

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La apicultura (*Apis mellifera*) representa una actividad socioeconómica y ecológica de vital importancia a nivel mundial, no solo por la obtención de productos de alto valor comercial como la miel, el polen y la cera, sino fundamentalmente por el servicio ecosistémico de la polinización, el cual sustenta la biodiversidad vegetal y la productividad de los sistemas agrícolas (Potts *et al.*, 2016). En la producción apícola moderna, el éxito productivo y la sobrevivencia de las colonias dependen directamente de un estado nutricional óptimo. Las abejas requieren un suministro equilibrado de carbohidratos como fuente energética, y de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales para su desarrollo fisiológico, funciones inmunológicas y el óptimo funcionamiento de las glándulas hipofaríngeas encargadas de la alimentación de las crías (Somerville, 2005).

En el Valle Central de Tarija, las condiciones climáticas estacionales imponen un desafío severo para la apicultura. Durante la temporada invernal, se presenta un fenómeno crítico conocido como "bache alimenticio", caracterizado por bajas temperaturas, sequía estacional y una marcada escasez de flora apícola (Zenteno, 2018). La carencia de polen natural durante este periodo restringe severamente el aporte de proteínas esenciales. Esta deficiencia proteica provoca una reducción drástica en la postura de la reina, disminuye la longevidad de las abejas obreras debido al desgaste de sus reservas corporales de vitelogenina y debilita el sistema inmunológico de la colonia, incrementando la susceptibilidad a patologías y provocando altas tasas de mortandad o despoblamiento antes de la primavera (Castegnaro, 2018; Brodschneider y Crailsheim, 2010).

Ante esta problemática, la suplementación artificial surge como una práctica agronómica indispensable para mantener la viabilidad de los apiarios. Tradicionalmente, los apicultores recurren a sustitutos comerciales o promotores artificiales que, si bien son efectivos, suelen presentar costos elevados y una disponibilidad limitada en los mercados locales del departamento de Tarija. Por lo tanto, existe la necesidad imperante de investigar y formular alternativas nutricionales

artesanales utilizando materias primas de origen vegetal que sean accesibles, económicas y producidas localmente (Méndez-León, 2024). Las leguminosas como la soya (*Glycine max(L)Merr*), la lenteja (*Lens culinaris Medik*) y la arveja (*Pisum sativum L.*) se perfilan como candidatos idóneos debido a sus elevados porcentajes de proteína cruda y perfiles de aminoácidos viables para la alimentación animal (Sánchez, 2020).

La presente investigación se desarrolló en la comunidad de Guerra Huayco, Provincia Cercado del departamento de Tarija, con el propósito de evaluar el comportamiento y respuesta de las colmenas de *Apis mellifera* al suministro invernal de tres tortas proteicas formuladas a base de harinas de leguminosas locales. A través de este estudio, se busca proveer a los productores apícolas de la región un paquete tecnológico alimenticio alternativo que equilibre la eficiencia biológica en el mantenimiento del peso de las colmenas con la viabilidad económica y rentabilidad financiera.

JUSTIFICACION

La presente investigación se justifica desde un enfoque integral que articula las dimensiones técnicas, económica y socio-productiva de la apicultura en el departamento de Tarija. Desde la perspectiva técnico-biológica, la viabilidad de un apiario depende críticamente de la continuidad en el ciclo de postura de la reina y el mantenimiento de una población juvenil fuerte antes del inicio de la temporada de producción. Dado que la escasez de polen durante el invierno en el Valle Central rompe este ciclo fisiológico, evaluar fuentes proteicas alternativas a base de leguminosas locales —como la soya, lenteja y arveja— constituye una estrategia de manejo agronómico paliativo indispensable. Estas materias primas poseen porcentajes de proteína cruda y perfiles de aminoácidos capaces de cubrir los requerimientos nutricionales de *Apis mellifera*, permitiendo conservar el peso de las colmenas y asegurar una población vigorosa para enfrentar la primavera.

Socioeconómicamente, uno de las mayores limitantes para la adopción de tecnologías de alimentación artificial en la región es el elevado costo de los suplementos

comerciales y promotores vitamínicos importados, los cuales elevan los costos de producción y resultan insostenibles para la economía del pequeño productor. Al determinar con precisión científica el balance costo-beneficio de estas tortas artesanales elaboradas con granos de producción local y bajo costo, se dotará a los apicultores de la comunidad de Guerra Huayco de una herramienta financiera eficiente que proteja su inversión. Finalmente, a nivel regional, fortalecer la resiliencia de las colmenas frente al "bache alimenticio" invernal no solo estabiliza la economía de las familias rurales, sino que salvaguarda el servicio ecosistémico de la polinización, el cual es vital para sostener la biodiversidad vegetal y la productividad de los sistemas agrícolas locales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para un desarrollo apícola óptimo, las colmenas de *Apis mellifera* requieren un flujo constante de néctar y polen que garantice sus reservas de carbohidratos y proteínas (Somerville, 2005). Sin embargo, el Valle Central de Tarija presenta una marcada estacionalidad climática. Durante el invierno, las bajas temperaturas, heladas y sequías provocan el cese de la floración, generando un "bache alimenticio" crítico.

En la comunidad de Guerra Huayco, la falta de polen natural priva a las abejas de aminoácidos esenciales. Esto detiene la postura de la reina e induce a las obreras a consumir sus propias reservas corporales de vitelogenina. Como consecuencia, las colmenas sufren un despoblamiento severo, debilidad inmunológica ante patologías como la varroosis y altas tasas de mortandad por inanición, afectando la economía de los productores locales.

Para mitigar esto, los apicultores recurren a la alimentación artificial. Los jarabes energéticos corrigen la falta de carbohidratos, pero no aportan proteína, mientras que los suplementos proteicos comerciales y promotores vitamínicos son de alto costo e insostenibles para la economía local. El uso de harinas de leguminosas locales de alto valor proteico como soya (*Glycine max(L)Merr*), lenteja (*Lens culinaris Medik*) y arveja (*Pisum sativum L.*) surge como alternativa viable. Sin embargo, en la región se carece de estudios locales precisos que evalúen científicamente el comportamiento

biológico de las abejas ante estas fuentes artesanales y determinen su balance costo-beneficio.

Por lo tanto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el comportamiento de las colmenas de abejas (*Apis mellifera*) y el rendimiento económico al ser suplementadas con tortas alimenticias a base de harinas de soya, lenteja y arveja durante la temporada de invierno en la comunidad de Guerra Huayco?

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el efecto de suplementos alimenticios elaborados a base de arveja, soya y lenteja sobre el comportamiento productivo de colonias de abejas durante el periodo invernal (junio, julio y agosto) en la comunidad de Guerra Huayco, provincia Cercado – Tarija.

Objetivos Específicos

- Comparar la variación del peso de las colmenas alimentadas con suplementos a base de arveja, soya y lenteja durante el periodo invernal.
- Determinar cuál de las fuentes de alimentación contribuye mejor al mantenimiento o incremento del peso de la colmena.
- Analizar el comportamiento del peso de las colmenas durante los meses críticos de invierno como indicador de supervivencia y desarrollo de la colonia.

HIPOTESIS

Los suplementos alimenticios elaborados a base de leguminosas influyen significativamente en el mantenimiento del peso de las colmenas durante el invierno.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Biología General y Ciclo Ontogénico de *Apis mellifera*: Desarrollo de las Castas en la Colonia

La abeja melífera (*Apis mellifera*) es un insecto social que exhibe un nivel de organización denominado eusocialidad, caracterizado por la superposición de generaciones, el cuidado cooperativo de la cría y una estricta división del trabajo basada en castas morfológicas y reproductivas (Winston, 1991).

1.1.1 clasificación taxonómica de la abeja melífera

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la abeja

Reino:	Animalia
Tipo:	Artrópodos
Clase:	Insecta
Orden:	Himenópteros
Familia:	Apidae
Género:	Apis
Especie:	Apis melífera

Fuente: CHAVEZ CEDEÑO 2007

1.2. Organización Social

Dentro de la colonia coexisten tres tipos de individuos, cada uno adaptado anatómica y fisiológicamente para cumplir funciones específicas que garantizan la homeostasis del superorganismo:

- La Reina (Hembra fértil): Es la única hembra sexualmente madura y la madre de todos los habitantes de la colmena. Su función principal es la producción de huevos (pudiendo desovar hasta 1,500 o 2,000 huevos diarios en temporadas de

alta floración) y la emisión de feromonas (como la feromona mandibular de la reina o QMP) que regulan el comportamiento, detienen el desarrollo ovárico de las obreras y mantienen la cohesión social (Winston, 1991).

- Las Obreras (Hembras infértiles): Constituyen la gran mayoría de la población (entre 10,000 y más de 60,000 por colmena). Aunque poseen el mismo origen genético que la reina, sus órganos reproductores están atrofiados debido a una alimentación diferenciada en su etapa larval y a la supresión feromonal (Winston, 1991; Jean-Prost & Medeuf, 2007). Realizan todas las tareas de mantenimiento, limpieza, defensa, producción de cera, nodricismo y recolección de recursos (polen, néctar, agua y propóleo).
- Los Zánganos (Machos): Son los individuos masculinos de la colonia, nacidos por partenogénesis (huevos no fecundados, por lo que son haploides). Su única función biológica es la fecundación de reinas vírgenes durante los vuelos nupciales en áreas de congregación de zánganos (Winston, 1991). Carecen de aguijón y de estructuras para la recolección de alimento, dependiendo enteramente de las obreras para su sustento.

1.3. Ciclo Ontogénico (Desarrollo Holometábolo)

Apis mellifera es un insecto con metamorfosis completa o holometábolo, lo que significa que transita por cuatro fases de desarrollo claramente diferenciadas: huevo, larva, pupa (o ninfa) y adulto (Jean-Prost & Medeuf, 2007).

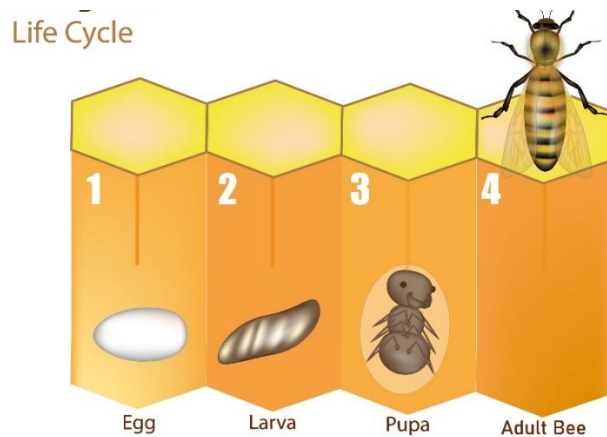


Figura 1. Ciclo De Vida

El tiempo de desarrollo total varía estrictamente en función de la casta, lo cual es controlado por estímulos nutricionales y hormonales (principalmente la hormona juvenil y la ecdisoma) durante los primeros días del estado larval (Winston, 1991):

1.3.1 Fase de Huevo (Días 1 a 3)

Independientemente de la casta, el huevo permanece en el fondo de la celda de cera durante 3 días. Visualmente, se observa como un pequeño hilo blanco y alargado de aproximadamente 1.5 mm. Al final del tercer día, el huevo se inclina y el corion (cáscara) se disuelve para dar paso a la larva (Winston, 1991).

1.3.2 Fase de Larva (Días 4 a 8/9)

Las larvas son vermiformes (forma de gusano), ciegas, carecen de patas y están diseñadas exclusivamente para consumir alimento y crecer a un ritmo acelerado, multiplicando su peso miles de veces.

- **Determinación de castas:** Durante los primeros 3 días, todas las larvas hembras reciben jalea real, un compuesto altamente nutritivo secretado por las glándulas hipofaríngeas y mandibulares de las abejas nodrizas (Winston, 1991). A partir del cuarto día, las larvas destinadas a ser obreras son alimentadas con una mezcla de polen y miel ("pan de abejas"), mientras que las elegidas para ser reinas continúan consumiendo jalea real pura en celdas especiales llamadas

realeras. Esta restricción alimenticia en las obreras altera la expresión genética (epigenética), inhibiendo el desarrollo de sus ovarios (Winston, 1991).

- Operculación: Al final de esta etapa, las abejas adultas sellan la celda con una fina capa de cera y poros de respiración (opérculo), momento en el cual la larva teje un capullo de seda.

1.3.3. Fase de Pupa o Ninfa (Días de transición interna)

Bajo el opérculo, el insecto experimenta una reorganización celular masiva. Comienzan a formarse los ojos compuestos, las antenas, las patas, las alas y las estructuras internas adultas. Los tejidos larvales se destruyen (histólisis) y se reconstruyen los tejidos adultos (histogénesis) (Winston, 1991). La pigmentación de los ojos compuestos ocurre de manera progresiva (pasando de blanco a rosado, luego a púrpura y finalmente a negro), lo que permite a los científicos determinar la edad exacta de la pupa.

1.3.4 Emergencia del Adulto (Fase Imago)

Una vez completado el desarrollo, la abeja muerde el opérculo de cera y emerge como un insecto adulto listo para integrarse a las actividades de la colonia.

Tabla 2. Ciclo de desarrollo de las castas de la abeja (*Apis mellifera*)

casta	Periodo de huevos	Periodo larval	Periodo pupa	Total, desarrollado
Reina	3 días	5,5 días	7,5 días	16 días
Obrera	3 días	6 días	12 días	21 días
Zángano	3 días	5,5 días	14,5 días	24 días

(Tabla adaptada de Winston, 1991 y Jean-Prost, 2007).

1.4. Dinámica de la Invernada en los Valles Interandinos de Tarija

La apicultura en la Provincia Cercado de Tarija, específicamente en zonas como la comunidad de Guerra Huayco, está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas macro y microambientales de los Valles Interandinos. El invierno en esta región se caracteriza por una marcada oscilación térmica diaria, con temperaturas nocturnas bajas que provocan heladas agrometeorológicas y días soleados que inducen el vuelo de las abejas, lo que incrementa el gasto energético por termorregulación e hidratación (SENAMHI, 2023).

Durante este periodo, la curva de floración útil sufre un declive crítico, generando un vacío de polen y néctar. El comportamiento de *Apis mellifera* ante este escenario consiste en la contracción del nido en un "bolo invernal" para conservar la temperatura interna de la colmena entre los 34°C y 35°C (Seeley, 1985). Si la colonia carece de una población adecuada de abejas de invierno con cuerpos grasos bien desarrollados, o si el consumo de las reservas de miel se acelera debido al estrés por frío, la colonia sufre una pérdida acelerada de biomasa (peso total de la colmena), hambruna masiva y susceptibilidad térmica, justificando plenamente la intervención antropogénica mediante el suministro de tortas alimenticias suplementarias (Somerville, 2005).

1.5. Fisiología Nutricional de *Apis mellifera* y el Rol del Cuerpo Graso (*Fat Body*)

La supervivencia de las colonias de *Apis mellifera* durante los periodos de escasez o condiciones climáticas adversas, como la temporada invernal, depende estrictamente de las reservas endógenas de la colmena y de la constitución fisiológica de las abejas individuales. El "cuerpo graso" (*fat body*) es un órgano difuso multifuncional análogo al tejido adiposo y al hígado de los mamíferos, el cual actúa como el principal centro de almacenamiento de lípidos, glucógeno y proteínas en los insectos (Arrese & Soulages, 2010).

Durante el otoño, la colonia experimenta una transición demográfica mediante la producción de "abejas de invierno". A diferencia de las abejas de verano (cuya vida media es de 15 a 45 días), las abejas de invierno poseen una longevidad extendida de

hasta 6 meses debido a la acumulación masiva de reservas en su cuerpo graso, principalmente en forma de la glucoproteína **Vitelogenina** (Amdam et al., 2003). La vitelogenina no solo actúa como una reserva de aminoácidos, sino que regula las funciones inmunitarias, la resistencia al estrés oxidativo y la plasticidad del comportamiento de forrajeo (Seehuus et al., 2006).

Un déficit de polen o una nutrición proteica deficiente al final de la temporada de flujo de néctar impide el correcto desarrollo del cuerpo graso en las nodrizas emergentes. Esto resulta en una senescencia prematura de la población de la colmena, debilitamiento del sistema inmunológico ante patógenos como *Nosema ceranae* y, en última instancia, el colapso térmico y poblacional de la colonia durante la invernada (Branchiccela et al., 2019).

1.6. Biología, Organización Social y Termorregulación en *Apis mellifera*

La continuidad y supervivencia de *Apis mellifera* como superorganismo depende de una estricta división del trabajo y de su capacidad adaptativa frente a las variaciones climáticas estacionales (Somerville, 2005). En el ecosistema de la colonia, las abejas obreras desempeñan roles fisiológicos específicos según su edad cronológica. Las denominadas obreras nodrizas (de 5 a 15 días de edad) son las responsables directas del sustento demográfico a través de la secreción de jalea real.

Durante la temporada invernal, caracterizada en el Valle Central de Tarija por un descenso marcado de las temperaturas y heladas, la colonia activa mecanismos biológicos de termorregulación. El principal de ellos es la formación del "bolo o racimo invernal", un aglomerado denso de abejas que se compacta sobre los panales para conservar la temperatura interna del núcleo entre los 34 °C y 35 °C mediante microvibraciones de los músculos torácicos. Este esfuerzo termorregulador genera un desgaste metabólico masivo, el cual requiere ser compensado con una nutrición equilibrada para evitar el colapso por estrés térmico y físico.

1.7. Requerimientos de Aminoácidos Esenciales en la Dieta Apícola

La proteína es el macronutriente crítico para el crecimiento de los tejidos corporales, el desarrollo glandular (glándulas hipofaríngeas y mandibulares) y la producción de jalea real. Las abejas no pueden sintetizar ciertos aminoácidos a partir de precursores metabólicos, por lo que requieren obligatoriamente diez aminoácidos esenciales en su dieta, conocidos como el grupo "De Groot": Arginina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Fenilalanina, Treonina, Triptófano y Valina (De Groot, 1953).

El polen natural es la fuente exclusiva de estos compuestos en condiciones silvestres. No obstante, la calidad nutricional del polen varía significativamente según el origen botánico. Cuando existe un vacío floral o estrés invernal, se recurre al suministro de suplementos artificiales (tortas proteicas). Para que un suplemento sea biológicamente eficiente, debe mantener un equilibrio de aminoácidos que mime el perfil ideal requerido por el insecto. De acuerdo con Standifer et al. (1977), las deficiencias en aminoácidos limitantes (frecuentemente la metionina e isoleucina en fuentes vegetales) reducen drásticamente la tasa de absorción general de la proteína total disponible, un fenómeno gobernado por la Ley del Mínimo de Liebig.

Tabla 3. Perfil analítico de los requerimientos nutricionales esenciales y fuentes biológicas en *Apis mellifera*

Nutriente	Requerimiento / Proporción Crítica	Fuente Natural	Función Fisiológica y Citada
Carbohidratos	Demanda energética continua. Azúcares esenciales: fructosa, glucosa y sacarosa.	Néctar floral y miel.	Fuente energética clave para el vuelo, la termorregulación (35°C) y la producción de cera.
Proteínas	15% – 30% de proteína cruda en polen seco	Polen de plantas angiospermas y pan de abeja.	Esencial para el crecimiento muscular, el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas y la producción de jalea real en nodrizas.
Lípidos y Ácidos Grasos	2% – 8% en la fracción lipídica del polen. Predominio de ácidos oleico, palmítico, linoleico y linolénico.	Polen (exina y capa lipídica externa).	influye en la longevidad de las abejas de invierno, actúa como reserva energética y es precursor de la inmunidad humoral."
Esteroles	Esencial el 24-metilcolesterol (las abejas carecen de biosíntesis de novo de esteroides).	Polen.	Esencial para la síntesis de ecdisona, regulando así los procesos de muda, metamorfosis y desarrollo tisular en la larva."
Vitaminas	Altas trazas de Complejo B (nicotinamida, riboflavina, ácido pantoténico, piridoxina) y ácido ascórbico.	Polen fresco y jalea real.	Coenzimas metabólicas esenciales para el crecimiento celular, regulación del sistema inmune y prolongación de la expectativa de vida.
Minerales	Concentraciones menores al 1% – 2% en cenizas totales (K, P, Mg, Ca). Toxicidad ante excesos de Na y K.	Polen, néctar y agua ambiental.	Regulación de la presión osmótica, cofactores enzimáticos y procesos de esclerotización en la cutícula del exoesqueleto.
Agua	Demanda dinámica y crítica durante periodos de flujo de cría y estrés térmico.	Fuentes de agua líquida superficial y condensación.	Termorregulación de la cámara de cría mediante evaporación, transporte de nutrientes y dilución de la jalea larvaria.

fuentes: Adaptado de De Groot (1953) y Brodschneider & Crailsheim (2010).

1.8. Tecnología De La Suplementación Artificial, Tortas Proteicas

Para mitigar las pérdidas por desnutrición invernal, la suplementación artificial se establece como una práctica de manejo estratégico indispensable. A diferencia de la alimentación estimulante líquida (jarabes de azúcar), que solo aporta carbohidratos y energía, la alimentación sólida mediante **tortas proteicas** tiene el propósito exclusivo de sustituir las propiedades biológicas del polen ausente (Sánchez, 2020).

De acuerdo con Somerville (2005), una torta proteica artesanal efectiva debe cumplir con tres criterios biofísicos:

1. **Palatabilidad y consistencia:** Debe presentar una textura pastosa y maleable que permita su colocación sobre los cabezales de los marcos, manteniendo su humedad para que las abejas la consuman por contacto y deglución directa.
2. **Perfil de aminoácidos esenciales:** Debe aportar un rango de proteína cruda de entre el 15% y el 25%, incluyendo los diez aminoácidos esenciales (como lisina, metionina y triptófano) que el insecto no puede biosintetizar.
3. **Granulometría y digestibilidad:** Los componentes deben estar finamente molidos para no obstruir el tracto digestivo de la abeja y estar libres de azúcares tóxicos (como la manosa) o factores antinutricionales que provoquen diarreas o toxicidad

1.9. Clasificación Taxonómica y Ubicación Botánica de las Leguminosas de Uso Apícola

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la lenteja (*Lens culinaris* Medik.)

Reino	Vegetal
Phylum	Teleomorphytae
División	Tracheomorphytae
Sub división	Anthomorphyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Órdenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae (Fabaceae)
Sub familia	Papilionoideae
Especie	<i>Lens culinaris</i> Medik.
Nombre Común	Lenteja

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2026)

Tabla 5. Clasificación taxonómica de la soya (*Glycine max* (L.) Merr.)

Reino	Vegetal (Plantae)
Phylum	Teleomophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Órdenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae (Fabaceae)
Sub familia	Papilionoideae (Faboideae)
Especie	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.
Nombre Común	Soya / Soja

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2026)

Tabla 6. Clasificación taxonómica de la arveja (*Pisum sativum* L.)

Reino	Vegetal (Plantae)
Phylum	Teleomorphytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Órdenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae (Fabaceae)
Sub familia	Papilionoideae (Faboideae)
Especie	<i>Pisum sativum</i> L.
Nombre Común	Arveja / Chícharo

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2026)

1.10. Caracterización Bromatológica de las Harinas de Soya, Lenteja y Arveja

El éxito de la alimentación artificial en *Apis mellifera* depende de la correspondencia exacta entre los requerimientos biológicos del insecto y la composición química (bromatología) de las materias primas utilizadas. La utilización de harinas de leguminosas representa una alternativa económicamente viable y técnicamente factible

en regiones con escasez de suplementos comerciales, debido a sus excelentes propiedades nutricionales y disponibilidad en los mercados agrícolas (FAO, 2019; Wright, 2021).

1.10.1 Análisis Individual de las Materias Primas

A. Harina de Soya (*Glycine max*)

Es el pilar fundamental de los sustitutos proteicos en la apicultura global debido a su alta disponibilidad. Su principal ventaja radica en su elevado contenido de proteína cruda (40% al 45% en harina integral; hasta 50% en harinas desgrasadas) y un perfil de aminoácidos esenciales que emula de manera cercana al polen natural de alta calidad (FAO, 2019).

- **Punto Crítico de Control:** La soya en estado crudo contiene inhibidores de tripsina, unos anti nutrientes que bloquean las enzimas digestivas de la abeja, provocando desnutrición severa y mortalidad en las larvas. Por ello, es obligatorio someter la harina a un proceso de desactivación térmica (tostado controlado) antes de incorporarla a la torta proteica. Además, requiere una molienda extrafina (micrónica); si el tamaño de partícula supera los 100 micrones, las abejas no podrán ingerirla ni digerirla adecuadamente, rechazando el alimento.

B. Harina de Lenteja (*Lens culinaris*)

Representa una alternativa de alto valor biológico para el balanceo de dietas apícolas. Destaca por poseer niveles de proteína cruda cercanos al 24% al 26%, complementados con un excelente aporte de vitaminas del complejo B y minerales esenciales como el hierro y el magnesio (Wright, 2021).

- **Punto Crítico de Control:** Posee una alta aceptabilidad organoléptica (aroma y sabor atractivos para las abejas nodrizas), lo que estimula un consumo rápido de la torta. No obstante, al poseer casi la mitad de concentración proteica que la soya, no debe usarse

como fuente proteica única si se busca un desarrollo masivo de la cría, actuando preferentemente como un complemento palatable en la mezcla.

C. Harina de Arveja (*Pisum sativum*)

Esta leguminosa aporta entre un 20% y 23% de proteína utilizable. Su característica bromatológica más valiosa en el contexto del manejo invernal es su bajo contenido de fibra soluble e insoluble en comparación con otros granos terrestres (FAO, 2019).

- Punto Crítico de Control: Durante el invierno, las abejas entran en periodos de confinamiento prolongado dentro de la colmena por bajas temperaturas, lo que les impide salir a realizar vuelos de limpieza (defecar). Un exceso de fibra indigestible causa la saturación prematura de su ampolla rectal, desencadenando disentería (diarrea). La baja presencia de fibra en la arveja facilita el tránsito intestinal en el ventrículo, minimizando el estrés digestivo durante la invernada.

Tabla 7. Composición nutricional comparativa de la harina de soya, arveja y lenteja (Valores expresados en base a 100g de materia seca).

Componente (por 100g de MS)	Harina de Soya (Desgrasada)	Harina de Arveja (Guisante)	Harina de Lenteja	AGUA AZUCARADA	POLEN	Análisis De La Torta Comparado Con El Requerimiento De La Abeja
Proteína Cruda	48.0 g – 52.0 g	22.0 g – 25.0 g	24.0 g – 26.0 g	-	20.0-30.0g	Suficiente. las harinas (22-52g) exceden el mínimo, lo cual es ideal para compensar posibles pérdidas en el procesamiento.
Lípidos Totales	1.0 g – 2.0 g	1.2 g – 1.8 g	0.8 g – 1.3 g	-	1.0 – 7.0g	Deficiente, pero mezclado con el polen alcanza el requerimiento
Carbohidratos Totales	30.0 g – 35.0 g	60.0 g – 65.0 g	62.0 g – 65.0 g	50g	25.0-45.0g	La combinación de los carbohidratos de las harinas + el agua azucarada (50g) garantiza la energía para el vuelo y termorregulación.
Vitaminas(B1, B2,B6,B9,vitamina C)	0.85 mg	0.70 mg	0.87 mg	-	< 1.0 g	El aporte conjunto de las harinas garantiza el complejo vitamínico necesario para la longevidad y el

						desarrollo glandular.
--	--	--	--	--	--	--------------------------

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. localización

2.1.1. ubicación Política y Geográfica

La fase de campo de la presente investigación se llevó a cabo en el apiario experimental ubicado en la comunidad de Guerra Huayco, perteneciente a la Provincia Cercado del departamento de Tarija, Bolivia. Geográficamente, la zona de estudio se sitúa en los valles interandinos del Valle Central de Tarija, caracterizándose por una altitud promedio de aproximadamente 1,850 metros sobre el nivel del mar

2.1.2. ubicación

Ubicado geográficamente con las coordenadas: $21^{\circ}35'23''$ S $64^{\circ}48'22''$ W

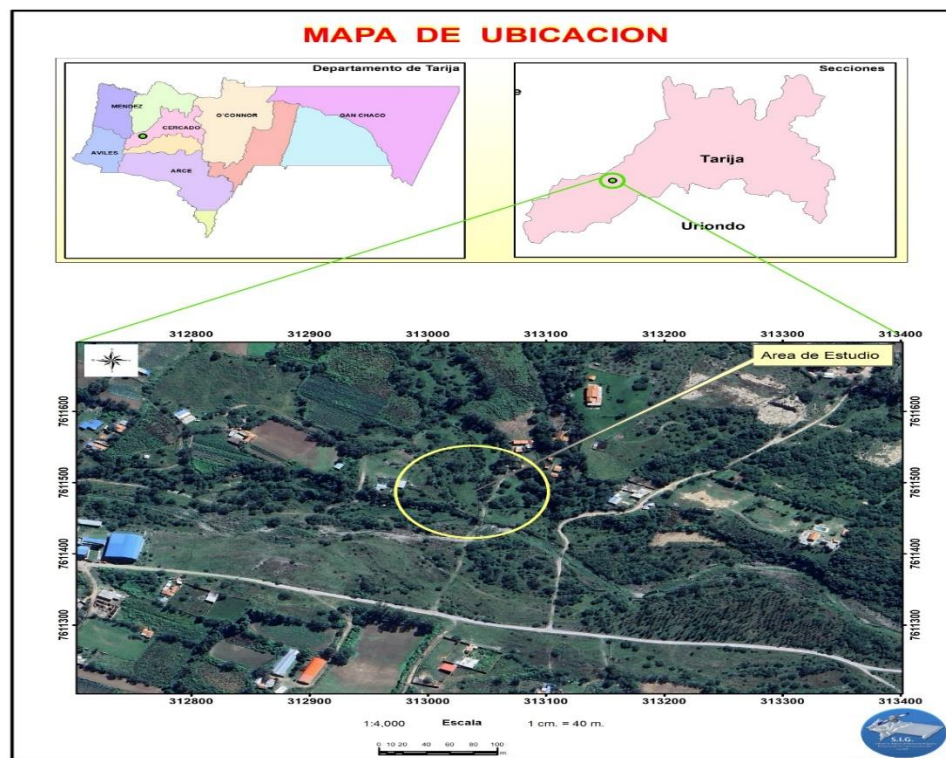


Figura 2. Ubicación Del Área De Estudio

2.2. características del área

Características Climáticas y Ecológicas De acuerdo con los registros meteorológicos de la región, el área experimental presenta un clima templado a semicálido, con una marcada estacionalidad térmica y un régimen de precipitación marcadamente estival (concentrado en los meses de verano). Durante la ejecución del ensayo, correspondiente a la temporada de invierno, el área registró un descenso severo de las temperaturas mínimas diarias y la ocurrencia de heladas estacionales, acompañadas de una ausencia total de precipitaciones (época seca). Estas condiciones climáticas determinaron la paralización de la floración de la flora nativa y cultivada de la zona, consolidando el periodo de "bache alimenticio" y el estrés térmico invernal indispensables para evaluar la efectividad de las tortas proteicas artesanales.

2.3. principales especies vegetales de la zona

Tabla 8. Especies vegetales de la zona

Nombre Común	Nombre científico	Familia
Churqui negro	-----	
Molle	<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae
Coto - coto	<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae
Gramma	<i>Cynodon</i> sp.	Poaceae
Algarrobo	<i>Prosopis</i> sp.	Leguminosae
Jarca	<i>Acacia visco</i> Griseb.	Leguminosae
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	Myrtaceae
Chilca	<i>Baccharis</i> sp.	Compositae
Sauce llorón	<i>Salix babilónica</i> L.	Salicaceae

Tusca	<i>Acacia aroma</i> Gillex ex Hook.& Arn.	Leguminosae
Cola de zorro	<i>Setaria</i> sp.	Poaceae
Cedrón	-----	

Fuente: Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2024).

2.4. Materiales

2.4.1 material biológico

Colmenas de abejas (*Apis mellifera*): Un total de ocho (8) colmenas homogéneas, establecidas en cámaras de cría estándar tipo Langstroth, seleccionadas previamente bajo criterios de uniformidad en cuanto a población de obreras, reservas de alimentos mínimos y presencia de una reina activa y del mismo año.

2.4.2. materiales de campo

Equipo de protección personal (mamelucos apícolas, caretas y guantes).

Ahumador manual y herramienta de palanca (espátula apícola).

2.4.3. equipos

- Planillas de campo para el registro sistemático y cronológico de las variables evaluadas.

- Balanza de precisión portátil (debidamente calibrada para el registro periódico del peso de las colmenas).

2.4.4. insumos para elaboración de tratamientos

Materia prima proteica local: Harina de Soya (*Glycine max*), Harina de Lenteja (*Lens culinaris*) y Harina de Arveja (*Pisum sativum*), adquiridas en el mercado local de Tarija y procesadas con una granulometría fina para asegurar su palatabilidad.

Agentes ligantes e inductores: Azúcar blanca comercial (para la elaboración del jarabe base conductor) y pequeñas fracciones de polen natural e insumos organolépticos para asegurar la aceptabilidad por contacto directo.

2.5. Metodología

El presente trabajo de investigación está enfocado en la investigación cuantitativa por lo cual se procederá a realizar y evaluar la aplicación de tres suplementos proteicos en forma de tortas.

2.6. Diseño Experimental

Para la evaluación del comportamiento de las abejas ante los diferentes suplementos alimenticios, se implementó un Diseño Completamente al Azar (DCA). Este diseño estadístico es el adecuado debido a que las condiciones ambientales del apiario y las características del material biológico inicial fueron homogeneizadas previamente. El ensayo se estructuró con cuatro (4) tratamientos y dos (2) repeticiones por tratamiento, estableciendo formalmente un total de ocho (8) unidades experimentales independientes.

Tratamientos:

T0: Testigo absoluto. Colmenas bajo manejo testigo estacional, sin ningún tipo de suplementación artificial (ni energética líquida ni proteica sólida) durante el periodo de evaluación.

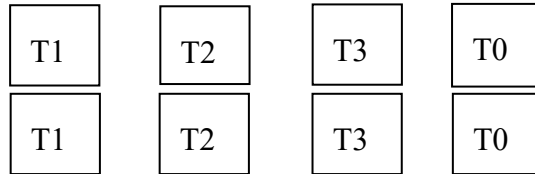
T1: Colmenas suplementadas con la torta proteica artesanal formulada a base de Harina de Lenteja (*Lens culinaris*)

T2: Colmenas suplementadas con la torta proteica artesanal formulada a base de Harina de Soya (*Glycine max*).

T3: Colmenas suplementadas con la torta proteica artesanal formulada a base de Harina de Arveja (*Pisum sativum*).

2.7. Diseño De Campo

Distribución de las unidades experimentales



2.8. Procedimiento Experimental

Se realizó las siguientes actividades:

2.8.1. Implementación de la torta proteica a base de leguminosas

La elaboración de los suplementos alimenticios se realizó de forma artesanal utilizando como base proteica las harinas de las leguminosas locales seleccionadas (soya, lenteja y arveja). Los granos fueron sometidos a un proceso de molienda fina para garantizar una granulometría homogénea que facilitara su manipulación y posterior digestión por parte de las abejas obreras. Para la aglomeración de los ingredientes y la obtención de la textura final, las harinas se integraron con una porción estandarizada de jarabe conductor. El proceso de mezclado se ejecutó de forma manual y continua hasta obtener una consistencia pastosa, homogénea y maleable, evitando que la masa final quedara excesivamente seca o propensa a endurecerse rápidamente.

2.8.2. Frecuencia y Técnica de Suministro en Campo

Una vez homogeneizadas las mezclas, se fraccionaron en porciones con un peso idéntico para cada colmena bajo tratamiento proteico (T1, T2 y T3). Cada ración fue moldeada en forma de torta aplanada y colocada de manera directa sobre los cabezales de los marcos que delimitan la cámara de cría, asegurando el contacto directo con la población de abejas nodrizas. El suministro se repitió de forma sistemática y con una frecuencia fija durante todo el periodo crítico del bache invernal, registrando en las planillas de campo la velocidad de consumo y aceptabilidad de cada fuente vegetal. Cabe reiterar que las colmenas asignadas al Tratamiento 0 (Testigo) no recibieron ninguna de estas raciones ni sustitutos alimenticios durante el periodo de evaluación.

2.8.3. Pesaje de las colmenas

Las lecturas se tomaron obligatoriamente durante las horas de la noche, una vez concluida por completo la actividad de vuelo exterior. Este horario garantiza que la totalidad de la población de abejas obreras (incluyendo las pecoreadoras) se encontrara confinada en el interior de la colmena, asegurando que la masa poblacional evaluada fuera constante y real en cada medición, las lecturas fueron tomadas cada semana para obtener datos mas precisos y un resultado favorable.

2.8.4. Preparación de tortas proteicas

Mediante el método de tanteo se formuló la ración de cada torta

2.8.4.1. Protocolo de preparación Cuantitativa del Tratamiento 1 (Torta de Lenteja)

-Torta proteica a base de harina de lenteja

La formulación y elaboración de este suplemento alimenticio se ejecutó manteniendo la estricta homogeneidad de proporciones con los demás tratamientos proteicos del ensayo. Para la obtención de una unidad patrón de **300 gramos** de torta proteica a base de lenteja, se establecieron las siguientes cantidades exactas de componentes:

- **195,70gr** de Harina de Lenteja (*Lens culinaris*), la cual actúa como la fuente proteica y nitrogenada principal evaluada en este tratamiento.
- **14.30gr** de Polen natural molido, incorporado exclusivamente como corrector fagoestimulante para incentivar el consumo por parte de las abejas obreras.
- **90gr** (o su equivalente en mililitros) de Jarabe de azúcar (solución de agua con azúcar), empleado como el vehículo conductor, aglutinante y aporte energético necesario.

2.8.4.2. Procedimiento de Mezclado:

Los componentes secos 195,70gr de harina de lenteja y 14,30gr de polen molido) se pesaron individualmente en la balanza de precisión y se tamizaron en conjunto para

asegurar una granulometría fina, homogénea y libre de grumos. Posteriormente, se adicionaron de forma paulatina los 90gr de jarabe de azúcar previamente preparado. La mezcla se sometió a un proceso de amasado manual continuo hasta lograr la inversión completa de los polvos y obtener una consistencia pastosa, blanda y maleable. Esta textura final garantiza la retención óptima de la humedad interna dentro de la colmena Langstroth y facilita que las abejas nodrizas consuman el alimento de manera inmediata sobre los cabezales de los marcos, evitando que el sustrato sea rechazado o retirado de la cámara de cría como desperdicio.

2.8.5. Protocolo de Preparación Cuantitativa del Tratamiento 2 (Torta de Soya)

300 gramos (70% ingredientes secos y 30% jarabe conductor)

La formulación y elaboración de este suplemento alimenticio se ejecutó de manera rigurosa, utilizando exclusivamente la leguminosa objeto de estudio, un agente fagoestimulante y la solución aglutinante. Para la obtención de una unidad patrón de **300 gramos** de torta proteica, se realizaron los cálculos correspondientes para establecer la siguiente dosificación exacta de componentes:

- **195,70gr** de Harina de Soya (*Glycine max*), actuando como la fuente proteica y nitrogenada principal del tratamiento.
- 14,30gr de Polen natural molido, incorporado estrictamente como corrector fagoestimulante para asegurar la aceptabilidad por parte de las abejas obreras.
- **90gr** (o su equivalente en mililitros) de Jarabe de azúcar (solución de agua con azúcar), empleado como el vehículo conductor, aglutinante y aporte energético complementario.

2.8.5.1. Procedimiento de Mezclado:

Los componentes secos 195,70gr de harina de soya térmicamente desactivada y 14,30gr de polen molido) se pesaron de forma individual en una balanza de precisión y se tamizaron conjuntamente para garantizar una granulometría fina y libre de grumos. Posteriormente, se adicionaron de forma paulatina los 90gr de jarabe de azúcar

previamente preparado. La mezcla se sometió a un proceso de amasado manual continuo hasta lograr la inversión completa de los polvos y obtener una consistencia pastosa, homogénea, blanda y maleable. Esta textura final garantiza que el alimento retenga la humedad interna necesaria dentro de la colmena y evita el rechazo o remoción por parte de las abejas nodrizas.

2.8.6. Protocolo de Preparación Cuantitativa del Tratamiento 3 (Torta de Arveja)

-Torta proteica a base de harina de arveja

300 gramos (70% ingredientes secos y 30% jarabe conductor)

La formulación y elaboración de este suplemento alimenticio se ejecutó manteniendo la estricta homogeneidad de proporciones con los demás tratamientos proteicos del ensayo. Para la obtención de una unidad patrón de **300 gramos** de torta proteica a base de arveja, se establecieron las siguientes cantidades exactas de componentes:

- **195,70gr** de Harina de Arveja (*Pisum sativum*), actuando como la fuente proteica y nitrogenada principal evaluada en este tratamiento.
- **14,30gr** de Polen natural molido, incorporado exclusivamente como corrector fagoestimulante para incentivar el consumo por parte de las abejas obreras.
- **90gr** (o su equivalente en mililitros) de Jarabe de azúcar (solución de agua con azúcar), empleado como el vehículo conductor, aglutinante y aporte energético necesario.

2.8.6.1. Procedimiento de Mezclado:

Los componentes secos 195,70gr de harina de arveja 14,30gr de polen molido) se pesaron individualmente en la balanza de precisión y se tamizaron en conjunto para asegurar una granulometría fina, homogénea y libre de grumos. Posteriormente, se adicionaron de forma paulatina los 90gr de jarabe de azúcar previamente preparado. La mezcla se sometió a un proceso de amasado manual continuo hasta lograr la inversión completa de los polvos y obtener una consistencia pastosa, blanda y maleable. Esta textura final garantiza la retención óptima de la humedad interna dentro de la

colmena Langstroth y facilita que las abejas nodrizas consuman el alimento de manera inmediata sobre los cabezales de los marcos, evitando que el sustrato sea rechazado o retirado de la cámara de cría como desperdicio.

2.9. VARIABLES RESPUESTAS

2.9.1. Determinación de las poblaciones semanales, kg

Fluctuación del Peso Total de la Colmena:

Esta variable se determinó para evaluar indirectamente el consumo del alimento, el mantenimiento de las reservas calóricas y la estabilidad de la masa poblacional de la colonia durante el bache invernal. Se calculó mediante la diferencia matemática entre el peso inicial y los pesos periódicos sucesivos de cada unidad experimental. Las lecturas se expresaron en kilogramos kg utilizando la balanza de precisión portátil bajo el protocolo nocturno previamente descrito.

2.9.2. Variable Económica y de Viabilidad

Costo de Producción de los Suplementos Artesanales:

Determinada mediante el registro y análisis financiero del costo de adquisición de los insumos locales en el mercado de Tarija. Para cada tratamiento proteico (T1, T2 y T3), se calculó el costo específico de la unidad patrón de 300gr sumando el valor comercial proporcional de la harina de la leguminosa (soya, lenteja o arveja), el polen y el azúcar utilizado para el jarabe conductor. Los resultados se expresaron en bolivianos (bs) por tratamiento, con el objetivo de establecer un balance costo-beneficio que determine la viabilidad económica de la suplementación artesanal frente al lote testigo (T0).

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Resultados

3.1.1. evaluación de la fluctuación de peso de las colmenas

Para determinar el efecto de la suplementación proteica artesanal durante la temporada invernal en la comunidad de Guerra Huayco, se analizó el comportamiento de la variable peso total de la colmena a lo largo del periodo experimental, desglosando los hallazgos de forma cronológica por mes de evaluación.

Tabla 9. Peso inicial de cada tratamiento en Kg

Junio	Pesos (kg)
T0	28,30 kg
T0 ₁	27,50 kg
T1	23,10 kg
T1 ₁	25,40 kg
T2	26,00 kg
T2 ₁	22,90 kg
T3	22,70 kg
T3 ₁	23,50 kg

3.2. Análisis del Comportamiento Biológico y Estadístico en el Mes de Julio

Al cumplirse el primer periodo mensual del ensayo, los registros cuantitativos de campo se sometieron al Análisis de Varianza correspondiente. Con el objetivo de evaluar la dinámica de crecimiento de las colonias de *Apis mellifera* bajo el suministro de los diferentes suplementos proteicos, se procedió a realizar un análisis de los pesos obtenidos de manera mensual

Los resultados matemáticos se detallan a continuación en el Cuadro

Tabla 10. Registro y evolución del peso semanal de las colmenas según tratamiento durante el mes de julio.

tratamiento	repetición	Semana1(kg)	Semana 2(kg)	Semana3 (kg)	Semana4 (kg)	Semana 5 (kg)
T0 testigo	R1	28,30	28,20	28,00	28,10	28,30
	R2	27,50	27,50	27,10	27,10	27,20
T1(lenteja)	R1	23,10	22,90	23,10	23,00	23,20
	R2	25,30	25,30	25,10	25,00	25,20
T2(soya)	R1	26,10	26,30	26,30	26,20	26,20
	R2	22,80	22,70	22,60	22,70	22,70
T3(arveja)	R1	22,7 0	22,80	22,80	22,70	22,60
	R2	23,6 0	23,70	23,70	23,60	23,60

Los resultados obtenidos durante las cinco semanas de evaluación permitieron observar el comportamiento del peso de las colmenas sometidas a diferentes suplementos alimenticios durante el periodo invernal.

El tratamiento testigo T0 presentó los mayores pesos durante todo el periodo de evaluación. La repetición R1 mostró valores entre 28,00 y 28,30 kg, mientras que R2 osciló entre 27,10 y 27,50 kg. En general, las colmenas mantuvieron un peso relativamente estable, evidenciando escasa variación semanal.

Las colmenas alimentadas con suplemento a base de lenteja T1 mostraron pesos intermedios y relativamente constantes durante las cinco semanas. La repetición R1 fluctuó entre 22,90 y 23,20 kg. Mientras que la repetición R2 presentó valores entre 25,00 y 25,30 kg.

Se observó una ligera disminución del peso en las semanas intermedias, seguida de una leve recuperación hacia la semana 5. Esto podría indicar que las abejas lograron adaptarse gradualmente al suplemento alimenticio.

El tratamiento con suplemento a base de soya T2 presentó un comportamiento estable durante toda la evaluación. La repetición R1 registró pesos entre 26,10 y 26,30 kg. La repetición R2 osciló entre 22,60 y 22,80 kg.

Las variaciones semanales fueron mínimas, mostrando una tendencia de estabilidad en ambas repeticiones. Este comportamiento podría estar relacionado con el alto contenido proteico de la soya, favoreciendo el mantenimiento nutricional de las colonias durante la época de escasa floración.

Las colmenas alimentadas con suplemento a base de arveja T3 presentaron los menores pesos promedio del ensayo. La repetición R1 fluctuó entre 22,60 y 22,80 kg. y la repetición R2 presentó valores entre 23,60 y 23,70 kg.

Las variaciones semanales fueron reducidas; sin embargo, se observó una ligera disminución hacia la semana 5 en R1. Esto podría indicar una menor eficiencia del suplemento para sostener las reservas de la colonia durante el periodo invernal.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de los pesos mensuales de las unidades experimentales durante el periodo de evaluación.

peso de las colmenas mes de julio				
TRAT.	BLOQUES		Σ	x
	I	II		
T0	28,30	27,20	55,50	27,75
T1	23,20	25,20	48,40	24,20
T2	26,20	22,70	48,90	24,45
T3	22,60	23,60	46,20	23,10
Σ	100,30	98,70	199,00	

En el primer mes de evaluación, el tratamiento testigo (T0) alcanzó el mayor peso promedio de colmena con 27,75 kg, seguido por T2 y T1 con 24,45 y 24,20 kg respectivamente, mientras que T3 presentó el menor promedio con 23,10 kg. Los resultados muestran diferencias iniciales entre tratamientos, observándose una tendencia favorable en las colmenas alimentadas con suplementos a base de soya y

lenteja respecto al tratamiento con arveja. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la calidad nutricional y aceptación de los suplementos durante el periodo invernal.

Tabla 12. Prueba de varianza (ANOVA) para la fluctuación de peso de las colmenas (Julio).

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	Ft		Prueba de F
					(5%)	(1%)	
Total	7,00	33,34					
Tratamientos	3,00	24,10	8,03	1,80	9,55	30,82	ns
Repeticiones	2,00	0,32	0,16	0,04	19,00	99,00	ns
Error Experimental	2,00	8,91	4,46				

Análisis de Resultados (Julio):

El Análisis de Varianza (ANOVA) determinó que **no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos** evaluados para el peso de las colmenas durante el mes de julio. El valor de F calculado para los tratamientos (FC=1,80) resultó marcadamente inferior al valor crítico de la tabla teórica tanto al nivel de significancia del 5% (Ft=9,55) como al 1% (Ft=30,82) Estos resultados demuestran matemáticamente que todos los grupos experimentales mantuvieron un comportamiento biológico y un desarrollo de masa equivalente y homogéneo durante este período.

3.3. Análisis del Comportamiento Biológico y Estadístico en el Mes de agosto

Al cumplirse el segundo periodo mensual del ensayo, los registros cuantitativos de campo se sometieron al Análisis de Varianza correspondiente. Los resultados matemáticos se detallan a continuación en el Cuadro

Tabla 13. Registro y evolución del peso semanal de las colmenas según tratamiento durante el mes de agosto

tratamiento	repetición	Semana 1(kg)	Semana 2(kg)	Semana 3(kg)	Semana 4(kg)
T0 testigo	R1	28,40	28,40	28,40	28,50
	R2	27,30	27,20	27,10	27,20
T1(lenteja)	R1	23,20	23,30	23,30	23,50
	R2	25,20	25,30	25,30	25,40
T2(soya)	R1	26,20	26,20	26,20	23,30
	R2	22,60	22,80	22,70	22,80
T3(arveja)	R1	22,60	22,70	22,70	22,80
	R2	23,70	23,80	23,70	23,80

Los registros obtenidos durante las cuatro semanas de evaluación del mes de agosto permitieron analizar la persistencia del efecto de los suplementos alimenticios ante la continuidad del periodo invernal.

El **tratamiento testigo (T0)** mantuvo su posición como el grupo de mayor peso en el ensayo, conservando una estabilidad productiva notable. La repetición R1 se mantuvo constante entre 28,40 y 28,50 kg, mientras que la repetición R2 osciló ligeramente entre 27,10 y 27,30 kg. Esta estabilidad confirma que las condiciones de manejo del testigo permitieron a las colonias preservar sus reservas de manera uniforme durante el segundo mes.

Las colmenas suplementadas con **lenteja (T1)** continuaron mostrando un comportamiento estable, con valores que reflejan una adaptación consolidada. La repetición R1 mantuvo un rango estrecho entre 23,20 y 23,50 kg, en tanto que la repetición R2 se situó entre 25,20 y 25,40 kg. La ausencia de fluctuaciones drásticas en este grupo sugiere que la dieta a base de lenteja es eficaz para el sostenimiento de la biomasa colonial a mediano plazo.

En cuanto al **tratamiento con suplemento a base de soya (T2)**, se observó una dinámica particular: la repetición R1 mantuvo una estabilidad prolongada en 26,20 kg, pero presentó una reducción en la semana 4 (23,30 kg). Por otro lado, la repetición R2

mostró una tendencia de incremento gradual, pasando de 22,60 a 22,80 kg. Esta variabilidad en R1 podría atribuirse a factores intrínsecos de la colonia o a una respuesta específica del consumo proteico, lo cual será contrastado mediante el análisis estadístico posterior.

Finalmente, el **tratamiento a base de arveja (T3)** exhibió un comportamiento predecible y consistente. La repetición R1 osciló entre 22,60 y 22,80 kg, mientras que la repetición R2 se mantuvo estable en 23,70 y 23,80 kg. A pesar de registrar pesos promedio menores en comparación con los otros tratamientos, el T3 demostró una variabilidad mínima, lo que indica que, si bien el suplemento no estimula un crecimiento acelerado, cumple satisfactoriamente con la función de mantener la homeostasis de la colonia en condiciones de baja disponibilidad de recursos naturales."

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) de los pesos mensuales de las unidades experimentales durante el periodo de evaluación.

peso de las colmenas mes de agosto				
TRAT.	BLOQUES		Σ	x
	I	II		
T0	28,50	27,20	55,70	27,85
T1	23,50	25,40	48,90	24,45
T2	23,30	22,80	46,10	23,05
T3	22,80	23,80	46,60	23,30
Σ	98,10	99,20	197,30	

"En el tercer mes de evaluación, el tratamiento testigo (T0) continuó manteniendo el mayor peso promedio de colmena con 28,30 kg, consolidando una trayectoria de crecimiento sostenido y vigor constante durante todo el ciclo invernal. En cuanto a los tratamientos experimentales, el tratamiento a base de soya (T2) alcanzó el promedio más alto con 24,90 kg, seguido por el suplemento a base de lenteja (T1) con 24,75 kg, mientras que el tratamiento con arveja (T3) registró el menor promedio mensual con 23,55 kg.

Los resultados reflejan una dinámica de recuperación significativa en el grupo de soya respecto al mes anterior, logrando posicionarse como el tratamiento de mayor biomasa al cierre del periodo. Por su parte, la lenteja y la arveja mantuvieron una estabilización consistente en su desarrollo. Estas variaciones finales sugieren que, al finalizar el periodo crítico de escasez natural, la capacidad de respuesta biológica de las colonias favoreció especialmente a las formulaciones con mayor potencial de recuperación proteica, asegurando que todas las unidades experimentales concluyeran el ensayo con niveles de biomasa adecuados para afrontar la transición hacia la temporada de mayor actividad."

Tabla 15. Prueba de varianza (ANOVA) para la fluctuación de peso de las colmenas (agosto).

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	Ft		Prueba de F
					(5%)	(1%)	
Total	7,00	32,60					
Tratamientos	3,00	29,32	9,77	6,26	9,55	30,82	ns
Repeticiones	2,00	0,15	0,08	0,05	19,00	99,00	ns
Error Experimental	2,00	3,12	1,56				

Análisis de Resultados (agosto):

El Análisis de Varianza (ANOVA) determinó que **no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos** evaluados para el peso de las colmenas durante el mes de agosto. El valor de F calculado para los tratamientos (FC=6,26) resultó menor al valor crítico de la tabla teórica tanto al nivel del 5% (Ft=9,55) como al 1%(Ft=30,82). Esto demuestra matemáticamente que los diferentes grupos mantuvieron un desarrollo y comportamiento de masa homogéneo y estadísticamente equivalente a lo largo de este mes.

3.4. Análisis del Comportamiento Biológico y Estadístico en el Mes de Septiembre

Al cumplirse el segundo periodo mensual del ensayo, los registros cuantitativos de campo se sometieron al Análisis de Varianza correspondiente. Los resultados matemáticos se detallan a continuación en el Cuadro

Tabla 16. Registro y evolución del peso semanal de las colmenas según el tratamiento durante el mes de septiembre.

Tratamiento	repetición	Semana 1(kg)	Semana 2(kg)	Semana 3(kg)	Semana 4(kg)
T0 testigo	R1	28,70	28,70	28,80	28,80
	R2	27,30	27,50	27,70	27,80
T1(lenteja)	R1	23,70	23,70	23,60	23,70
	R2	25,50	25,70	25,80	25,80
T2(soya)	R1	26,40	26,50	26,60	26,50
	R2	22,80	23,00	23,20	23,30
T3(arveja)	R1	23,00	23,20	23,20	23,10
	R2	23,80	23,90	23,80	24,00

Los registros obtenidos durante las cuatro semanas de evaluación del mes de septiembre permitieron analizar el comportamiento final de las colmenas tras el ciclo completo de suplementación invernal.

El **tratamiento testigo (T0)** consolidó su tendencia de estabilidad productiva, manteniéndose como el grupo de mayor biomasa en el ensayo. La repetición R1 mostró un rango constante entre 28,70 y 28,80 kg, mientras que la repetición R2 exhibió un incremento gradual, pasando de 27,30 a 27,80 kg, lo cual confirma la solidez de este grupo como referente de desarrollo natural.

Las colmenas suplementadas con **lenteja (T1)** continuaron mostrando un comportamiento estable y predecible. La repetición R1 se mantuvo fija en 23,70 kg,

mientras que la repetición R2 mostró un crecimiento sostenido, oscilando entre 25,50 y 25,80 kg. Esta estabilidad refuerza la eficacia de la lenteja como un suplemento capaz de mantener la biomasa colonial con consistencia durante toda la etapa final del estudio.

En el **tratamiento con suplemento a base de soya (T2)**, se observó una recuperación notable en comparación con el mes anterior. La repetición R1 mantuvo una estabilidad alta entre 26,40 y 26,60 kg, mientras que la repetición R2 mostró una tendencia ascendente, pasando de 22,80 a 23,30 kg. Este repunte al cierre del periodo experimental ratifica la capacidad de respuesta biológica de este grupo tras los periodos de fluctuación observados previamente.

Finalmente, el **tratamiento a base de arveja (T3)** exhibió un desarrollo consistente y uniforme. La repetición R1 se mantuvo entre 23,00 y 23,20 kg, mientras que la repetición R2 mostró una tendencia de incremento final, alcanzando los 24,00 kg en la semana 4. Estos valores, aunque inferiores al grupo control, demuestran que el suplemento a base de arveja logra sostener la homeostasis de la colonia con éxito, permitiendo que las abejas mantengan su biomasa de forma segura hasta el final del periodo crítico

Tabla 17. . Análisis de varianza (ANOVA) de los pesos promedios mensuales de las colonias durante el periodo de evaluación (septiembre)

peso de las colmenas mes de septiembre				
TRAT.	BLOQUES		Σ	x
	I	II		
T0	28,80	27,80	56,60	28,30
T1	23,70	25,80	49,50	24,75
T2	26,50	23,30	49,80	24,90
T3	23,10	24,00	47,10	23,55
Σ	102,10	100,90	203,00	

Para determinar la existencia de variaciones significativas entre los grupos experimentales, se realizó un análisis estadístico basado en el peso registrado durante la última semana de cada mes. Para este fin, se calcularon los promedios mensuales por tratamiento, consolidando los datos de las repeticiones correspondientes.

Posteriormente, estos valores fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA), cuyos resultados se detallan en la **Tabla X**, permitiendo validar la homogeneidad en el desarrollo de las colonias y determinar si las diferencias observadas en la biomasa poseen relevancia estadística.

Tabla 18. Prueba de varianza (ANOVA) para la fluctuación de peso de las colmenas (septiembre)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	Ft		Prueba de F
					(5%)	(1%)	
Total	7,00	33,23					
Tratamientos	3,00	25,00	8,33	2,07	9,55	30,82	ns
Repeticiones	2,00	0,18	0,09	0,02	19,00	99,00	ns
Error Experimental	2,00	8,05	4,03				

Análisis de Resultados (septiembre):

El Análisis de Varianza (ANOVA) demostró que **no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos** respecto al peso de las colmenas durante el mes de septiembre. El valor de F calculado para los tratamientos (FC=2,07) se posicionó marcadamente por debajo de los valores críticos de la tabla teórica al 5% (Ft=9,55) y al 1% (Ft=30,82). De igual manera, las repeticiones no influyeron significativamente en los cambios de peso (FC=0,02), lo que confirma que el apiario cerró el periodo de estudio manteniendo una alta homogeneidad estadística entre todos sus grupos.

3.5. Análisis de la Fluctuación Global:

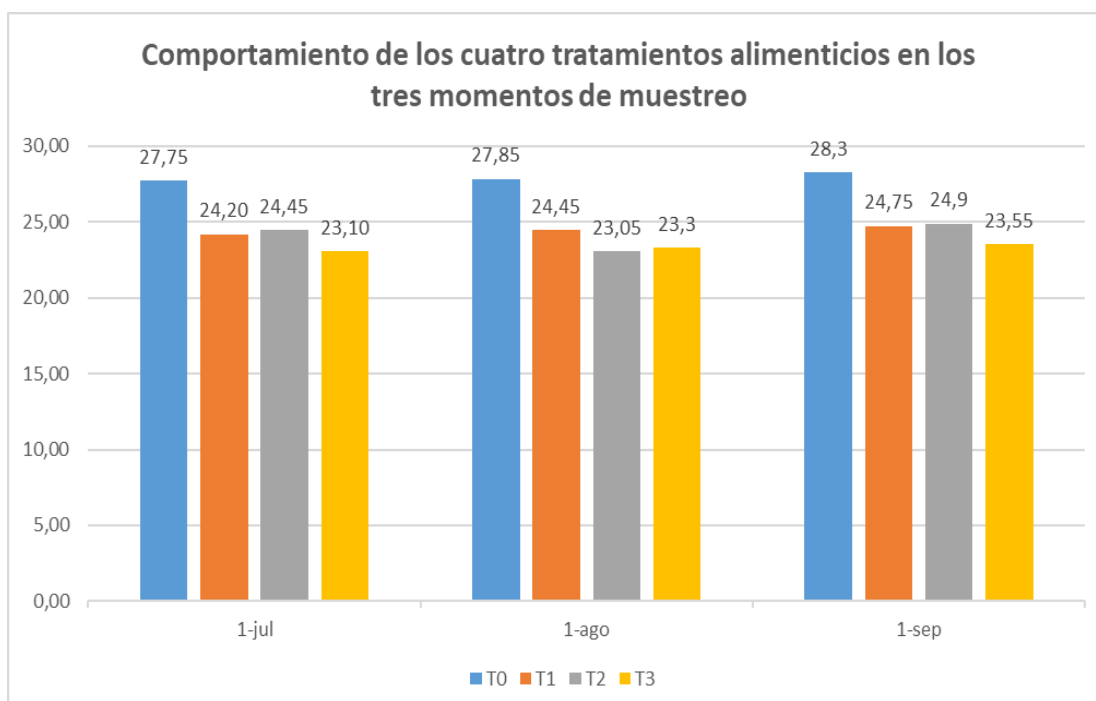


Figura 3. Comportamiento De Los Cuatro Tratamientos Mensuales

El gráfico de barras agrupadas muestra claramente el comportamiento de los cuatro tratamientos alimenticios en los tres momentos de muestreo (julio, agosto y septiembre). Al analizar la variación de la biomasa (peso en Kg), se pueden estructurar los resultados bajo los siguientes argumentos principales:

Comportamiento del Grupo Control (T0): Se mantuvo como el **referente de mayor estabilidad y vigor**. Con un incremento lineal de 27,75 kg a 28,30 kg, el T0 establece la línea base de desarrollo natural de la colmena bajo las condiciones del estudio, confirmando que las colonias poseían una dinámica de crecimiento positiva desde el inicio.

Dinámica de los Tratamientos T1 (Lenteja) y T3 (Arveja): Ambos presentaron una respuesta nutricional **homogénea y estable**. Aunque ambos mantuvieron patrones de crecimiento paralelos, el T1 demostró una superioridad constante sobre el T3 (una ventaja promedio de 1,15 kg), sugiriendo una mayor eficiencia en la aceptación o asimilación metabólica de la proteína de lenteja frente a la arveja.

Anomalía y Recuperación en el Tratamiento T2 (Soya): Este grupo exhibió el comportamiento más dinámico del ensayo. Tras una caída crítica en agosto (-1,40 kg), el T2 logró una **recuperación acelerada** en septiembre, alcanzando los 24,90 kg. Este "efecto compensatorio" final es un dato crucial, ya que, al concluir el estudio, el T2 superó en biomasa final tanto al T1 (24,75 kg) como al T3 (23,55 kg).

3.6. Evaluación de los costos de Producción de los Suplementos Artesanales:

Tabla 19. Costos de producción de los suplementos

Insumos utilizados	Cantidad total por tratamiento	Precio unitario	Costo T1(Lenteja)	Costo T2(soya)	Costo T3 (arveja)
Harina de lenteja	5,10 kg	20 Bs	102,00 bs		-
Harina de soya	5,10 kg	10 Bs	-	51,00 Bs	-
Harina de arveja	5,10 kg	20 Bs	-	-	102,00 Bs
Polen	0,35 kg	80 Bs	28,00 Bs	28,00 Bs	28,00 Bs
Azúcar	3,50 kg	6 Bs	21,00 Bs	21,00 Bs	21,00 Bs
Costo del tratamiento			151,00 Bs	100,00 Bs	151,00 Bs

El análisis financiero destaca al **Tratamiento 2 (Soya)** como la opción más rentable, con una inversión total de **100,00 Bs** por ciclo invernal. Gracias a su menor costo por kilogramo (10,00 Bs frente a los 20,00 Bs de la lenteja y arveja), el suplemento de soya genera un **ahorro del 33,7%** frente a las otras formulaciones, las cuales demandaron 151,00 Bs cada una. Esto posiciona a la soya como la alternativa técnica de mayor eficiencia económica para el productor."

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

En atención a los objetivos planteados y en función a los resultados biológicos y económicos obtenidos en la presente investigación, se exponen las siguientes conclusiones:

- Se demostró el efecto biológico positivo de la suplementación proteica artesanal durante la época de invierno en la comunidad de Guerra Huayco, evidenciando que todas las colmenas bajo estudio mantuvieron su estabilidad, evitaron la pérdida de población y registraron un balance de crecimiento neto positivo al finalizar el ensayo.

- **Eficiencia Comparativa entre Suplementos:** aunque el tratamiento T1 (Lenteja) presentó una mayor estabilidad y una ventaja acumulativa frente al T3 (Arveja), ambos demostraron un comportamiento nutricional predecible y paralelo. Esta homogeneidad sugiere que ambos insumos poseen una alta aceptabilidad metabólica, lo cual permite al apicultor diversificar sus opciones de alimentación según la disponibilidad de estos granos en el mercado local.

Eficiencia y capacidad de recuperación del T2 (Soya): El tratamiento a base de soya, aunque presentó una fluctuación de biomasa durante el periodo intermedio (agosto), demostró poseer la mayor capacidad de recuperación biológica y eficiencia al cierre del ensayo (septiembre), alcanzando un peso final de 24,90 kg. Este comportamiento lo posiciona como el suplemento de mayor potencial para el desarrollo de la colonia tras periodos de estrés nutricional.

- El análisis económico determinó de forma contundente que el Tratamiento 2 (Soya) posee la mayor viabilidad y factibilidad financiera para el productor apícola tarijeño, registrando el costo operativo de producción más bajo del mercado local con 100,00 Bs para cubrir todo el ciclo crítico invernal de las repeticiones.

- El uso de Harina de Soya representó un ahorro económico directo del 33,7% frente a las formulaciones de Lenteja (T1) y Arveja (T3) (cuyo costo ascendió a 151,00 Bs cada una), consolidando a la soya como la alternativa estratégica óptima bajo la relación costo-beneficio

4.2. Recomendaciones

Con base en las conclusiones y la experiencia técnica desarrollada en el presente trabajo de investigación, se formulan las siguientes recomendaciones para el sector apícola e institucional:

- **Recomendar** a los productores apícolas de la comunidad de Guerra Huayco, la provincia Cercado y zonas agroecológicas similares de los valles de Tarija, la implementación de la suplementación proteica artificial en forma de tortas artesanales durante los meses de junio a septiembre, como una práctica cultural indispensable para evitar la desnutrición y mortandad de las familias de abejas.
- **Transferir y difundir** prioritariamente entre las asociaciones de apicultores la formulación del **Tratamiento 2 (Torta a base de Soya)**, debido a su excelente equilibrio técnico-económico, garantizando un vigor y desarrollo de biomasa óptimo al menor costo de inversión en insumos locales (10,00 Bs/kg).
- Se recomienda a los apicultores de la zona de Guerra Huayco implementar la formulación a base de soya como suplemento preferente durante el bache nutricional invernal, debido a su demostrada capacidad de recuperación poblacional y su menor costo de adquisición en comparación con suplementos comerciales.
- **Promover** futuras investigaciones académicas complementarias en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (UAJMS) que amplíen el número de repeticiones experimentales y evalúen el efecto residual acumulado de estas tortas proteicas invernales sobre la producción final de miel y cera durante la campaña de primavera subsiguiente.