes y a la abeja reina durante toda su vida (Park et al., 2019).

La composición química de la jalea real incluye agua (60-70%), azúcares (7-18%), proteínas (9-18%), lípidos (3-8%), minerales, vitaminas en trazas y un pH ácido entre 3.5 y 4.2 (Kumar et al., 2024). Los azúcares predominantes son fructosa y glucosa, que representan cerca del 90% del total, también contiene vitaminas A, B, C y E, destacando la B5 (ácido pantoténico) (Kumar et al., 2024). En cuanto a los lípidos, se encuentran compuestos como el ácido 10-hidroxi-2-decanoico y el ácido sebáico, vinculados a efectos biológicos beneficiosos (Yu et al., 2023).

Uno de los factores determinante en la producción de jalea real es la dieta de las abejas nodrizas, ya que esta influye directamente en el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas y en la biosíntesis de la sustancia (Peng et al., 2024). En el alimento natural de abejas la principal fuente de proteínas es el polen, cuya calidad y disponibilidad afectan significativamente la fisiología y productividad de las abejas (Alaux et al., 2010). Aunque el polen es la principal fuente proteica para las abejas, ellas no lo consumen directamente, sino que lo transforman en pan de abeja mediante un proceso de fermentación dentro de la colmena (Vaudo et al., 2015). En este sentido, investigaciones han demostrado que la suplementación con polen o pan de abeja (una forma fermentada de polen almacenado que contiene bacterias ácido-lácticas) puede mejorar el desarrollo de las abejas y su capacidad de secretar jalea real (Mao et al., 2013).

El pan de abeja, debido a su fermentación, mejora la estabilidad y el valor nutricional del polen, facilitando su digestión y asimilación por parte de las abejas (Anderson et al., 2011). El pan de abeja destaca por ser más digerible que el polen, debido a su mayor contenido de aminoácidos libres y azúcares fácilmente asimilables (Kieliszek et al., 2018). Según (Tawfik et al., 2023), está mejor absorción de nutrientes favorece el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas en abejas nodrizas, lo

cual es crucial para la producción eficiente de jalea real. A pesar de ello, el uso de este suplemento ha sido poco explorado.

(Kanelis et al., 2024), indican que las condiciones ambientales también juegan un papel clave en la producción de jalea real la cual tiende a disminuir durante el verano, debido a la baja disponibilidad de polen y néctar, lo que reduce la actividad glandular de las abejas obreras. En cierta época del año, las condiciones florales y climáticas son tan adversas que es necesario enfrentar estos desafíos suplementando para proveer una alimentación adecuada a colonias de abejas (Arguello, Cuesta, Melchor, 2009).

El uso de suplementos proteicos se ha posicionado como una estrategia clave para mejorar el rendimiento apícola. Estos permiten incrementar la población de la colmena, estimular la producción de jalea real, preparar las colonias para flujos intensos de néctar, y ayudar en la recuperación tras situaciones de estrés, como exposición a pesticidas o infestaciones por *varroa destructor* (Ivars, 2022).

El suero de leche presenta una alta concentración de aminoácidos esenciales, vitaminas del grupo B, minerales y enzimas, lo que lo convierte en una fuente de proteínas fácilmente asimilables para las abejas (Vrabie et al., 2019). Además, el uso del suero de leche como suplemento proteico en jarabes ha demostrado estimular el crecimiento de colonias de abejas entre un 13-14.5% y aumentar la producción de miel entre un 24.7% (Vrabie et al., 2019).

Esta investigación fue desarrollada en el departamento de Francisco Morazán, municipio de San Antonio de Oriente, y abarcó un solo ciclo productivo, por lo que sus hallazgos podrían tener limitaciones geográficas temporales. En este contexto, optimizar la producción de jalea real mediante dietas suplementarias es una alternativa prometedora y comprender cómo la dieta influye en la cantidad y calidad de jalea real producida por colonias de *Apis mellifera*. Además, se pretende contribuir al cumplimiento del ODS 12: Producción y consumo responsables, al valorizar el suero de leche como subproducto agroindustrial mediante su incorporación en la alimentación apícola, promoviendo así el aprovechamiento eficiente de los recursos.

Por lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

Evaluar el efecto del suero de leche y la miel en el peso y pH del producto al considerarlos como indicadores fermentativos durante la producción de pan de abeja en laboratorio.

Analizar el efecto de pan de abeja artificial en comportamiento de colonias de abejas y su producción de jalea real.

## **Materiales y Métodos**

### **Ubicación del Estudio**

El estudio se realizó en la Universidad Zamorano, ubicada en el valle de Yeguaré, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán a una altura de 800 msnm, con temperatura máxima de 32 °C y mínima de 19 °C. El estudio se dividió en dos fases, la primera fue dentro de las instalaciones de la planta apícola y se desarrolló e implementó una alternativa para procesamiento artificial de pan de abeja. En la fase dos se evaluó el efecto del alimento en comportamiento de colmenas en el apiario de Monte Redondo de esta misma institución.

### **Materiales**

La materia prima utilizada para la fabricación de pan de abeja fue suero de leche dulce proporcionado por la planta de procesamiento de lácteos de la Universidad Zamorano. Tanto el polen como la miel utilizados en la elaboración del pan de abeja fueron cosechados y proporcionados por la planta Apícola de la Universidad Zamorano. Para la preparación del alimento energético para abejas también se utilizó azúcar de mesa, a partir de caña (sacarosa) y de uso comercial.

### **Fase 1. Obtención Artificial de Pan de Abeja**

La producción de pan de abeja inició con el molido del polen para reducir el tamaño de las partículas y facilitar el tamizado para después eliminar impurezas y homogenizar el grano. Luego se preparó una mezcla de polen molido con miel y una segunda mezcla de polen con suero de leche en una proporción de 3:1 para cada mezcla. En recipientes de plástico y por separados se colocó cada mezcla y el recipiente contenía papel encerado en el fondo para evitar pérdidas de producto por adherencia. Inmediatamente se colocó los recipientes dentro de una incubadora a temperatura de 35-38 °C durante un periodo de 7 días, imitando las condiciones naturales e internas de una colmena que es donde ocurre la fermentación de polen para producción de pan de abeja.

### ***Peso de la Mezcla (Kg)***

Se utilizó una balanza RADWAG modelo WTC 2000 para tomar dato de pesos de las mezclas durante el posible proceso de fermentación. Se monitoreó el peso de la mezcla durante los días 1 y 7

de fermentación para evaluar posibles cambios y luego analizar sus causas, así como su relación con el rendimiento.

### **Potencial de Hidrógeno (pH) de la Mezcla**

El avance de la fermentación se relacionó con posibles cambios en el pH de la mezcla, por lo que se tomaron datos de este valor en los días 1 y 7, mientras la muestra permaneció en incubación. Para el análisis, se pesó un gramo de muestra de la mezcla homogenizada, se agregaron 5 ml de agua destilada, y se depositó en un frasco tubular. Luego se agitó hasta lograr una mezcla uniforme. Finalmente, se introdujo el electrodo del potenciómetro marca OHASUS STARTER series ELECTRODE, y se tomó la medición para cada repetición.

### **Fase 2. Implementar Alimentación con Pan de Abeja Artificial a Colmenas de Abejas**

La preparación del alimento se realizó en la planta Apícola de la Universidad Zamorano. Los tres tratamientos del estudio (Cuadro 1) se prepararon con base a una solución energética tradicional en una relación 2:1 (Azúcar: agua).

#### **Cuadro 1**

*Formulación del alimento para colonia de abejas acorde con los tratamientos del estudio*

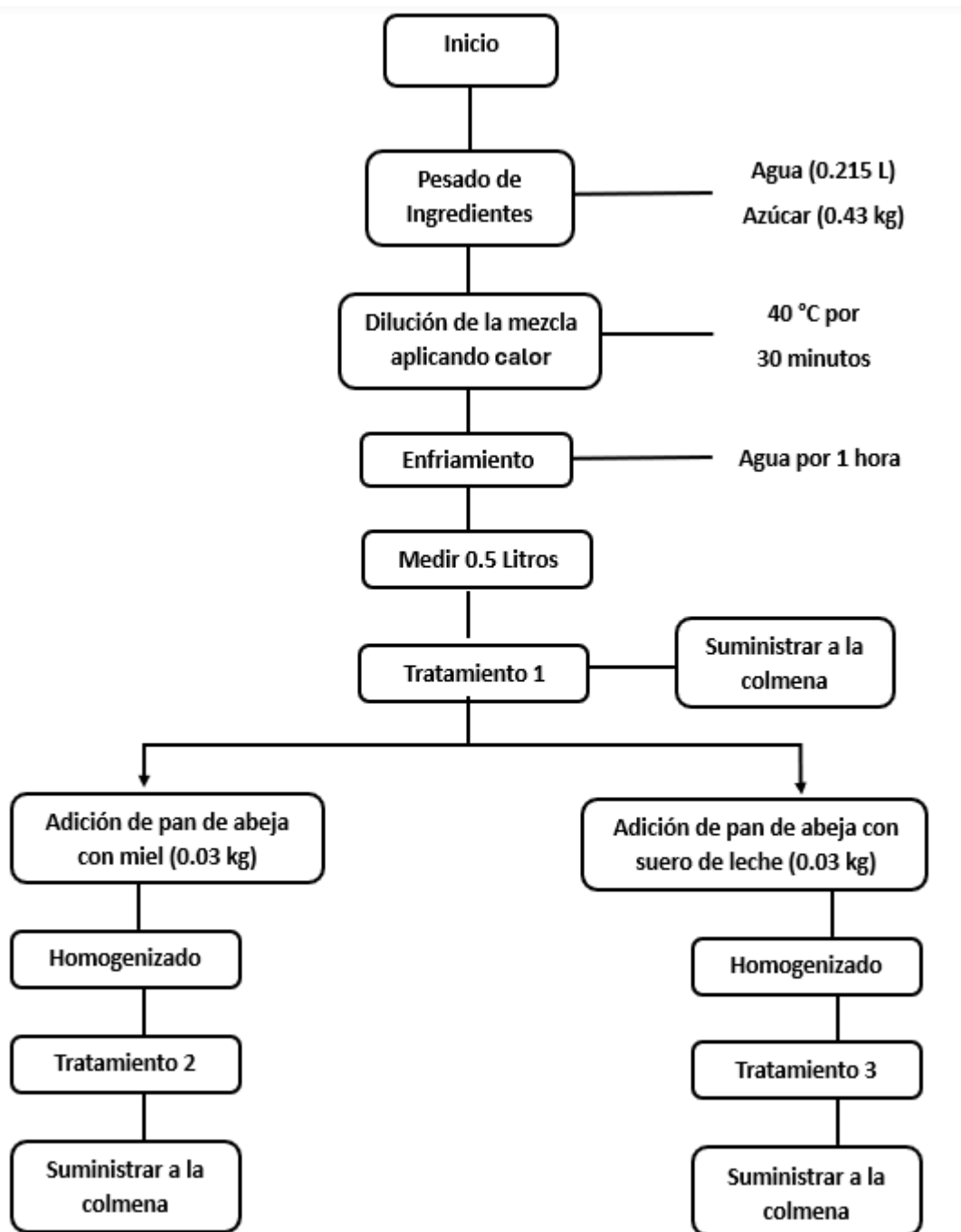
Tratamiento	Miel (kg)	Suero de leche (kg)	Agua(L)	Azúcar (kg)
T1: Alimento tradicional (AT)	0	0	0.215	0.43
T2: Pan de abeja con miel + AT	0.03	0	0.215	0.43
T3: Pan de abeja con suero de leche +AT	0	0.03	0.215	0.43

*Nota.* Alimento tradicional = Solución energética = Agua + Azúcar

La preparación de cada uno de los alimentos inició con el pesado de los ingredientes base (Figura 1): 0.215 L de agua y 0.43 kg de azúcar de mesa (sacarosa). Estos componentes fueron mezclados y sometidos a calentamiento a una temperatura aproximada de 40 °C durante 30 minutos para lograr la disolución completa del azúcar y favorecer a una solución homogénea. Concluida la aplicación de calor, la mezcla fue enfriada en agua a temperatura ambiente durante 1 hora. Posteriormente, se midieron 0.5 L de esta solución para ser utilizada como base para los diferentes tratamientos. Cada mezcla por tratamiento fue homogenizada antes de ser administrada a cada colmena.

Figura 1

Diagrama de flujo para elaboración de alimento para colmenas ((Sifontes Guerra Kevin Jossue,



Noviembre 2023).

Nota. tomado y adaptado de (Sifontes Guerra Kevin Jossue, Noviembre 2023).

### **Proceso de Adaptación de la Colmena**

Se seleccionaron nueve colmenas del apiario ubicado en Monte Redondo, las cuales se dividieron en bloques de tres colmenas. Las colmenas se seleccionaron considerando su actividad

(abejeo/pecoreo) y se aseguró que todas las colmenas contaran con reinas de la misma edad (dos meses). El periodo de adaptación de la colonia al nuevo alimento se dio en un lapso de cuatro semanas para asegurar que los resultados estuvieran relacionados por efecto del uso de nuevo alimento. Cada mezcla de alimento se suministró una vez por semana, con el propósito de ayudar a las abejas a familiarizarse con el cambio de alimentación.

### ***Crianza de Reinas (Traslarve) Para Producción de Jalea Real***

Al finalizar el periodo de adaptación al nuevo alimento y para cosechar jalea real en una colmena fue necesario realizar la crianza de reinas y para ello se utilizó el método Doolitte. Para la crianza de reinas se tomaron larvas, esperando tuvieran máximo dos días de edad, pues se ha demostrado que entre más joven la larva, los resultados en producción de jalea real son mayores. Las larvas colectadas fueron colocadas inmediatamente en copas celdas artificiales para asegurar que las abejas nodrizas continuaran alimentándolas. Las copas celdas artificiales estaban en listones (un marco de cría) que contenía 60 celdas artificiales con capacidad aproximada para contener 25 mg de jalea real/celda. Según (Al-Kahtani y Taha, 2020), las larvas destinadas a convertirse en abejas obreras reciben jalea real solo durante 3 días, lo que podría impactar directamente en la cantidad de este producto apícola producida por copa.

### ***Cosecha de Jalea Real***

La cosecha se realizó al segundo día de haber realizado el traslarve, retirando los marcos de cría del interior de la colmena y con ayuda de una pinza, se retiró la larva de cada una de las copas de las celdas, para luego proceder a cosechar la jalea real con una espátula. Se realizó al segundo día para evitar que la larva tuviera mayor tamaño y, por lo tanto, evitar un mayor consumo de jalea real por parte de la larva. Luego de recolectar la jalea real, se almacenó en frascos y se llevó a refrigeración a temperatura entre 4-6 °C para mantener sus características y evitar daños en la composición de la jalea real.

### ***Producción de Jalea Real (mg/copa)***

Al pasar los dos días del traslarve se cosechó la jalea real, para esto se utilizó una pinza especial para retirar la larva y con ayuda de una espátula se extrajo la jalea de cada copa celda. Una vez cosechada la jalea real, se procedió al pesarla con una balanza RADWAG modelo WTC 2000 y se hizo el cálculo usando la Ecuación 1.

$$Jalea\ real/copa = \frac{Cantidad\ de\ jaleacolmena}{Número\ de\ copacolmena} \quad [1]$$

### ***Pecoreo/abejeo (#Abejas/minuto)***

El pecoreo es una actividad que consiste en contabilizar el número de abejas que entran y salen de la colmena en un minuto. En las colmenas sanas se considera una actividad de pecoreo buena, cuando los valores son mayores a 50 abejas/minuto, mientras que valores por debajo de este número, indica posibles problemas relacionados con sanidad o falta de alimento en la colmena, por lo que deben ser solucionados (Rodrigo Efrén Vásquez Romero et al., 2012). Este valor brinda referencia al apicultor acerca de la población de abejas, actividad productiva y sanidad de la colmena.

### ***Consumo de Alimento***

Este fue medido en mililitros (ml) y reportado en términos porcentuales. Esta actividad radica en realizar la medición al siguiente día posterior a la administración de alimento, con el propósito de determinar el grado de consumo de cada tratamiento, lo cual es un indicador esencial para valorar la aceptación de las diferentes formulaciones suministradas. (Hendriksma y Shafir, 2016) encontraron que las abejas recolectoras prefieren tratamientos completos, cuando se ofrecieron harinas con aminoácidos complementarios, las abejas rechazaron los tratamientos con esas deficiencias, demostrando así una selección basada en la calidad nutricional del alimento.

### ***Contenido de Proteína (%)***

El análisis de contenido de proteína en la jalea real se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), usando el método de determinación de proteína cruda AOAC 2001.11 basado en el método Kjeldahl. El proceso consistió en tres etapas, las cuales, permitieron determinar el nitrógeno orgánico (componente presente en todas las proteínas), las etapas fueron:

Digestión con ácido sulfúrico

Destilación de amoníaco

Titulación con ácido clorhídrico

Para determinar el % de proteína se partió del % nitrógeno, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de N} = \text{NHCL} \times \frac{Tc}{M} \times \frac{14g}{mol} \times 100 \quad [2]$$

$$\% \text{ de Proteina} = \%N \times 6.25 \quad [3]$$

Donde:

Tc = Volúmen de ácido corregido (L)

N = Normalidad del ácido clorhídrico estandarizado (N)

M= peso de la muestra (g)

### **Diseño Experimental**

Para el análisis estadístico del experimento se utilizaron pruebas pareadas y se analizaron los datos a través de una prueba t y una probabilidad de  $p < 0.05$  para el análisis de valores de pH, y peso de los tratamientos en la Fase 1 y para evaluar el porcentaje de proteína en la jalea real cosechada en Fase 2. En el análisis del rendimiento en la producción de jalea real, consumo y abejeo se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), realizando tres repeticiones por cada tratamiento (Cuadro 1) y se analizaron los datos aplicando un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias Duncan, a un nivel de significancia del 5% y una probabilidad de  $p < 0.05$ . Todos los análisis se realizaron en el programa de análisis estadístico SAS® versión online (Statistical Analysis System).

## Resultados y Discusión

### Fase 1. Obtención Artificial de Pan de Abeja

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta fase:

#### *Peso de la mezcla (Kg)*

En el Cuadro 2 se observa que hubo diferencias estadísticamente significativas en los resultados de peso en la mezcla de polen con miel ( $Pr < |t| 0.0022$ ), y en la mezcla de polen con suero de leche ( $Pr < |t| 0.0001$ ). Lo anterior, pudo relacionarse con el posible proceso de fermentación a 35 °C durante siete días lo que pudo provocar una reducción de peso en ambas mezclas.

#### Cuadro 2

*Resultados de diferencia en peso (Kg) del pan de abeja luego del proceso de fermentación*

Tratamiento	Peso inicial (kg) Media $\pm$ D.E	Peso final (kg) Media $\pm$ D.E	Pr t
Pan de abeja con miel	0.130 $\pm$ 0.00	0.109 $\pm$ 0.008	0.0022
Pan de abeja con suero de leche	0.130 $\pm$ 0.00	0.095 $\pm$ 0.005	0.0001

*Nota.* DE = Desviación estándar.  $Pr|t| < 0.05$  presenta diferencias estadísticamente significativas en peso de la mezcla.

Estos resultados son superiores a los reportados por (Sifontes Guerra Kevin Jossue, Noviembre 2023), quien documentó una pérdida del 5.36% en una mezcla de 55 g de polen y miel, atribuyendo la diferencia a la cantidad de humedad presente en la mezcla de polen y miel durante el proceso de fermentación, eliminando agua en forma de vapor. La pérdida de peso pudo relacionarse con lo encontrado por (Araneda et al., 2014), quienes explican que la fermentación en el pan de abeja provoca pérdida de peso principalmente porque los microorganismos (Bacterias Ácido-Lácticas) consumen azúcares para producir CO<sub>2</sub> y ácidos reduciendo la masa total del producto fermentado

(Hasburgh et al., 2019), indican que la humedad total de un alimento corresponde a la cantidad total de agua, en pocas palabras es la suma tanto del agua ligada como el agua libre. El agua libre puede extraerse fácilmente de los alimentos, mientras que el agua ligada está unida a grupos polares e iónicos en la estructura del alimento (Vaclavik et al., 2021). En esta investigación, la mezcla

pudo contener agua libre en su estructura, lo cual resulta importante porque durante el proceso de fermentación a 38 °C, este tipo de agua pudo evaporarse. Según (He et al., 2019), la evaporación causa una pérdida disponible durante el proceso de fermentación, lo que puede generar deshidratación y pérdida de peso en la mezcla.

Los valores de humedad también son relevantes para comprender el comportamiento de la mezcla durante el proceso de fermentación y la pérdida de peso asociada, la miel puede contener 15-18% de humedad ((El Sohaimy et al., 2015), el polen de abeja procesado contiene 8-10% de humedad (Isik et al., 2019), y el suero de leche dulce posee una humedad de 94% (Mora Cortez et al., 2022).

### ***Potencial de Hidrogeno (pH) de la Mezcla***

El Cuadro 3, indica que se encontró diferencia estadísticamente significativa en el pH durante el proceso de fermentación en la mezcla de polen con miel ( $Pr<|t|$  0.0276), y en la mezcla de polen con suero de leche ( $Pr<|t|$  0.0016).

El resultado del tratamiento con pan de abeja con suero de leche supera la disminución reportada por (Sifontes Guerra Kevin Jossue, Noviembre 2023), quien encontró una diferencia media de pH de 0.26 unidades al fermentar una mezcla de polen y miel a 35-38 °C por siete días. El mayor descenso en el tratamiento con suero de leche podría relacionarse con su alto contenido de humedad y compuestos fermentables presentes en el polen y suero de leche, según (Gupta et al., 2019), el principal compuesto fermentable del suero dulce es la lactosa (46 a 52 g/L suero).

### **Cuadro 3**

*Resultado de diferencia en pH en mezclas durante el proceso de fermentación.*

Tratamiento	pH Inicial Media $\pm$ D.E	pH Final Media $\pm$ D.E	Pr t
Pan de abeja con miel	4.68 $\pm$ 0.23	4.52 $\pm$ 0.16	0.0276
Pan de abeja con suero de leche	4.75 $\pm$ 0.24	4.32 $\pm$ 0.24	0.0016

*Nota.* DE = Desviación estándar.  $P<0.05$  presenta diferencias estadísticamente significativas en pH de la mezcla.

El cambio de pH en la mezcla de polen y miel pudo relacionarse con una fermentación ácido-láctica, donde, la mezcla experimentó cambios bioquímicos por efecto del contenido de azúcares fermentables de la mezcla más las enzimas salivales que la abeja colocó sobre los granos de polen

Araneda et al. (2014). El estudio realizado por (Benavides Guevara et al., 2020), indica que la fermentación láctica del polen produce una disminución significativa del pH debido a la actividad de bacterias ácido lácticas como *L. plantarum*, resultando en una fermentación exitosa.

(Choriego Marín y Rolando Enrique, 2015), reportó un pH final de 4.23 al finalizar el proceso de fermentación en la obtención del pan de abeja atribuyendo este resultado al origen del polen utilizado en la mezcla. Sifontes (2023) atribuyó este mismo resultado a la fermentación ácido-láctica, donde la mezcla pudo sufrir cambios bioquímicos por efecto del contenido de azúcares fermentables de la mezcla más las enzimas salivales que la abeja colocó sobre los granos de polen al momento ser cosechado. Según (Araneda et al., 2014), en el proceso de fermentación interactúan enzimas, como esterasas, lipasas, proteasas, aminopeptidasas y fosfatasas, las que convierten sustancias difíciles de digerir (azúcar y proteínas) en sustancias más simples, lo que provoca un mayor aprovechamiento.

En la mezcla de polen y suero de leche, a 37 °C se encuentran diversas bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *pentosus* y *Pediococcus acidilactici*) que se adicionaron con el lactosuero y responsables de una alta producción de ácido láctico (8-12 g/L en 24 horas) disminuyendo el pH del medio rápidamente (Parrado Saboya et al., 2024). En el lactosuero fresco, las bacterias más representativas encontradas son *Lactobacillus sp.* ((Guel García et al., 2018), y dentro de la especie *Lactobacillus* se encontraron *L. rhamnosus*, *L. casei* y *L. Fermentum* (Díaz-Monroy et al., 2014).

El lactosuero dulce contiene en promedio es de 40-50 g /kg de lactosa (Callejas Hernández et al., 2012), y la lactosa es un compuesto fermentable clave que favorece la producción de ácido orgánico contribuyendo al descenso del pH. La fermentación del suero realizada por bacterias lácticas termofílicas puede reducir el alto contenido de lactosa del suero, produciendo principalmente ácido láctico y otros metabolitos (Pescuma et al., 2008).

El suero dulce contiene un pH de  $\geq 6.0$  (Callejas Hernández et al., 2012), la investigación de (Mazorra-Manzano et al., 2020), señala que, al fermentar suero con su microbiota nativa, provocó que el pH descienda rápidamente (6.4 a  $< 5$ ) en las primeras 12 horas de incubación. El cambio lo relacionó con un alto recuento de lactobacilos termofílicos, principales productores de ácido láctico.

## Fase 2. Implementar Alimentación con Pan de Abeja Artificial a Colonias de Abejas

A continuación, se presentan los resultados al implementar el uso de pan de abeja en alimentación de colmenas en producción.

### ***Pecoreo (#abejas/minuto)***

Los resultados en el Cuadro 4 muestran que independiente del tipo de alimento no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en pecoreo de colmenas ( $p > 0.05$ ). Sifontes (2023) reportó que la adición de pan de abeja no alteró la actividad de pecoreo, siendo esto positivo ya que según (Guzmán-Novoa et al., 2011), el pecoreo es la acción de recolección que realizan las abejas para traer alimento a su colmena. (DeGrandi-Hoffman et al., 2016), indican que la actividad de pecoreo no se verá limitada siempre que se cubran las necesidades nutricionales por medio del tratamiento alimenticio, concordando así con los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a la actividad de pecoreo.

### **Cuadro 4**

*Resultados del efecto del uso de pan de abeja en el pecoreo de la colmena (#abejas/minuto)*

Tratamiento	Media $\pm$ D. E <sup>NS</sup>
Pan de abeja con miel + AT	67.91 $\pm$ 15.01
Pan de abeja con suero de leche + AT	57.66 $\pm$ 14.42
Alimento tradicional	59.66 $\pm$ 25.41
C.V. (%)	28.25
Probabilidad	0.2306

*Nota.* AT=Alimento tradicional. Alimento tradicional= Agua + Azúcar. DE =Desviación estándar. NS: No hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ).

En las colmenas sanas se considera una actividad buena de pecoreo, cuando los valores son mayores a 50 abejas/minuto, mientras que valores por debajo de este número, indica posibles problemas relacionados con sanidad o falta de alimento en la colmena, por lo que deben ser solucionados (Rodrigo Efrén Vásquez Romero et al., 2012). Esta investigación presentó valores mayores a 50 abejas/minuto en cada uno de sus tratamientos, siendo esta una buena actividad de pecoreo.

Las abejas melíferas muestran una marcada preferencia por fuentes de energía con alta concentración de sacarosa, lo que influye directamente en su comportamiento de pecoreo (Abdella et al., 2024). Es importante considerar que todos los alimentos formulados contenían proporciones similares de azúcar, lo que pudo haber igualado el aporte energético entre tratamientos. Esta homogeneidad en la energía disponible proviene de la sacarosa, esto podría explicar porque el pecoreo (actividad relacionada con la disponibilidad de energía) se mantuvo constante, independientemente del tipo de pan de abeja suplementado.

En este estudio se incorporó 30 g de pan de abeja y posiblemente la cantidad utilizada por tratamiento pudo no ser suficiente para inducir cambios significativos en pecoreo y se considera que este comportamiento esta más influenciado por la energía inmediata que aporta la sacarosa (Moreno Coellar, 2024). Los resultados sugieren que, en cuanto al pecoreo, el aporte energético del azúcar pudo ser el factor dominante, mientras que el contenido proteico del suplemento (pan de abeja con miel o suero de leche) no tuvo un efecto altamente diferencial.

### **Consumo de Alimento (%)**

En el análisis del consumo de alimento por parte de las colmenas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). Todos los suplementos alimenticios presentaron una tasa de consumo similar (Cuadro 5), lo cual sugiere que las abejas no manifestaron una preferencia marcada por algún tipo de alimento en particular. Esto es positivo, ya que las dietas fueron aceptadas de manera uniforme y sin generar alteraciones en la actividad de la colmena.

### **Cuadro 5**

#### *Resultados del consumo de alimento (%) suplementado a colmenas de *Apis mellifera**

Tratamiento	Media $\pm$ D. E <sup>NS</sup>
Pan de abeja con miel + AT	100.00 $\pm$ 0.00
Pan de abeja con suero de leche + AT	97.50 $\pm$ 8.66
Alimento tradicional	100.00 $\pm$ 0.00
C.V. (%)	5.34
Probabilidad	0.7071

*Nota.* DE = Desviación estándar. NS: No hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). C.V. (%) = Coeficiente de variación. AT=

Alimento tradicional

Este comportamiento puede explicarse considerando que todas las formulaciones tenían proporciones similares de sacarosa y aportaban energía inmediata, lo cual facilita el consumo sin que el contenido proteico adicional influya notablemente en la aceptación. Según (Sultana et al., 2024), las abejas muestran preferencia por alimentos con alto contenido de azúcar y baja proporción de carbohidratos complejos o proteínas, ya que priorizan la ingesta energética rápida que este tipo de suplementos proporciona.

En este estudio las abejas consumieron por igual todos los suplementos ofrecidos, lo que demuestra una completa aceptación de las dietas. Esto concuerda con lo señalado por (Brodschneider y Crailsheim, 2010), quienes indican que el consumo de alimento en la colmena está determinado por el contenido de azúcar y la facilidad de ingestión que por el nivel de proteína.

### ***Producción de Jalea Real (mg/copa)***

En el Cuadro 6 se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, encontrando que, la adición de pan de abeja en la alimentación de abejas provocó una tendencia en el aumento de producción de jalea real.

La alimentación con pan de abeja con miel incrementó en 53.5% la producción de jalea real respecto al alimento tradicional, mientras que con pan de abeja suero de leche el incremento fue de 29%, lo que demuestra que ambos tratamientos mejoraron la producción, ambos tratamientos con pan de abeja aumentaron la producción de jalea real respecto al alimento tradicional, lo que justifica su uso por el beneficio productivo obtenido.

### **Cuadro 6**

#### ***Resultados en la producción de jalea real luego de la alimentación con pan de abeja artificial***

Tratamiento	mg/copa celda $\pm$ D. E
Pan de abeja con miel + AT	97.93 $\pm$ 24.06 <sup>a</sup>
Pan de abeja con suero de leche + AT	82.30 $\pm$ 13.34 <sup>ab</sup>
Alimento tradicional	63.80 $\pm$ 16.71 <sup>b</sup>
C.V. (%)	4.22

*Nota.* AT= Alimento tradicional. D.E= Desviación Estándar. C.V. (%) = Coeficiente de variación. Letras diferentes en una misma columna indican que hubo diferencia estadística entre los tratamientos por etapa ( $P < 0.05$ ).

Lo anterior pudo deberse a que el alimento tradicional (agua y azúcar) solo aporta energía(carbohidratos), según (DeGrandi-Hoffman et al., 2016), el pan de abeja, aporta proteínas y lípidos, nutrientes que favorecen el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas incrementándola producción de jalea real. Según (Kanelis et al., 2024), la producción de jalea real depende de reservas adecuadas de polen como fuente proteica, por ello, la calidad y disponibilidad del polen influyen directamente en la cantidad de jalea real producida, esto se debe a que el polen aporta proteínas, aminoácidos y lípidos que estimulan las glándulas hipofaríngeas.

Las glándulas hipofaríngeas de las abejas nodrizas producen jalea real, un alimento nutritivo que se supe a las larvas y reinas en desarrollo, estas secreciones con clave para la nutrición y crecimiento de la colonia (Mao et al., 2013). Las abejas nodrizas son las que alimentan a las crías, brindándoles jalea real producida por sus glándulas, lo cual es esencial para el desarrollo sano y crecimiento de la colonia(Döke et al., 2015).

### **Contenido de Proteína (%)**

El Cuadro 7 muestra que en este estudio independiente del tipo de pan de abeja utilizado no se encontró diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) con relación al contenido de proteína en la jalea real. Estos resultados son similares a los reportados por (Sifontes Guerra Kevin Jossue, Noviembre 2023), quien obtuvo un contenido proteico de  $14.83 \pm 0.18\%$  al utilizar la mezcla de polen y miel; el cual en comparación con el tratamiento con alimento tradicional (agua y azúcar) presentó un valor de proteína menor( $12.41 \pm 0.08\%$ ).

### **Cuadro 7**

#### *Resultados del efecto del uso de pan de abeja en el contenido de proteína (%) en la jalea real*

Tratamiento	Media $\pm$ D. E <sup>NS</sup>
Pan de abeja con miel + AT	14.95 $\pm$ 1.62
Pan de abeja con suero de leche + AT	15.29 $\pm$ 0.95
C.V. (%)	7.96
Probabilidad	0.7656

*Nota.* DE = Desviación estándar. NS: No hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). C.V. (%) = Coeficiente de variación. AT=

Alimento tradicional.

Estos resultados se encuentran dentro del rango considerado óptimo para jalea real fresca (9-18%), según lo reportado por (Ramanathan et al., 2018) y el (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2005). De acuerdo con (Mazorra-Manzano et al., 2020), los péptidos presentes en el suero de leche favorecen a la síntesis de proteínas en sistemas biológicos. Lo anterior podría explicar la potencial tendencia a incrementar contenido de proteína en las colmenas que fueron alimentadas con pan de abeja a partir de polen con suero de leche.

Estudio realizado por (Kieliszek et al., 2018), indican que una de las diferencias más importantes entre el pan de abeja y el polen de abeja, es que el pan de abeja tiene un mayor valor biológico, una digestibilidad más rápida que el polen. Según (Karaman, 2019), el pan de abeja es rico en proteínas, con una proporción que oscila entre el 15.30 - 23.48 %.

La fermentación del pan de abeja aumenta su valor proteico y digestibilidad, lo que puede traducirse en mejor disponibilidad de aminoácidos para nodrizas productoras de jalea real (Tawfik et al., 2023). La mejora en el contenido proteico final en la jalea real se debe a que la fermentación ácido láctica aumenta proteínas solubles y la accesibilidad de aminoácidos, factores claves para la función de las glándulas hipofaríngeas que producen la jalea real (Ivars, 2022).

El pan de abeja contiene aproximadamente un 20% de proteínas disponibles, vitaminas (B,E,K), aminoácidos esenciales, carbohidratos, lípidos y enzimas (esterasas, lipasas, fosfatasas) que contribuyen a su valor nutritivo y su rápida asimilación (Araneda et al., 2014). En el estudio de Peng et al. (2024), encontraron que una dieta con pan de abeja incrementa la síntesis de proteína, lo que se traduce en una mayor cantidad y calidad proteica.

## Conclusiones

La adición de miel o suero de leche al polen disminuyó los valores de pH y provocó pérdida de peso en la mezcla, lo que posiblemente esté relacionado con un proceso de fermentación permitiendo la obtención de pan artificial de abeja.

En las colmenas, independiente del tipo de alimento se mantuvo un alto consumo de alimento y adecuada actividad de pecoreo por tanto no se afectó el comportamiento de las abejas.

Independiente del tipo de pan de abeja usado en la alimentación de abejas y en comparación con el alimento tradicional se incrementó al menos un 29% el volumen de producción y de igual forma el contenido en valor proteico de la jalea real.

### **Recomendaciones**

Realizar un estudio comparativo entre el pan de abeja natural y el pan artificial de abeja, con el fin de evaluar diferencias en su composición nutricional, particularmente en el contenido proteico, y determinar si éstas influyen en la producción y calidad de jalea real.

En un nuevo estudio duplicar la cantidad de pan artificial de abeja suministrado a las colmenas, con el propósito de analizar si un mayor aporte nutricional se traduce en un aumento significativo en la cantidad y calidad (contenido proteico) de la jalea real producida

Incorporar el pesaje sistemático de las colmenas antes y después del periodo experimental como indicador complementario del efecto de las dietas proteicas. El peso de la colmena puede reflejar el desarrollo poblacional y la eficiencia alimentaria de las abejas

## Referencias

- Abdella, M., Rateb, S. H., Khodairy, M. M. y Omar, E. M. (2024). Sucrose, glucose, and fructose preference in honeybees and their effects on food digestibility. *Apidologie*, 55(6). <https://doi.org/10.1007/s13592-024-01113-4>
- Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D. y Le Conte, Y. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters*, 6(4), 562–565. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0986>
- Al-Kahtani, S. N. y Taha, E.-K. A. (2020). Post grafting time significantly influences royal jelly yield and content of macro and trace elements. *PloS One*, 15(9), e0238751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238751>
- Anderson, K. E., Sheehan, T. H., Eckholm, B. J., Mott, B. M. y DeGrandi-Hoffman, G [G.] (2011). An emerging paradigm of colony health: microbial balance of the honey bee and hive (*Apis mellifera*). *Insectes Sociaux*, 58(4), 431–444. <https://doi.org/10.1007/s00040-011-0194-6>
- Araneda, X., Velásquez, C., Morales, D. y Martínez, I. (2014). Producción de pan de abejas (*Apis mellifera* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Idesia (Arica)*, 32(4), 63–69. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000400008>
- Arguello, Cuesta, Melchor. (2009). *Alimentación artificial de abejas en época de escasez de floración: sostén y estímulo* [tesis]. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. <https://es.scribd.com/doc/141045017/Alimentacion-Artificial-de-Abejas>
- Benavides Guevara, R. M., Quicazan, M. C. y Ramírez Toro, C. (2020). Influencia de algunos factores en la fermentación ácido láctica del polen apícola. *Publicaciones E Investigación*, 14(3). <https://doi.org/10.22490/25394088.4484>
- Brodtschneider, R. y Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3), 278–294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>
- Callejas Hernández, Judith, Prieto García, Francisco, Reyes Cruz, Víctor E., Marmolejo Santillán, Yolanda, Méndez Marzo y María A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11–18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41623193002>
- Choriego Marín y Rolando Enrique. (2015). *Caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial de pan de abeja (Apis mellifera) producido en laboratorio* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2005). *Jalea Real. Especificacione* (Norma Salvadoreña Obligatoria núm. NSO 67.38.03:05). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- DeGrandi-Hoffman, G [Gloria], Chen, Y., Rivera, R., Carroll, M., Chambers, M., Hidalgo, G. y Jong, E. W. de (2016). Honey bee colonies provided with natural forage have lower pathogen loads and higher overwinter survival than those fed protein supplements. *Apidologie*, 47(2), 186–196. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0386-6>
- Díaz-Monroy, B. L., Elías Iglesias, A. y Valiño-Cabrera, E. (2014). Consorcios microbianos con actividad ácido-láctica promisorios aislados desde inoculantes bacterianos nativos para ensilajes. *Ciencia Y Agricultura*, 11(1), 17–25. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426355610006/html/>
- Döke, M. A., Frazier, M. y Grozinger, C. M. (2015). Overwintering honey bees: Biology and management. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.014>

- El Sohaimy, S. A., Masry, S. y Shehata, M. G. (2015). Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2015.10.015>
- Guel García, G. P., Hernández Mendoza, J. L. y Rodríguez Castillejos, G. (2018). Uso de bacterias obtenidas a partir de suero de leche y su uso potencial como probióticos en la industria alimentaria. *Revista Boliviana De Química*, 35(1). <https://www.researchgate.net/publication/343575447>
- Gupta, C., Pacheco, C. y Prakash, D. (2019). Lactoserum. En J. Martin, R. K. Keservani, A. K. Sharma y R. K. Kesharwani (Eds.), *Advances in Human Services and Public Health. Nutraceutical and Functional Foods in Disease Prevention* (pp. 432–456). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3267-5.ch015>
- Guzmán-Novoa, E., Echazarreta-González, C. A., Arechavaleta-Velasco, M. G. y Espinosa-Montelongo, C. A. (2011). Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanizadas en México. *Zootecnia Tropical*, 29(3), 347–358.
- Hasburgh, L. E., Craft, S. T., van Zeeland, I. y Zelinka, S. L. (2019). Relative humidity versus moisture content relationship for several commercial wood species and its potential effect on flame spread. *Fire and Materials*, 43(4), 365–372. <https://doi.org/10.1002/fam.2707>
- He, Q., Peng, H., Sheng, M., Hu, S., Qiu, J. y Gu, J. (2019). Humidity Control Strategies for Solid-State Fermentation: Capillary Water Supply by Water-Retention Materials and Negative-Pressure Auto-controlled Irrigation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, Artículo 263. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00263>
- Hendriksma, H. P. y Shafir, S. (2016). Honey bee foragers balance colony nutritional deficiencies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 70(4), 509–517. <https://doi.org/10.1007/s00265-016-2067-5>
- Isik, A., Ozdemir, M. y Doymaz, I. (2019). Effect of hot air drying on quality characteristics and physicochemical properties of bee pollen. *Food Science and Technology*, 39(1), 224–231. <https://doi.org/10.1590/fst.02818>
- Ivars, J. (2022). *La suplementación proteica en las abejas: guía completa*. La Tienda del Apicultor. <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/la-suplementacion-proteica-en-las-abejas-guia-completa/>
- Kanelis, D., Liolios, V., Rodopoulou, M.-A., Papadopoulou, F. y Tananaki, C. (2024). Production and Quality Characteristics of Royal Jelly in Relation to Available Natural Food Resources. *Resources*, 13(4), 55. <https://doi.org/10.3390/resources13040055>
- Karaman, M. R. (2019). Evaluation of some nutritional and antioxidant values of bee. *Sportif Bakış: Spor Ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, 6(S2), 390–398. <https://doi.org/10.33468/sbsebd.114>
- Kieliszek, M., Piwożarek, K., Kot, A. M., Błażejak, S., Chlebowska-Śmigiel, A. y Wolska, I. (2018). Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.021>
- Kumar, R., Thakur, A., Kumar, S. y Hajam, Y. A. (2024). Royal jelly a promising therapeutic intervention and functional food supplement: A systematic review. *Heliyon*, 10(17), e37138. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37138>

- Mao, W., Schuler, M. A. y Berenbaum, M. R. (2013). Honey constituents up-regulate detoxification and immunity genes in the western honey bee *Apis mellifera*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(22), 8842–8846. <https://doi.org/10.1073/pnas.1303884110>
- Mazorra-Manzano, M. A., Robles-Porchas, G. R., González-Velázquez, D. A., Torres-Llanez, M. J., Martínez-Porchas, M., García-Sifuentes, C. O., González-Córdova, A. F. y Vallejo-Córdova, B. (2020). Cheese Whey Fermentation by Its Native Microbiota: Proteolysis and Bioactive Peptides Release with ACE-Inhibitory Activity. *Fermentation*, 6(1), 19. <https://doi.org/10.3390/fermentation6010019>
- Mora Cortez, J. X., Portilla Patiño, D. A., Muñoz Paredes, J. F. y Vallejo Castillo, V. E. (2022). Lactosuero: materia prima para la elaboración de productos con valor agregado. *PESO (Programa Editorial Saber Y Opinión)*, 9(1), 45–51. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.01.05>
- Moreno Coellar, E. A. (2024). *Mecanismos comportamentales y fisiológicos que regulan la especialización de tareas en abejas recolectoras (Apis mellifera)* [Tesis doctoral]. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Park, H. G., Kim, B. Y., Park, M. J., Deng, Y., Choi, Y. S., Lee, K. S. y Jin, B. R. (2019). Antibacterial activity of major royal jelly proteins of the honeybee (*Apis mellifera*) royal jelly. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(3), 737–741. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.06.005>
- Parrado Saboya, D. S., Lacheros, S. y Serrato, J. C. (2024). Evaluación de la producción de ácido láctico a partir de un clúster de microorganismos nativos de una biorrefinería colombiana. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 26(2), 8–20. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v26n2.112366>
- Peng, Z.-W., Hung, Y.-T. y Wu, M.-C. (2024). Mechanistic exploration of royal jelly production in caged honey bees (*Apis mellifera*). *Scientific Reports*, 14(1), 30277. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82094-3>
- Perianes Rodríguez, A., Gadea, L., Hernández Landeros, J. A. y Hernández, A. M. (2015). Evaluation of three food supplements in the production of *Apis mellifera* in the Agricultural Potrerillos - Jinotega. *Universitas (León)*, 6(2), 1–8. <https://doi.org/10.5377/universitas.v6i2.13867>
- Pescuma, M., Hébert, E. M., Mozzi, F. y Font de Valdez, G. (2008). Whey fermentation by thermophilic lactic acid bacteria: Evolution of carbohydrates and protein content. *Food Microbiology*, 25(3), 442–451. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.01.007>
- Ramanathan, A. N. K. G., Nair, A. J. y Sugunan, V. S. (2018). A review on Royal Jelly proteins and peptides. *Journal of Functional Foods*, 44, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.03.008>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (2012). Informe técnico PDF.
- Sifontes Guerra Kevin Jossue. (Noviembre 2023). *Efecto de la alimentación con polen o pan de abeja en producción de jalea real de colmenas de Apis mellifera (23154)* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Sultana, N., Reza, M. E., Alam, M. N., Siddiquee, M. N. A., Islam, M. S., Rahman, M. A., Sayed, M. A. y Rahman, M. M. (2024). Evaluating the efficiency of supplementary feeding as a management strategy for enhancing honeybee (*Apis mellifera* L.) colony growth and productivity. *Frontiers in Bee Science*, 2, Artículo 1386799. <https://doi.org/10.3389/frbee.2024.1386799>

- Tawfik, A. I., Ahmed, Z. H., Abdel-Rahman, M. F. y Moustafa, A. M. (2023). Effect of some bee bread quality on protein content and antioxidant system of honeybee workers. *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(1), 93–105. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00888-2>
- Vaclavik, V. A., Christian, E. W. y Campbell, T. (2021). *Essentials of Food Science* (5th Edition). *Food Science Text Series*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46814-9>
- Vaudo, A. D., Tooker, J. F., Grozinger, C. M. y Patch, H. M. (2015). Bee nutrition and floral resource restoration. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.008>
- Vrabie, V., Derjanschi, V., Ciochina, V. y Vrabie, E. (2019). The Use of Whey for Honey Bee Feeding and Obtaining of Protein-Carbohydrate Bee Feed. *Scientific Papers. Series D. Animal Science, LXII(1)*, Artículo 105-110. [https://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2019/issue\\_1/Art15.pdf](https://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2019/issue_1/Art15.pdf)
- Yu, X., Tu, X., Tao, L., Daddam, J., Li, S. y Hu, F. (2023). Royal Jelly Fatty Acids: Chemical Composition, Extraction, Biological Activity, and Prospect. *Journal of Functional Foods*, 111, 105868. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105868>

## Anexos

## Anexo A

*Costo variable de formulación de medio litro de alimento para abejas*

Ingredientes	Cantidad utilizada	Costo unitario (L/\$)	Costo parcial (L)	Costo parcial (\$)
<b>Tratamiento 1: Agua + Azúcar</b>				
Agua	0.21 L	0.00/0.00	0.00	0.00
Azúcar	0.43 kg	28/1.08	11.8	0.45
<b>Total</b>			<b>11.8</b>	<b>0.45</b>
<b>Tratamiento 2: Pan de abeja + miel</b>				
Polen	0.0225 kg	992.08/33.27	22.32	0.85
Miel	0.0075 kg	99.21/3.83	0.75	0.029
Azúcar	0.43 kg	28/1.08	11.8	0.45
Agua	0.21 L	0.00/0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>			<b>34.87</b>	<b>1.32</b>
<b>Tratamiento 3: Pan de abeja + suero de leche</b>				
Polen	0.0225 kg	992.08/33.27	22.32	0.85
Azúcar	0.43 kg	28/1.08	11.8	0.45
Agua	0.21 L	0.00/0.00	0.00	0.00
Suero de leche	0.0075 L	0.00/0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>			<b>34.12</b>	<b>1.30</b>

*Nota. Tasa de cambio 26.35 L/1\$*