

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía



TESIS

“EFECTO BIOINSECTICIDA DE *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* SOBRE EL GORGOJO DE LOS ANDES (*Premnotrypes* sp.) EN EL CULTIVO DE LA PAPA EN CHOTA - CAJAMARCA”

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

JOSÉ ESTEBAN DELGADO QUINTANA

ASESOR:

Ing. ALONSO VELA AHUMADA

CAJAMARCA - PERÚ

-2025-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

Investigador: José Esteban Delgado Quintana

1. **DNI:** 76524970

Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía

2. **Asesor:** Ing. Alonso Vela Ahumada.

3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias

4. **Grado académico o título profesional:**

Bachiller Título profesional Segunda especialidad

Maestro Doctor

5. **Tipo de Investigación:**

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

6. **Título de Trabajo de Investigación:** "EFECTO BIOINSECTICIDA DE *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* SOBRE EL GORGOJO DE LOS ANDES (*Premnotrypes* sp.) EN EL CULTIVO DE LA PAPA EN CHOTA- CAJAMARCA"

7. **Fecha de evaluación:** 02/10/2025

8. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 15%

10. **Código Documento:** oid: 3117:506964877

11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 15%

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 06/10/2025

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 _____ Ing. Alonso Vela Ahumada 26604965

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los treinta días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 522-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de setiembre del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO BIOINSECTICIDA DE *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* Y *Metarhizium anisopliae* SOBRE EL GORGOJO DE LOS ANDES (*Premnotrypes* sp.) EN EL CULTIVO DE LA PAPA EN CHOTA - CAJAMARCA"**, realizada por el Bachiller **JOSÉ ESTEBAN DELGADO QUINTANA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diecisiete horas y quince minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las dieciocho horas y diez minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera
PRESIDENTE

MBA. Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Ing. Alonso Vela Ahumada
ASESOR

DEDICATORIA

Lleno de amor y esperanza, dedico este proyecto, a cada uno de mis seres queridos,
quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

A mis padres, hermanos, tíos, porque ellos son la motivación de mi vida mi orgullo de
ser lo que seré.

Y principalmente dedico a mi hijo Axel quien ha sido mi mayor motivación, para así
obtener uno de mis grandes anhelos más deseados.

AGRADECIMIENTO

Agradezco eternamente a Dios por haberme iluminado y permitirme seguir adelante, con su sabiduría, paciencia y hacer realidad una de mis grandes aspiraciones.

A cada una de las personas que me apoyaron con un granito de arena para que este proyecto se haga realidad, mi eterno agradecimiento por su incondicional apoyo y ayuda.

Un agradecimiento especial al Ing. Alonso Vela Ahumada y al Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacondori por haberme brindado su apoyo y sus conocimientos con su experiencia y sapiencia.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto bioinsecticida haci como la sintomatología de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas y adultos del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* sp.) en cultivos de papa. Se aplicaron tres tratamientos con concentraciones iguales de conidias (8×10^{12} conidias/L), comparándose con un tratamiento testigo. Los resultados demostraron que *Metarhizium anisopliae* fue el hongo más efectivo, alcanzando un 66,6 % de infección en adultos (5 enfermos y 3 muertos por evaluación), reduciendo significativamente el número de larvas por planta (2,9) y obteniendo el mayor porcentaje de tubérculos sanos (74,5 %). *Beauveria bassiana* mostró una efectividad del 58,3 % (4 adultos enfermos y 3 muertos) en adultos, 3,8 larvas por planta y 71,7 % de tubérculos sanos. En tanto, *Lecanicillium lecanii* presentó un efecto moderado con un 30,8 % (2 adultos enfermos y 2 muertos) de efectividad en adultos, 6,3 larvas por planta y 61,6 % de tubérculos sanos. Los síntomas observados en los insectos tratados incluyeron movimientos descoordinados, parálisis y colonización micelial post mortem. Se concluye que *Metarhizium anisopliae* es el entomopatógeno más eficaz bajo condiciones de campo para el control biológico de *Premnotrypes* sp., recomendándose continuar con estudios sobre hongos entomopatógenos para ampliar su aplicación en el manejo integrado de plagas.

Palabras clave: Cultivo de papa, bioinsecticida, *Premnotrypes* sp., *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the bioinsecticidal effect and symptomatology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, and *Metarhizium anisopliae* on larvae and adults of the Andean potato weevil (*Premnotrypes* sp.) in potato crops. Three treatments were applied using equal concentrations of conidia (8×10^{12} conidia/L), compared against a control treatment. The results showed that *Metarhizium anisopliae* was the most effective fungus, achieving 66.6% infection in adults (5 infected and 3 dead individuals per evaluation), significantly reducing the number of larvae per plant (2.9), and resulting in the highest percentage of healthy tubers (74.5%). *Beauveria bassiana* exhibited an effectiveness of 58.3% (4 infected and 3 dead adults), with 3.8 larvae per plant and 71.7% healthy tubers. Meanwhile, *Lecanicillium lecanii* had a moderate effect, with 30.8% effectiveness (2 infected and 2 dead adults), 6.3 larvae per plant, and 61.6% healthy tubers. Symptoms observed in treated insects included uncoordinated movements, paralysis, and post-mortem mycelial colonization. It is concluded that *Metarhizium anisopliae* is the most effective entomopathogen under field conditions for the biological control of *Premnotrypes* sp., and further research on entomopathogenic fungi is recommended to enhance their application in integrated pest management.

Key words: Potato cultivation, bioinsecticide, *Premnotrypes* sp., *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 <i>Premnotrypes sp.</i>	7
a. Taxonomía	8
b. Morfología	8
b.1 Huevo	8
b.2 Larva	8
b.3 Pupa	9
b.4 Adulto	9
c. Biología	10
c.1 Huevo	10
c.2 Larva	10
c.3 Pupa	11
c.4 Adulto	12
d. Ecología	12
2.2.2 Hongos entomopatógenos	13
a. <i>Beauveria bassiana</i> (Bals) Vuill.	14
a.1 Taxonomía	14
a.2 Morfología	14
a.3 Modo y mecanismo de acción	15

b.	<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.).	16
b.1	Taxonomía	16
b.2	Morfología	16
b.3	Modo y mecanismo de acción	16
c.	<i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff).	17
c.1	Taxonomía	17
c.2	Morfología	18
c.3	Modo y mecanismo de acción	18
2.2.3	<i>La papa (Solanum phureja)</i>	19
a.	Taxonomía	19
a.1	Fenología	20
CAPÍTULO III		22
MATERIALES Y MÉTODOS		22
3.1	Ubicación	22
3.2	Materiales	24
3.2.1	Material biológico	24
3.2.2	Material de campo	24
3.2.3	Material y equipo de laboratorio	25
3.3	Metodología	25
3.3.1	<i>Trabajo de campo</i>	25
a.	Características del campo experimental.	26
a.1.	Área	26
a.2.	Bloques	26
a.3.	Parcelas	26
b.	Evaluación de <i>Premnotrypes</i> sp.	28
c.	Aplicación de entomopatógenos (<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Lecanicillium lecanii</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i>)	28
c.1	<i>Cálculo de dosis (Beauveria bassiana, Lecanicillium lecanii y Metarhizium anisopliae)</i>	28
c.1.1	<i>Dosis baja (2 bolsas): 5,12 g/640 ml</i>	29
3.3.2	Trabajo de laboratorio	29
3.3.3	Trabajo de gabinete	29
CAPÍTULO IV		30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
4.1	Tratamiento 1 (T ₁): <i>Beauveria bassiana</i> (Bals) (8 x 10 ¹² conidias)	30
4.2	Tratamiento 2 (T ₂): <i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.) (8 x 10 ¹² conidias)	33

4.3	Tratamiento 3 (T ₃): <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) (8 x 10 ¹² conidias)	35
4.4	Comparación entre tratamientos	38
4.5	Larvas de <i>Premnotrypes</i> sp. por planta.	40
4.6	Porcentaje de tubérculos sanos por planta.	43
4.7	Análisis estadístico de los resultados obtenidos.	45
	CAPÍTULO V	51
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones	52
	CAPÍTULO VI	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	CAPÍTULO VII	60
	ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	<i>Tratamientos en estudio</i>	26
2	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos</i>	30
3	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos</i>	33
4	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos</i>	36
5	<i>Número de larvas vivas de Premnotrypes por planta contabilizadas al momento de la cosecha</i>	40
6	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos</i>	43
7	<i>Análisis de varianza (ANVA) para el número de adultos muertos de Premnotrypes sp.</i>	45
8	<i>Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento</i>	46
9	<i>Análisis de varianza (ANVA) para el número de larvas vivas de Premnotrypes sp. por planta al momento de la cosecha</i>	47
10	<i>Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento</i>	47
11	<i>Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de tubérculos sanos por planta</i>	48
12	<i>Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	<i>Ubicación del experimento.</i>	23
2	<i>Diseño del campo experimental y distribución de los tratamientos</i>	27
3	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos.</i>	31
4	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos.</i>	34
5	<i>Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos.</i>	36
6	<i>Comparación del efecto entre Beauveria bassiana, Lecanicillium lecanii y Metarhizium anisopliae en adultos de Premnotrypes sp.</i>	39
7	<i>Número de larvas vivas de Premnotrypes contabilizados por planta.</i>	41
8	<i>Número y porcentaje de tubérculos sanos por planta.</i>	44
9	<i>Campo experimental.</i>	60
10	<i>Adulto de Premnotrypes sp.</i>	61
11	<i>Aplicación de los tratamientos con entomopatógenos.</i>	61
12	<i>Signos de Lecanicillium lecanii en adulto de Premnotrypes sp</i>	62
13	<i>Estructuras reproductivas de Lecanicillium lecanii observadas al microscopio.</i>	62
14	<i>Signos de Beauveria bassiana en adulto de Premnotrypes sp.</i>	63
15	<i>Estructuras reproductivas de Beauveria bassiana observadas al microscopio.</i>	63
16	<i>Signos de Metarhizium anisopliae en adulto de Premnotrypes sp.</i>	64
17	<i>Estructuras reproductivas de Metarhizium anisopliae observadas al microscopio.</i>	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1	<i>Galería fotográfica</i>	60
2	<i>Temperatura, humedad relativa y precipitación promedios registrados según evaluaciones</i>	65

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La papa es la principal fuente de alimentación en la zona altoandina del Perú, siendo cultivada en 600 mil pequeñas unidades agrícolas. A través de los años, el cultivo de papa ha ido desempeñado un papel principal en la generación de ingresos económicos para los productores agrícolas, en el 2022 se obtuvo un total de 8,234 millones de soles lo que representa un 15,1 % del valor bruto de producción agrícola en el Perú (MIDAGRI, 2023).

En el año 2021, la producción de papa abarcó una superficie cultivada de 330 mil 790 hectáreas con un rendimiento promedio por hectárea de 17,1 toneladas, generando más de 110 mil puestos de trabajo permanente, siendo a nivel nacional producida por 711 mil 313 familias distribuidas en diecinueve departamentos, destacando Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica y Junín (INEI, 2021).

La región Cajamarca cuenta con más de 27 mil hectáreas de cultivo, con una producción que supera las 350 mil toneladas, generando una fuente de ingresos económicos seguro, siendo Chota, Cutervo, Cajamarca y Celendín las provincias con mayor producción. Las variedades más cultivadas son Amarilis, Huagalina, Perricholi, Yungay, Blanca, Amarilla, Serranita y Luren (GRC, 2020).

El cultivo de la papa, es infestado por diversos insectos plaga, tales como, el gorgojo de los andes (*Premnotrypes vorax*), que al estado adulto ocasiona daños en el área foliar y al estado larval en los tubérculos (Alcázar, 1997). Este insecto plaga ha sido controlado a través de diversas medidas de control, destacando el control químico, sin embargo, el éxito ha sido relativo, dado a que su uso desmedido ha provocado la generación de resistencia en los insectos y la disminución de la densidad poblacional de los enemigos naturales (Cisneros, 1995).

Las larvas causan daños a los tubérculos mediante perforaciones, se pueden establecer más de una larva por tubérculo, incluso hasta veinte, las lesiones se caracterizan por la suberización del tejido y posterior pudrición. Este estadio del gorgojo es el más perjudicial desde el punto de vista económico, puesto que, puede provocar una pérdida del 80 % al 100 % de la producción (Condori, 2015).

Una alternativa para enfrentar los problemas sanitarios en el cultivo de papa, es el Manejo Integrado de Plagas, estrategia que incluye la implementación de medidas de control mecánico, físico, cultural, biológico, etológico, legal, genético y químico, con la finalidad de salvaguardar la calidad ambiental de los ecosistemas agrícolas. Durante los últimos años el empleo de agentes microbiológicos (entomopatógenos), han contribuido a la reducción de la densidad poblacional de insectos plaga en diversos cultivos, por lo que, se constituyen en una alternativa ecológica y amigable con el medio ambiente, a tal punto, que forman parte de los planes de manejo sanitario con fines de producción agrícola para exportación.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto bioinsecticida de *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas y adultos de *Premnotrypes* sp. en el cultivo de papa.

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar la sintomatología que produce *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas y adultos de *Premnotrypes* sp. en el cultivo de papa.

Determinar la dosis óptima de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas y adultos de *Premnotrypes* sp. en el cultivo de papa.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Bravo (2016) evaluó la efectividad de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre el gorgojo de los andes (*Premnotrypes* spp.) en el cultivo de papa en condiciones de campo en Huatata - Distrito Chinchero - Urubamba. Con el objetivo de obtener adultos infectados antes del aporque y larvas infectadas en cosecha y reducir el daño en los tubérculos en relación al testigo. El diseño experimental que se empleó fue el de bloques completamente randomizado con 4 repeticiones, 4 tratamientos T₁: Testigo, T₂: *Beauveria bassiana*, T₃: *Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliae* y T₄: *Metarhizium anisopliae*. La aplicación de estos entomopatógenos en el momento de la siembra fue realizada alrededor de los tubérculos con una mochila manual, posteriormente se realizaron en diferentes etapas fenológicas del cultivo alrededor del cuello de la planta, inicio de brotación, momento del primer aporque, 15 días después del primer aporque y durante el segundo aporque. Los resultados muestran que el tratamiento T₃: *B. bassiana* + *M. anisopliae* inoculadas al cuello de la planta superan significativamente al resto de los tratamientos con 4,58 adultos infectados/planta, el tratamiento T₄: *M. anisopliae* con 3,50 adultos infectados/planta y el tratamiento T₂: *B. bassiana* con 3,46 adultos infectados/planta superando al tratamiento T₁: Testigo con 1,10 adultos infectados/planta. Respecto a la eficacia de los tratamientos sobre las larvas infectadas inoculadas al suelo, el tratamiento T₃: *B. bassiana* + *M. anisopliae* superan significativamente al resto de los tratamientos con 11,00 larvas infectadas/planta, el tratamiento T₄: *M. anisopliae* con 9,05 larvas infectadas/planta y el tratamiento T₂: *B. bassiana* con 5,85 larvas infectadas/planta

superando al tratamiento T₁: Testigo con 1,73 larvas infectadas/planta. En cuanto al porcentaje de tubérculos sanos, el tratamiento T₃: *B. bassiana* + *M. anisopliae* con 79,27 % de tubérculos sanos/planta es superior con respecto a los demás tratamientos, el T₂: *B. bassiana* con 71,5 % de tubérculos sanos, T₄: *M. anisopliae* con 67,04 % de tubérculos sanos y el T₁ con 28,75 % de tubérculos sanos.

Villamil et al. (2016) determinaron el efecto individual y combinado de dos aislamientos autóctonos de *Beauveria* spp. en comparación con dos plaguicidas biológicos a base de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria brongniartii*, sobre *P. vorax* en condiciones de campo. Se empleó el Diseño Completamente al Azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Se hicieron inoculaciones mediante aspersion dirigida a la base de la planta, utilizando una concentración 5×10^8 conidias/g⁻¹. Se evaluó porcentaje de daño, porcentaje de control y rendimiento al momento de cosecha (t ha⁻¹). Los resultados indicaron que las cepas comerciales en combinación Metaril W.P + *B. brongniartii* W.P (T6) y el aislamiento autóctono de *Beauveria* sp. Bv01 (T1), presentaron los menores porcentajes de daño ($3,1 \pm 0,06$ y $3,5 \pm 0,2$ %), los mayores porcentajes de control ($77 \pm 0,46$ y $76,7 \pm 1,78$ %), y la mejor producción ($19 \pm 0,40$ t ha y $18 \pm 0,25$ t ha) con diferencias significativas (Duncan $p \leq 0,05$) respecto a los demás tratamientos.

Ortiz et al. (2011) determinaron que la humedad relativa (HR) y la temperatura (T°) son factores sumamente importantes en el desarrollo y crecimiento de los hongos entomopatógenos *Lecanicillium lecanii* (V2 y V3), *Paecilomyces fumosoroseus* (P1, P2, P3, PF y PG), *P. farinosus* (PN) y *Beauveria bassiana* (Bb1 y Bb17). En tal sentido, la actividad biológica de los hongos fue mayor cuando la humedad relativa estuvo en un rango de 81 - 92 %. A temperaturas menores de 16,3 °C las conidias tardaron más tiempo para germinar (más de un día); mientras que en temperaturas superiores a 28,5 °C el tiempo fue menor (menos de un día).

Mena et al. (2003) evaluaron seis aislamientos de *Beauveria bassiana* y uno de *Metarhizium anisopliae* para el control de gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax*). Inicialmente se estudió su patogenicidad y variabilidad en condiciones de laboratorio usando una concentración de 1×10^7 esporas/ml⁻¹, observándose que todos los aislamientos fueron patogénicos para el insecto. Sin embargo, se presentaron diferencias significativas entre la mortalidad causada por éstos ($F_{7,14} = 4.64$; $P < 0.0001$) pues la mortalidad varió desde 13,3 % para Bb2, hasta 96,6 % para Bb5. Posteriormente, se establecieron las concentraciones letales para cada aislamiento y en dos estadios de desarrollo de *P. vorax* (larvas y adultos). Los resultados obtenidos presentaron una relación positiva concentración/mortalidad, y los χ^2 calculados demostraron que los datos fueron homogéneos y se ajustaron a la línea de regresión con un nivel de confianza del 95 %.

Rivera y Pinto (2001) evaluaron la capacidad patogénica de aislamientos nativos de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, obtenidos de áreas naturales, sobre adultos del gusano blanco de la papa, *Premnotrypes vorax* (Coleoptera: Curculionidae). La evaluación fue realizada mediante ensayos en condiciones de laboratorio, utilizando insectos adultos obtenidos en cría y capturados en campo. Para la evaluación de la patogenicidad, se evaluó la mortalidad expresada por los aislamientos en relación con el tiempo, estimándose el tiempo letal cincuenta, TL50, y el tiempo letal noventa, TL90, y para dos de los aislamientos fue evaluada la mortalidad en relación con la concentración del inoculo, estimada mediante la concentración letal media (CL50). En todos los casos se presentaron porcentajes de mortalidad mayores del 45 %. Se observaron diferencias en la mortalidad de los insectos dependiendo de su origen. De acuerdo con los resultados obtenidos el aislamiento de *Beauveria bassiana* 9770, aislado de larva de *Premnotrypes vorax* (TL50: 4,7 días - 9,8 días; TL90: 14,1 días - 20,8 días; CL50: $7,03 \times 10^4$ esporas/ml), fue el más destacado.

Gull et al. (2023), reportaron en un estudio realizado en 2023 en la región de Kashmir, India, se evaluó la eficacia de tres hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii* para el control del gorgojo *Myloccerus fotedari* (Coleoptera: Curculionidae), una plaga clave del nogal. La investigación se llevó a cabo en condiciones de laboratorio, donde se aplicaron suspensiones de conidios a una concentración de 1×10^9 esporas por mililitro sobre los insectos adultos. La mortalidad de los insectos se evaluó desde el segundo hasta el octavo día posterior a la aplicación. Los resultados mostraron que *Beauveria bassiana* fue el hongo más efectivo, alcanzando una mortalidad del 100 % a los ocho días, seguido por *Metarhizium anisopliae* con una mortalidad del 85.1 %. En contraste, *Lecanicillium lecanii* demostró un efecto menos pronunciado, con una mortalidad promedio del 51.8 %, siendo significativamente menos virulento que los otros dos entomopatógenos. Este estudio confirma que aunque *L. lecanii* puede infectar y causar mortalidad en *M. fotedari*, su eficacia es limitada en comparación con otros entomopatógenos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Premnotrypes* sp.

El género *Premnotrypes* (Coleoptera: Curculionidae) está ampliamente distribuido en la Cordillera de los Andes, desde Colombia hasta Bolivia y el extremo norte de Perú y Chile, por lo general, a altitudes sobre los 3000 msnm (Kuschel, 1956).

Premnotrypes es conocido en conjunto como gorgojo de los Andes o gusano blanco. Las larvas dañan el tubérculo de papa, mientras que los adultos devoran el área foliar, pero no todas las especies conocidas de este complejo pueden completar su ciclo biológico en papa (Alcázar y Cisneros, 1993).

a. Taxonomía. Kuschel (1956), refirió la siguiente clasificación taxonómica del gorgojo de los andes:

Phylum	:	Athropoda
Superclase	:	Hexapoda
Clase	:	Insecta
Orden	:	Coleoptera
Familia	:	Curculionidae
Género	:	<i>Premnotrypes</i>
Especie	:	<i>Premnotrypes</i> sp.

b. Morfología.

b.1. Huevo. Es cilíndrico, ligeramente oval y mide entre 1,25 a 1,7 mm de longitud y 0,5 mm de diámetro. Es de coloración blanquecina que se va tornando ámbar a medida que avanza su ciclo biológico (SAG, 2005).

Los huevos de *Premnotrypes* sp. (Gorgojo de los Andes) son de forma elíptica o capsular de 1 mm de largo y 0,5 mm de ancho (Jarandilla, 2010).

Son de forma capsular, de color blanco cremoso y miden alrededor de 1 mm de longitud (Krosche et al., 2012).

b.2. Larva. Sus medidas varían conforme avanza el estado de desarrollo desde 1 mm a 13 mm de longitud. Las larvas son color blanco cremoso, ápodas con curvas, su cápsula cefálica y mandíbulas marrones (SAG, 2005).

Las larvas pasan por cuatro estadios larvales antes de transformarse en pupas, son blanco cremosas y del tipo curculionidae, se caracterizan porque no poseen patas apodas,

tienen el cuerpo de color blanquecino de textura gruesa y forma de C cuando están en reposo, su tamaño varía entre 0,4 a 11 mm dependiendo de su estado de crecimiento (Untiveros, 1985).

El cuerpo de las larvas presenta una serie de arrugas, y adoptan una forma de medialuna. En su máximo desarrollo llega a medir un centímetro y experimenta cuatro estadios larvales (Krosche et al., 2012).

b.3. Pupa. Es de color blanquecino, mide 8 mm de longitud. Se encuentra al interior de una celda pupal generalmente enterrada bajo la superficie del suelo (SAG, 2005).

Son de color blanco cremoso, su piel es suave y delicada, se pueden distinguir las patas y otras partes del cuerpo del insecto adulto (Krosche et al., 2012).

En estado de pupa llega a medir aproximadamente 10 mm de largo por 4 mm de ancho (Alcázar y Cisneros, 1993).

Las pupas son del tipo libre, de color blanco y miden 8,2 mm de largo x 4,9 mm de ancho (Canales, 2014).

b.4 Adulto. Llega a medir entre 5 mm y 7 mm de largo y tiene una coloración que varía del amarillo oscuro a rojizo, esto en función a su ciclo biológico y las condiciones del suelo (SAG, 2005).

El color de los adultos varía de marrón a casi negro. Miden de 5 a 7 mm de largo y 2 a 4 mm de ancho. Los machos, generalmente son más pequeños que las hembras, son de configuración delgada y abdomen angosto. Los adultos son caminadores, esto compensa su inaptitud para volar (Jarandilla, 2010).

Se destaca por la forma de su aparato bucal (masticador), alargado y curvado hacia abajo y por presentar élitros estriados con protuberancias. La diferenciación del género de *Premnotrypes* se realiza en función a las genitales del macho (Puma y Calderón, 2016).

Las principales características del género son: presentan ojos grandes con más de 80 facetas, mandíbulas dentadas en su margen interno y el cuerpo cubierto de tubérculos y escamas, el ápice del quinto esternito es romo (carece de punta) en los machos y agudos en las hembras. La caída de los élitros en la parte posterior es casi vertical en las hembras y convexa en los adultos machos (Canales, 2014).

c. Biología. El ciclo de vida del gorgojo de los andes, desde que la hembra pone los huevos, hasta que el adulto sale de la tierra dura de 10 a 12 meses: huevo, 1 a 2 meses; larva, de 3 a 4 meses; pupa, de 2 a 3 meses y los adultos viven de 4 a 5 meses hasta que mueren. Solo se desarrollan en lugares fríos (Puma y Calderón, 2016).

c.1. Huevo. La hembra del gorgojo pone sus huevos durante la noche en grupos o hileras de aproximadamente 14 huevos por postura dentro de los restos vegetales al pie de la planta de papa. En toda su vida la hembra pone alrededor de 600 a 1000 huevos los cuales se incuban por un mes (Egusquiza, 2000).

En toda su existencia la hembra del gorgojo oviposita alrededor de 630 huevecillos, llegando en algunos casos a ovipositar hasta 1000 huevecillos (Krosche et al., 2012).

Untiveros (1985) indicó que, el periodo biológico de incubación de los huevecillos de *Premnotrypes* sp. es de 30 a 65 días.

c.2. Larva. Luego de nacer las larvas se dirigen a infestar los tubérculos de la papa. Los orificios de entrada son pequeños, como puntuaciones oscuras, permanecen en estado larval aproximadamente de 3 a 4 meses (Puma y Calderón, 2016).

Jarandilla (2010) determinó que, las larvas del último estadio dejan los tubérculos para concluir su ciclo biológico en el suelo donde entran en un proceso de inactividad (prepupa) que precede a la pupación.

Después de eclosionar las larvas ocasionan daños a los tubérculos. Llegan a ocupar el interior del tubérculo por un mes y medio aproximadamente construyendo galerías, después salen dejando un agujero, para luego introducirse en el suelo hasta una profundidad de diez a treinta centímetros (Krosche et al., 2012).

c.3. Pupa. Se forma en una cámara pupal bajo la tierra, en su interior se lleva a cabo la transición de larva a pupa. Generalmente la cápsula terrosa se ubica a una profundidad de 10 cm a 15 cm, sobre todo en lugares donde se apilan los tubérculos después de la cosecha, permanecen en el estado de pupa alrededor de 2 a 3 meses (Puma y Calderón, 2016).

La pupa no ingiere alimento y se caracteriza por su completa inactividad. En esta fase el cuerpo se encoge y aumenta de volumen, debido a la diferencia de sus tejidos. Se inicia cuando la larva abandona el tubérculo, penetra al suelo y forma su cámara pupal en posición vertical con la cabeza dirigida hacia la superficie, segregando una sustancia que endurece su propia cubierta por dentro que la aísla de las condiciones ambientales adversas (Alcázar y Cisneros, 1993).

Vargas (2005) refirió que, la exuvia (cutícula, cubierta exterior o exoesqueleto) del cuarto estadio larval se halla adherida al extremo de la cámara pupal, éste estado es el más delicado para el insecto. La actividad de las pupas es casi nula y su metabolismo es mínimo. No pueden construir una nueva cámara pupal, siendo susceptibles a cambio de temperatura, acción mecánica y la de controladores biológicos.

La pre-pupa no cambia de dimensiones con relación al cuarto estadio larval; sin embargo, los tres primeros segmentos de la cabeza aumentan de tamaño (Untiveros, 1985).

Las pupas están protegidas en su refugio dentro de la tierra y pueden ser encontrados en campo y en lugares donde se apilaron los tubérculos luego de la cosecha (Krosche et al., 2012).

c.4. Adulto. La transformación de pupa a adulto también ocurre dentro de la celda pupal, el estado adulto presenta dos fases: una fase invernante, inactiva dentro del suelo y una fase activa, libre, fuera del suelo. La fase de adulto invernante se inicia cuando la pupa se transforma y la piel se endurece y cambia de color, de blanco a marrón, que después se va oscureciendo a medida que pasa el tiempo. Esta fase dura aproximadamente 4 meses (Puma y Calderón, 2016).

Los adultos comienzan a salir del suelo después de las primeras lluvias, rompen su celda y hacen pequeños agujeros en el suelo para salir a la superficie como adultos libres. Los gorgojos en su fase activa viven de 4 a 5 meses, mientras haya plantas de papa en el campo (Vargas, 2005).

Los adultos salen de noche, no vuelan y se dirigen caminando a los campos de cultivo de papa para alimentarse de las hojas, ocasionando daños en los bordes (comeduras a manera de media luna) (Alcázar y Cisneros, 1993).

d. Ecología. La población de larvas es alta al inicio del proceso de tuberización y tiende a aumentar hasta la cosecha. Los factores determinantes en la incidencia de los adultos son su desarrollo biológico y las precipitaciones que favorecen la salida de los adultos de las celdas. El adulto se esconde durante el día en lugares oscuros y húmedos, generalmente en la base de las plantas de papa o debajo de los terrones y en plantas del entorno como las brassicáceas (SAG, 2005).

Presenta una generación anual. Pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. La hembra ovipone en la noche en grupos o hileras, al interior de tallos secos de gramíneas esto ocurre generalmente entre diciembre y marzo coincidiendo con la campaña grande se siembras (Canales, 2014).

El estadio adulto del gorgojo de los andes presenta dos fases: una fase invernante o inactiva, dentro del suelo, y una fase activa o libre. La fase de adulto invernante se inicia

cuando la pupa se transforma, la piel se endurece y cambia de color. El gorgojo de los andes en su fase libre o activa posee hábito nocturno, sale de noche, no vuela y se dirige caminando a los cultivos de papa para alimentarse del follaje, ocasionando daños en los bordes de las hojas en forma de medialuna, luego se aparean y las hembras inician la oviposición (Krosche et al., 2012).

Se distingue una sincronización entre el insecto, la planta y el medio ambiente. Los adultos infestan las plantas luego del brotamiento (noviembre y diciembre) al mismo tiempo las hembras adultas realizan la oviposición; las larvas eclosionan durante el desarrollo, llenado y madurez de los tubérculos (febrero a junio), en los meses de baja temperatura (junio a setiembre). En ausencia del cultivo de papa, el gorgojo se oculta debajo del suelo en estado pupal (Condori, 2015).

2.2.2. Hongos entomopatógenos

Los entomopatógenos han sido usados para el control biológico de insectos y enfermedades desde principios del siglo XX, y en los últimos 20 años se ha demostrado las ventajas del uso de los organismos benéficos frente a los productos químicos. Los principales microorganismos usados para el control biológico son los virus, bacterias, hongos y protozoarios. En el caso de los hongos entomopatógenos, éstos han sido investigados y aplicados en todo el mundo por su eficacia en infectar a los insectos plaga, mantenerse un largo tiempo en el campo de cultivo después de su liberación, por su interacción específica con el insecto plaga y por ser seguros con respecto al medio ambiente (Tamez et al., 2001).

a. *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill. Destaca como uno de los agentes de control biológico con mayor eficacia en el sector agrícola. Existen experiencias de control

exitoso de varios tipos de insectos plaga, que causan daño y grandes pérdidas económicas (IICA, 2015).

Requiere una humedad relativa del 90 % y puede encontrarse a temperaturas de entre 15 a 30 °C (Godoy et al., 2007).

a.1. Taxonomía. Alexopoulos y Mims (1976), establecieron la siguiente clasificación taxonómica de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill:

Reino	:	Myceteae
División	:	Amastigomycota
Subdivisión	:	Deuteromycotina
Clase	:	Hyphomycetidae
Orden	:	Moniliales
Familia	:	Moniliaceae
Género	:	<i>Beauveria</i>
Especie	:	<i>Beauveria bassiana</i> (Bals) Vuillemin

a.2. Morfología. Presenta conidióforos subglobosos con un cuello muy corto en forma de botella, los conidióforos forman grandes grupos a manera de racimos, los conidios (2 - 3 μm x 2,0 - 2,5 μm) son hialinos y lisos, esféricos y con raquis zigzagueante (Agris 1999).

Los conidios de *B. bassiana* son hialinos, de forma globosa a elipsoidal con un tamaño de 2,2 - 3 μm de diámetro, posee hifas cenocíticas (células largas con muchos núcleos), con células conidiógenas formando densos racimos irregularmente agrupados, las fiálides se encuentran hinchadas en la base que semeja la estructura de una botella

subglobosa y se adelgazan hacia la parte que sostiene las esporas llamado raquis el cual tiene forma de zig - zag (García, 2011).

a.3. Modo y mecanismo de acción. El ciclo biológico del entomopatógeno consta de varias etapas. Se inicia con la adhesión, es el primer acercamiento entre el hongo entomopatógeno y el insecto, sucede cuando el conidio es depositado en la superficie del insecto hospedante. En la germinación, el conidio inicia el desarrollo del tubo germinativo y un órgano de anclaje. Una vez sujeto se inicia la penetración, mediante mecanismos físicos los cuales ejercen presión (haustorios) sobre la superficie de contacto, y los químicos mediante la síntesis de enzimas como proteasas, lipasas y quitinasas, el hongo ingresa a través de las partes blandas del insecto. Emisión de toxinas, una vez dentro del insecto el hongo ramifica sus hifas y coloniza las cavidades del insecto. Además, segrega la toxina llamada Beauvericina característica de *Beauveria bassiana* que ayuda a romper el sistema inmune del insecto plaga, lo que facilita la invasión del entomopatógeno a todos los órganos del insecto, otras toxinas que secreta son beauvericin, bassianolide, y ácido oxálico. Finalmente, el insecto muere debido a las diferentes limitaciones causadas por la acción toxicológica del entomopatógeno. La multiplicación y crecimiento, ocurre después de la muerte del hospedero, proliferándose las hifas y terminando por invadir todos los órganos del insecto hospedante (Sáenz, 1990).

Sus esporas entran en contacto con la cubierta del insecto penetrando en su interior, dentro del cual liberan sustancias tóxicas que lo degradan y lo destruyen. Si las condiciones ambientales son favorables el hongo produce nuevas esporas en el exterior del insecto muerto. Aunque el hongo actúa desde el inicio, su efectividad se observa a partir del cuarto día (Alves, 1998).

b. *Lecanicillium lecanii* (Zimm.). SENASA (2014) mencionó que, una de sus principales características son sus colonias blancas o cremas, algodonosas delicadas, prospera bien a 25 °C.

b.1. Taxonomía. Según Alexopoulos y Mims (1979) la clasificación taxonómica de *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) es la siguiente:

Reino	:	Myceteae
División	:	Amastigomycota
Subdivisión	:	Deuteromycotina
Clase	:	Hyphomycetidae
Orden	:	Moniliales
Familia	:	Moniliaceae
Género	:	<i>Lecanicillium</i> (= <i>Verticillium</i>)
Especie	:	<i>Lecanicillium</i> (= <i>Verticillium</i>) <i>lecanii</i> (Zimm.)

b.2. Morfología. Las colonias de *Lecanicillium lecanii* muestran coloraciones variables (amarillo pálido, marrón oscuro, púrpura o rosado). Está constituida por hifas tabicadas, conidióforos verticilados o ahusados, en donde se encuentran los conidios agrupados en cabezuelas, rodeados de una sustancia mucilaginosa, son unicelulares, hialinos, son de forma cilíndrica (5,62 - 12,18 µm x 1,63 - 3,56 µm) (Gómez et al., 2011).

b.3. Modo y mecanismo de acción. Ayala et al. (2005) indicaron que, *Lecanicillium lecanii* provoca epidemias en condiciones ambientales favorables, con una humedad relativa superior a 80 % y a temperaturas que varían entre 20 a 25 °C.

Pal et al. (2007) mencionan que, el entomopatógeno produce un ciclodepsipéptido llamado bassianolide, además produce toxinas como el ácido α amino isobutírico y el ácido oxálico.

SENASA (2014) refirió que, el entomopatógeno actúa por contacto en los diferentes estadios de los insectos plaga. Los conidios que son el compuesto activo, los que germinan y crecen invadiendo al insecto, produciéndole afecciones a nivel digestivo, nervioso, muscular y respiratorio, el insecto se enferma, luego deja de alimentarse y finalmente muere, el hongo emerge a través del insecto y vuelve a realizar su ciclo infeccioso.

Según Carreño (2003) *Lecanicillium lecanii* tiene la particularidad de infectar a los insectos a través de la penetración de la cutícula y tiene mecanismos que le confieren una alta capacidad para evitar que el hospedante ejerza resistencia.

c. *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff). Se caracteriza por ser mesófilo, con una temperatura óptima para su germinación y crecimiento de 20 a 30 °C y una humedad relativa de 90 % (García et al., 2011).

c.1. *Taxonomía.* Alexopoulos y Mims (1979) realizaron la siguiente clasificación taxonómica de *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff):

Reino	:	Myceteae
División	:	Amastigomycota
Subdivisión	:	Deuteromycotina
Clase	:	Hyphomycetidae
Orden	:	Moniliales
Familia	:	Moniliaceae
Género	:	<i>Metarhizium</i>

Especie : *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff)

c.2. Morfología. La coloración de la colonia de *Metarhizium anisopliae* va desde la verde oliva hasta el verde oscuro debido a la maduración de los conidios, con aspecto algodonoso, de textura variable y superficie plana, Las cepas presentan hifas cenocíticas, lisas, con conidios de color verde oliva en un principio, y tornándose verde oscuro al final. Los conidios poseen extremos ovalados, lisos y agrupados en cadenas regulares debido a la elongación de los conidios, conidios de 5,2 - 7,7 μm de longitud x 1,4 - 3,1 μm de ancho (García et al., 2011).

SENASA (2014) refiere que, las colonias de *Metarhizium anisopliae* son de color verde, varían desde el oliváceo hasta amarillo verde o verde oscuro. Desarrollan bien a 26 °C. Presenta conidioforo ramificado, conidios ovales que se forman en cadenas, los conidios son blanquecinos cuando son jóvenes, pero conforme maduran se tornan de color verde oscuro.

c.3. Modo y mecanismo de acción. El mecanismo de acción comienza con la adhesión de los conidios o esporas sobre la superficie del exoesqueleto del insecto, proceso de interacción entre conidio y la superficie hidrofóbica del exoesqueleto del insecto infectado. Seguidamente, germina y forma su apresorio que lo mantiene unido al insecto para empezar la formación del túbulo germinal que ingresa por los poros o las capas externas de la epicutícula (Beys et al., 2010).

Posteriormente el hongo sintetiza enzimas hidrolíticas (proteasas, quitinasas y lipasas, entre otras) las cuales degradan la cutícula liberando nutrientes para el hongo, en esta etapa presenta un crecimiento de las hifas. Al ingresar a la hemolinfa se transforman en células individuales denominadas blastosporas, en esta etapa se activan los mecanismos de defensa del insecto, y el hongo debe superarlos para completar el proceso

de infección con la síntesis de otro tipo de proteasas que degradan el sistema inmune humoral, también sintetiza depsipéptidos cíclicos como las destruxinas la cual es característica de *Metarhizium anisopliae* causando parálisis en el insecto por su habilidad de abrir los canales de calcio, así como, otras toxinas que dañan el sistema muscular y los tubos de Malpighi, afectando la excreción y dificultando su capacidad de alimentarse y moverse (Pal et al., 2007), para finalmente ocasionar la muerte del insecto. Posteriormente, invade totalmente al insecto y emerge en forma de hifa, esporula y sintetiza antibióticos para evitar el crecimiento de microorganismos oportunistas e inicia otro ciclo de infección (Lee et al., 2005).

2.2.3. La papa (*Solanum phureja*)

El cultivo de papa ocupa el cuarto puesto a nivel mundial en importancia económica y alimenticia luego del arroz, el trigo y el maíz. La papa chaucha (*Solanum phureja*) cuenta con características valiosas desde el punto de vista gastronómico y nutricional, por su elevado contenido de vitaminas, minerales, fibra y calidad de proteína (Gómez et al., 2012).

a. Taxonomía. Wiersema (2019), refirió la siguiente clasificación taxonómica de la papa:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Solanales
Familia	:	Solanaceae
Género	:	<i>Solanum</i>

Especie : *Solanum phureja*
Variedad : Chaucha.

b. Fenología. Molina et al. (2006) determinó que, el cultivo de papa presenta diversos estados fenológicos: Brotación, los brotes emergen a los 10 a 12 días luego de la siembra, si es que el terreno reúne las condiciones necesarias de temperatura y humedad. Crecimiento vegetativo, en esta etapa, hay crecimiento de follaje y raíces en forma simultánea, dura entre 20 a 30 días. Tuberización y floración, Las flores es señal de que la papa comienza a emitir estolones o que inicie la tuberización. En entradas precoces, esto ocurre a los 30 días después de la siembra. Maduración, los tubérculos alcanzan la madurez fisiológica a los 75 días luego de su formación.

Uribe et al. (2013) indicaron que, el cultivo de papa presenta cinco estados fenológicos: **Fase de brotación:** esta fase da inicio después de la preparación del terreno y la siembra de la semilla de papa en los surcos correspondientes, la duración de esta etapa depende de las condiciones de almacenamiento de la semilla, la variedad utilizada y el tamaño de los brotes (tubérculo semilla). El tubérculo semilla mediante reacciones bioquímicas inicia el desarrollo de una nueva planta, que al principio soporta un crecimiento acelerado de raíces, seguido de la emergencia de tallos y hojas. **Crecimiento vegetativo:** Empieza después de la emergencia de la plántula, donde da comienzo el proceso de fotosíntesis para el desarrollo aéreo de la planta de papa, es decir se inicia la formación de tallos y hojas. Paralelamente en la zona subterránea se inicia la formación de estolones. **Tuberización:** La planta sigue su desarrollo vegetativo en su parte aérea, y en cuanto a la parte radicular se están formando los tubérculos que empiezan su formación en la punta de los estolones de la planta de papa. **Floración:** Coincide con el inicio de llenado de los tubérculos, generando que las células de los tubérculos aumenten su volumen por la acumulación de agua en su interior, así como, de nutrientes y carbohidratos, los tubérculos

absorben la mayor cantidad de nutrientes y carbohidratos disponibles en la planta.

Maduración: El crecimiento y la tasa fotosintética de la planta decrece considerablemente, la planta comienza a tornarse de un color amarillento hasta que da fin a su ciclo fenológico por completo. El tubérculo madura, engrosa su piel y alcanza el máximo contenido de materia seca para el momento de la cosecha.

La papa chaucha presenta cinco etapas fenológicas bien definidas, inicia en la etapa de emergencia/brotación (etapa 1), desarrollo y crecimiento vegetativo (etapa 2), inicio floración e inicio de la tuberización (etapa 3), desarrollo y llenado de los tubérculos (etapa 4), hasta la etapa de madurez completa y cosecha (etapa 5) (Sifuentes et al., 2015).

CAPÍTULO III

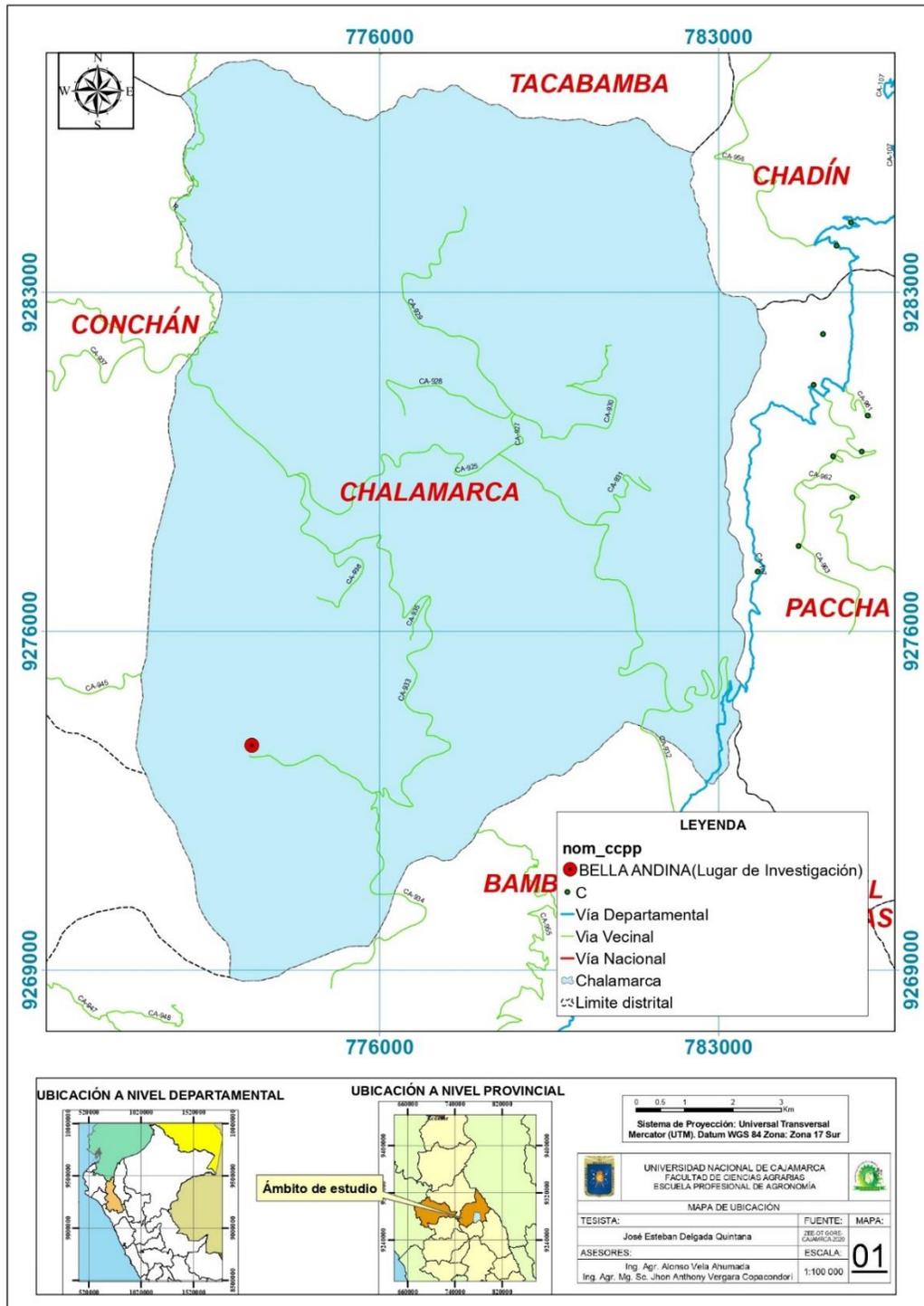
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación fue realizada en el Centro Poblado Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota y región Cajamarca, geográficamente localizado entre las coordenadas UTM: Zona 17M, 773192.02 m Este y 9273526.01 m Norte y a una altitud de 3665 msnm.

Figura 1

Ubicación del experimento.



3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Conidias de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill.

Conidias de *Lecanicillium* (= *Verticillium*) *lecanii* (Zimm.).

Conidias de *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff).

Estados larvales y adultos de gorgojo de los andes (*Premnotrypes* sp.).

Plantas de papa (*Solanum phureja*). Variedad chaucha.

3.2.2. Material de campo

Cámara fotográfica.

Equipo de protección personal.

Estacas.

Etiquetas.

GPS.

Higrómetro digital portátil.

Lapicero.

Lápiz.

Libreta de apuntes.

Lupa entomológica 20X.

pHmetro.

Pulverizador de mochila.

Rafia.

Recipientes de plástico de 1 litro de capacidad.

Tablero acrílico.

Wincha.

3.2.3. Material y equipo de laboratorio

Alcohol metílico al 70 %.

Computadora.

Estereoscopio.

Estereoscopio digital USB.

Etiquetas de colección.

Frascos de plástico con tapa hermética de ¼ de litro.

Lapicero.

Lupa entomológica 20X.

Marcador permanente resistente al agua.

Maskingtape.

Placa Petri.

Tijera.

Vial de vidrio.

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo de campo

La investigación se desarrolló bajo el Diseño Experimental de Bloques Completamente al Azar en un terreno de cultivo de papa de la variedad chaucha (*Solanum phureja*), presenta mínima dormancia y, por lo general, produce tubérculos brotados al

momento de la cosecha. Su desarrollo fenológico dura 4 meses, se cultiva entre los 2000 a 3800 msnm, es tolerante a bajas temperaturas, altamente heterogéneo en la forma y tamaño de los tubérculos, de buena calidad culinaria y buena aceptación en el mercado (Gómez et al., 2012).

a. Características del campo experimental.

a.1. Área

Largo	:	15 m
Ancho	:	12,80 m
Área Experimental	:	192,00 m ²
Área total	:	550,00 m ²

a.2. Bloques

Número	:	3
Largo	:	15,00 m
Ancho	:	3,6 m
Área	:	54,00 m ²

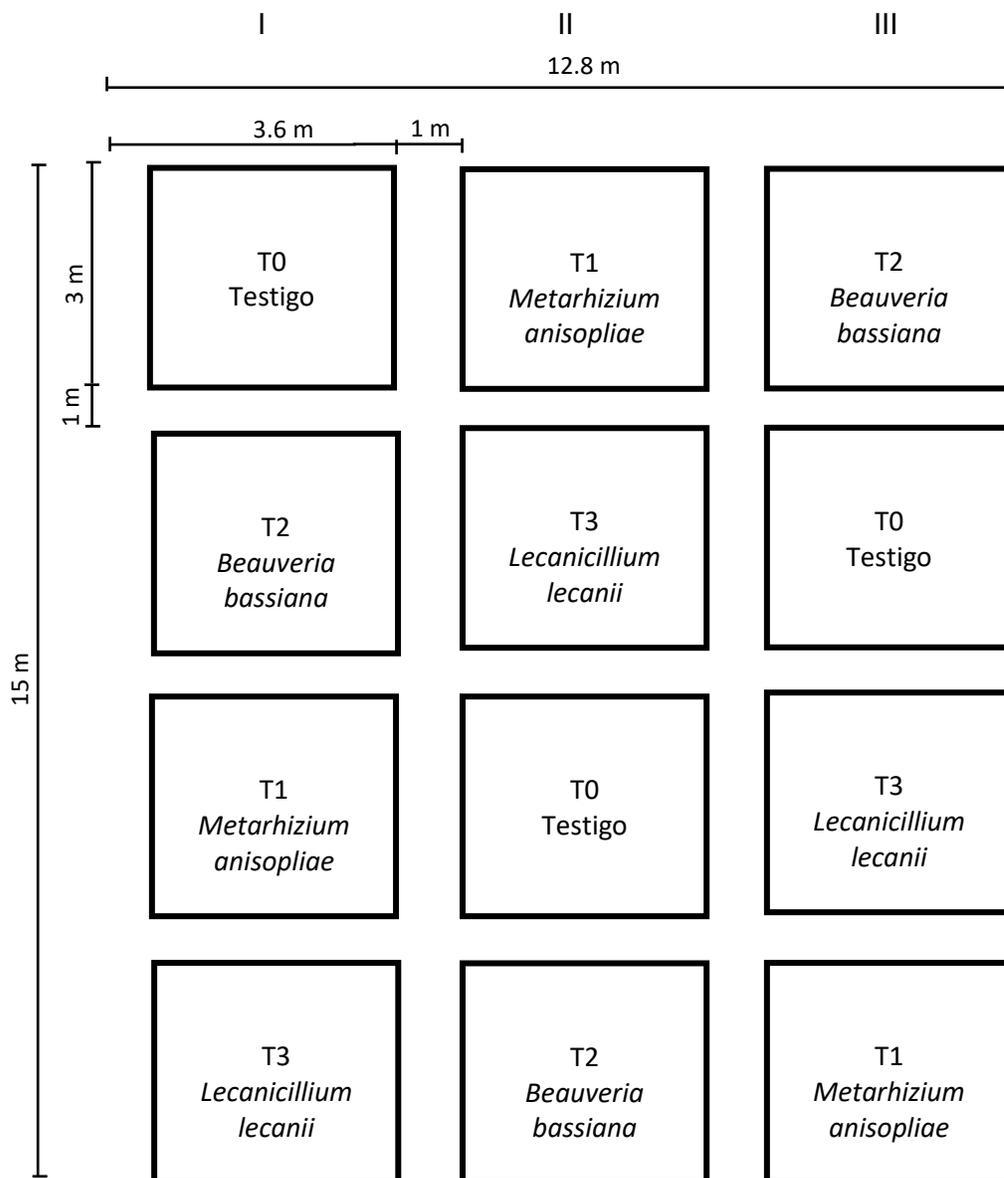
a.3. Parcelas

Número / Bloque	:	4
Número total	:	12
Largo	:	3,00 m

Ancho : 3,60 m
 Área : 10,80 m²

Figura 2

Diseño del campo experimental y distribución de los tratamientos.



b. Evaluación de *Premnotrypes* sp. Se realizaron evaluaciones antes y después de cada aplicación de los hongos entomopatógenos, en cada uno de los tratamientos establecidos, cada 7 días a partir de la siembra, con la finalidad, de determinar la infestación de larvas y adultos de *Premnotrypes* sp. con respecto al testigo y el rendimiento de tubérculos sanos, se evaluaron 5 plantas por parcela, 15 plantas por tratamiento; evitando aquellas que se encontraban en los bordes, haciendo un total de 60 unidades muestrales.

c. Aplicación de entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*). Se realizó tomando en consideración los siguientes tratamientos:

Tabla 1

Tratamientos en estudio

Tratamiento	Entomopatógeno	Dosis	Concentración de conidias en solución	Dosis/Litro
T ₀	Testigo	-	-	-
T ₁	<i>Beauveria bassiana</i> (Bals)	1,6 Kg/Cil	8 x 10 ¹²	8,0 g
T ₂	<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.)	1,6 Kg/Cil	8 x 10 ¹²	8,0 g
T ₃	<i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff)	1,6 Kg/Cil	8 x 10 ¹²	8,0 g

c.1. Cálculo de dosis (*Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*)

Concentración = 1 x 10¹² conidias/g de producto

c.1.1. Dosis baja (2 bolsas): 5,12 g/640 ml

$$1600 \text{ g} \text{ ----- } 200 \text{ litros}$$

$$X \text{ ----- } 0,64 \text{ litros}$$

$$X = 5,12 \text{ g}/0,64 \text{ litros}$$

$$X = 8 \text{ g/L}$$

3.3.2. Trabajo de laboratorio

Luego de realizadas las aplicaciones de los hongos entomopatógenos, se procedió a la colecta de larvas y adultos de *Premnotrypes* sp., para luego ser desplazados al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la finalidad de determinar la sintomatología ocasionada por *Beauveria bassiana*, *Lecanicillum lecanii* y *Metarhizium anisopliae*.

3.3.3. Trabajo de gabinete

La información obtenida en las evaluaciones fue sistematizada, para luego realizar la redacción del trabajo de investigación, haciendo uso de la estadística analítica y descriptiva.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tratamiento 1 (T₁): *Beauveria bassiana* (Bals) (8×10^{12} conidias)

En la Tabla 2, se observa que luego de siete días posteriores a las aplicaciones del tratamiento, fueron registrados en promedio 4 y 3 adultos de *Premnotrypes* sp. enfermos y muertos respectivamente de un total de 12 adultos evaluados. Lo que representa el 58,3 % de infección.

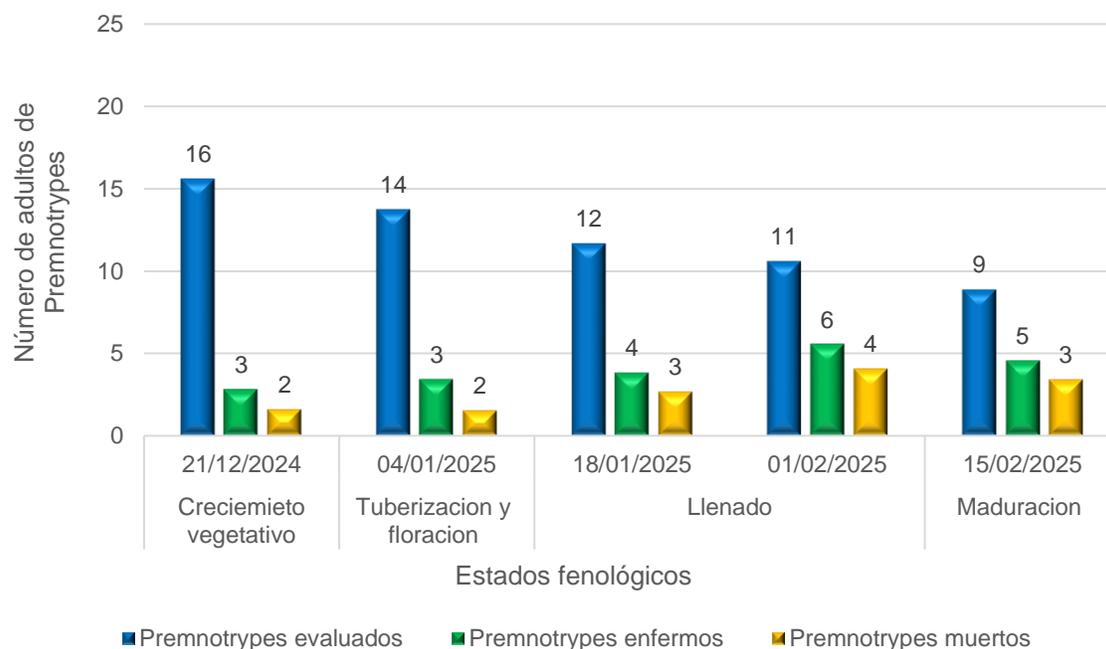
Tabla 2

Número de adultos de Premnotrypes sp. enfermos y muertos

Fecha de aplicación	Evaluación inicial	Evaluación posterior			
	N° de adultos	7 días			
		Fecha	N° de adultos evaluados	N° de adultos enfermos	N° de adultos muertos
14/12/2024	18	21/12/2024	16	3	2
28/12/2024	17	04/01/2025	14	3	2
11/01/2025	14	18/01/2025	12	4	3
25/01/2025	13	01/02/2025	11	6	4
08/02/2025	10	15/02/2025	9	5	3
Promedio	14		12	4	3

Figura 3

Número de adultos de *Premnotrypes* sp. enfermos y muertos.



En la Figura 3, se observa que, al realizar la evaluación de adultos de *Premnotrypes* sp. después de siete días de la aplicación del entomopatógeno, cuando el cultivo de papa se encontraba en el estado fenológico de crecimiento vegetativo, tuberización y floración (21 de diciembre del 2024 y 04 de enero del 2025 respectivamente) se registró el menor número (3) de adultos enfermos, a una temperatura promedio de 25,7 y 19,5 °C, humedad relativa promedio de 77,1 y 91,6 % y una precipitación de 0 y 14,5 mm respectivamente, así como, el mayor número (6) de adultos enfermos fue registrado el 01 de febrero, a una temperatura promedio de 22,4 °C, humedad relativa promedio de 84,6 % y precipitación de 5,8 mm, en el estado fenológico de llenado. En tanto que, durante el estado fenológico de crecimiento vegetativo, tuberización y floración (21 de diciembre del 2024 y 04 de enero del 2025 respectivamente), se registró el menor número (2) de adultos muertos, a una

temperatura promedio de 25,7 y 19,5 °C, humedad relativa promedio de 77,1 y 91,6 % y precipitación de 0 y 14,5 mm respectivamente, así mismo, el mayor número (6) de adultos muertos fue registrado el 01 de febrero, a una temperatura promedio de 22,4 °C, humedad relativa promedio de 84,6 % y precipitación de 5,8 mm, en el estado fenológico de llenado.

La infección en adultos provocada por *Beauveria bassiana* estuvo relacionada con las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitación). Al respecto Godoy et al. (2007) refirieron que *Beauveria bassiana* requiere temperaturas entre 15 a 30 °C y humedad relativa del 80% al 90 % para esporular, a su vez Ortiz et al. (2011) refirieron que la eficacia de *B. bassiana* depende de factores abióticos, principalmente temperatura y humedad relativa óptimas entre 20 a 28 °C y humedad relativa superior al 80 %.

De manera general fueron registrados en promedio 4 adultos enfermos y 3 muertos, de un promedio total de 12 adultos evaluados, lo que representa el 58,3 % de infección.

Bravo (2016) reportó en promedio 3,46 adultos de gorgojo de los andes infectados (49,4 %) por *Beauveria bassiana* en campos de cultivo de papa.

Villamil et al. (2016) reportó que *Beauveria* alcanzó un porcentaje de control del 76,7 % sobre adultos de *Premnotrypes* sp. en el cultivo de papa. Esto confirma que *Beauveria bassiana*, puede generar niveles de infección y mortalidad considerables sobre adultos del gorgojo de los andes. Del mismo modo, Rivera y Pinto (2001) evidenciaron que aislamientos de *Beauveria bassiana* causaron mortalidades superiores al 70 % en adultos de *Premnotrypes* sp. Por su parte Rivera y Pinto (2001) señalaron en su investigación que las aplicaciones realizadas al cuello de la planta durante fases con mayor presencia de adultos como el inicio de la floración, favorecen el contacto entre el insecto y el entomopatógeno. Además, destacaron que las condiciones ambientales de esa etapa del cultivo, como una mayor humedad del suelo y una cobertura vegetal más desarrollada, promueven la germinación de las esporas y la capacidad infectiva del entomopatógeno, estos resultados contrastan con nuestra investigación, ya que fue durante el estado

fenológico de llenado del fruto el cual coincide con la etapa de floración, cuando se registró el mayor número de adultos enfermos y muertos.

4.2. Tratamiento 2 (T₂): *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) (8 x 10¹² conidias)

En la Tabla 3, se observa que luego de siete días posteriores a las aplicaciones del tratamiento, fueron registrados en promedio 2 y 2 adultos de *Premnotrypes* sp. enfermos y muertos respectivamente de un total de 13 adultos evaluados. Esto corresponde a un porcentaje promedio de efectividad del 30.8 %.

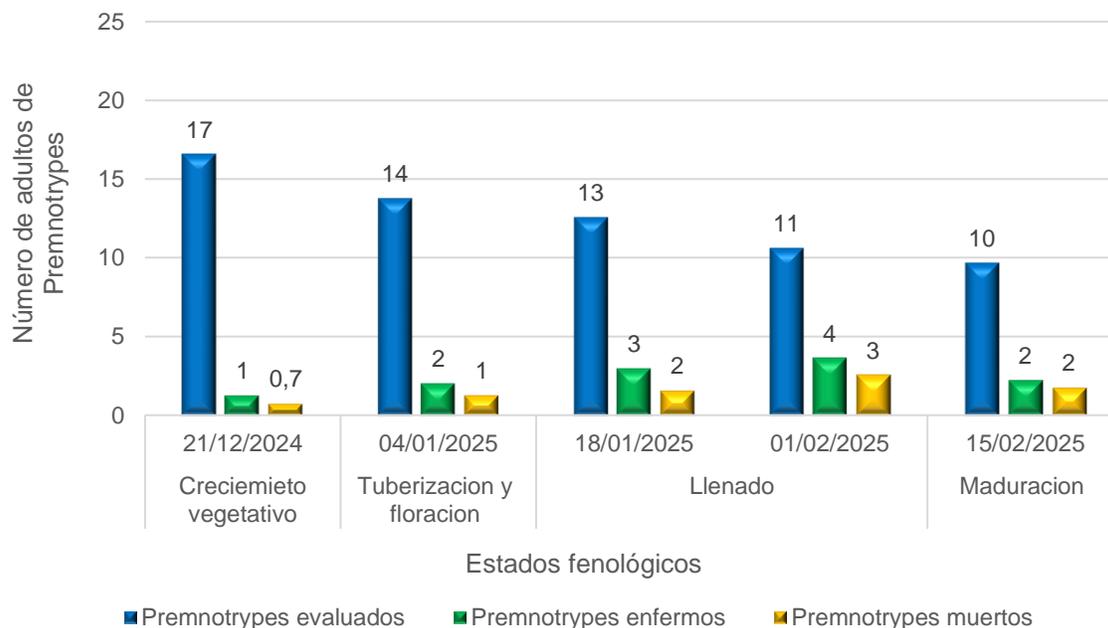
Tabla 3

Número de adultos de Premnotrypes enfermos y muertos

Fecha de aplicación	Evaluación inicial	Evaluación posterior			
	N° de adultos	Fecha	N° de adultos evaluados	N° de adultos enfermos	N° de adultos muertos
14/12/2024	18	21/12/2024	17	1	1
28/12/2024	18	04/01/2025	14	2	1
11/01/2025	17	18/01/2025	13	3	2
25/01/2025	15	01/02/2025	11	4	3
08/02/2025	14	15/02/2025	10	2	2
Promedio	16		13	2	2

Figura 4

Número de adultos de *Premnotrypes* enfermos y muertos.



En la Figura 4, se observa que, al realizar la evaluación de adultos de *Premnotrypes* sp. después de siete días de la aplicación del entomopatógeno, cuando el cultivo de papa se encontraba en el estado fenológico de crecimiento vegetativo (21 de diciembre) se registró el menor número (1) de adultos enfermos, a una temperatura promedio de 25,7, humedad relativa promedio de 77,1% y una precipitación de 0 mm respectivamente, así como, el mayor número (4) de adultos enfermos fue registrado el 01 de febrero, a una temperatura promedio de 22,4 °C, humedad relativa promedio de 84,6 % y precipitación de 5,8 mm, en el estado fenológico de llenado. En tanto que, durante el estado fenológico de crecimiento vegetativo (21 de diciembre), se registró el menor número (0,7) de adultos muertos, a una temperatura promedio de 25,7 °C, humedad relativa promedio de 77,1 % y una precipitación de 0 mm respectivamente, así mismo, el mayor número (3) de adultos muertos fue registrado el 01 de febrero, a una temperatura promedio de 22,4 °C, humedad relativa promedio de 84,6 % y precipitación de 5,8 mm, en el estado fenológico de llenado.

Estos resultados coinciden con Ortiz et al. (2011) quienes indican que la germinación de conidios del entomopatógeno *Lecanicillium lecanii* requieren niveles de humedad cercanos al 85 % y temperaturas moderadas entre 22°C y 25°C condiciones que coinciden con las registradas durante la fecha de mayor efectividad en esta investigación correspondiente a la etapa de llenado de fruto.

En nuestra investigación se evaluó la efectividad de *Lecanicillium lecanii* sobre adultos de *Premnotrypes* sp., registrándose un promedio de 2 adultos enfermos y 2 muertos por evaluación, de un total promedio de 13 adultos evaluados. Esto corresponde a un porcentaje promedio de efectividad del 30.8 %, lo que indica un efecto moderado del entomopatógeno sobre el gorgojo de los andes.

Al realizar la búsqueda de investigaciones sustentadoras no se identificaron estudios previos que evalúen específicamente la efectividad de *Lecanicillium lecanii* sobre adultos del gorgojo de los Andes. Sin embargo, existe un reporte de la acción de este entomopatógeno sobre otros curculiónidos como *Myloccerus fotedari* en cual es una plaga clave del nogal, donde Gull et al. (2023) reportaron una mortalidad del 51.8 % en condiciones de laboratorio estos resultados nos permiten cotejar la información obtenida en nuestra investigación.

4.3. Tratamiento 3 (T₃): *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) (8 x 10¹² conidias)

En la Tabla 4, se observa que luego de siete días posteriores a las aplicaciones del tratamiento, fueron registrados en promedio 5 y 3 adultos de *Premnotrypes* sp. enfermos y muertos respectivamente de un total de 12 adultos evaluados. Lo que representa una efectividad del 66,6 %.

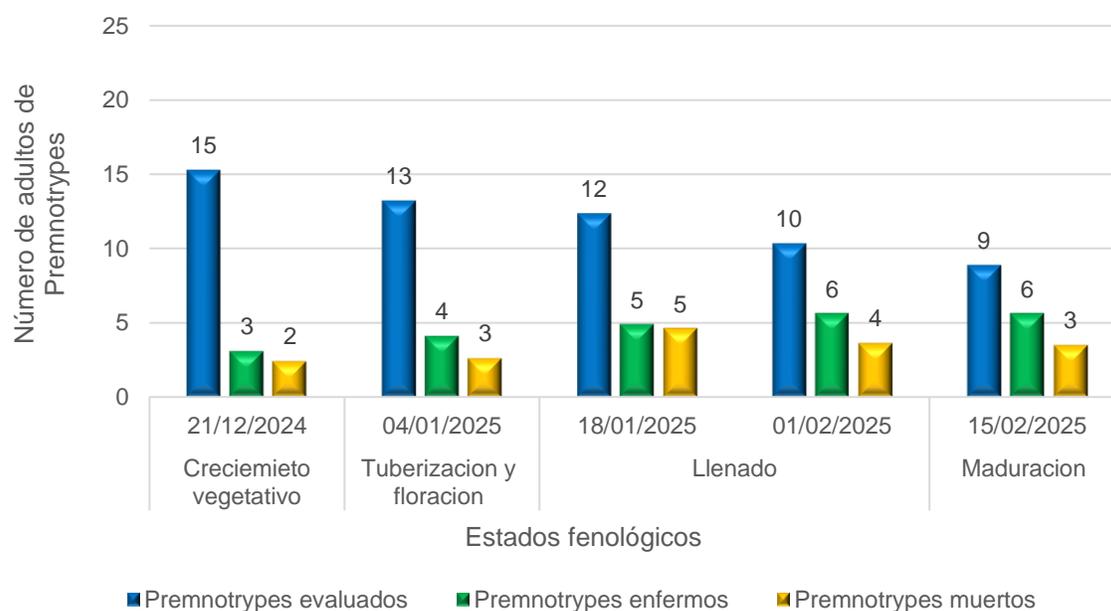
Tabla 4

Número de adultos de *Premnotypes* enfermos y muertos

Fecha de aplicación	Evaluación inicial		Evaluación posterior		
	N° de adultos	Fecha	7 días		
			N° de adultos evaluados	N° de adultos enfermos	N° de adultos muertos
14/12/2024	17	21/12/2024	15	3	2
28/12/2024	15	04/01/2025	13	4	3
11/01/2025	14	18/01/2025	12	5	5
25/01/2025	11	01/02/2025	10	6	4
08/02/2025	10	15/02/2025	9	6	3
Promedio	13		12	5	3

Figura 5

Número de adultos de *Premnotypes* enfermos y muertos.



En la Figura 5, se observa que, al realizar la evaluación de adultos de *Premnotrypes* sp. después de siete días de la aplicación del entomopatógeno, cuando el cultivo de papa se encontraba en el estado fenológico de crecimiento vegetativo (21 de diciembre) se registró el menor número (3) de adultos enfermos, a una temperatura promedio de 25,7, humedad relativa promedio de 77,1% y una precipitación de 0 mm respectivamente, así como, el mayor número (6) de adultos enfermos fue registrado el 01 y el 15 de febrero, a una temperatura promedio de 22,4 y 20,8 °C, humedad relativa promedio de 84,6 y 87,6% y una precipitación de 5,8 y 8 mm respectivamente, en el estado fenológico de llenado y maduración. En tanto que, durante el estado fenológico de crecimiento vegetativo (21 de diciembre), se registró el menor número (3) de adultos muertos, a una temperatura promedio de 25,7 °C, humedad relativa promedio de 77,1 % y una precipitación de 0 mm respectivamente, así mismo, el mayor número (5) de adultos muertos fue registrado el 18 de enero, a una temperatura promedio de 20,9 °C, humedad relativa promedio de 86,3 % y precipitación de 2,3 mm, en el estado fenológico de llenado.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Ortiz et al. (2011) quienes destacaron que *Metarhizium anisopliae* presenta mayor efectividad en ambientes con humedad relativa superior al 80 % y temperaturas entre 23 y 28 °C, condiciones favorables para la germinación de conidios del entomopatógeno.

En la presente investigación la aplicación de *Metarhizium anisopliae* sobre adultos de *Premnotrypes* sp. en cultivo de papa registro un promedio de 5 adultos enfermos y 3 muertos por evaluación, sobre un total promedio de 12 adultos evaluados, lo que representa una efectividad del 66,6 % este resultado indica una acción significativa bajo condiciones de campo.

Así mismo, los resultados obtenidos en este estudio superan ligeramente los valores reportados por Bravo (2016) quien registró una infección promedio de 3,5 adultos lo que representa un 50 % de infección bajo condiciones de humedad moderada y temperaturas entre 22°C y 25°C la mayor efectividad observada en este trabajo podría explicarse por la ocurrencia de lluvias durante los estados fenológicos más avanzados lo cual habría favorecido la permanencia del hongo en el ambiente.

Villamil et al. (2016) reportaron un 47,6 % de mortalidad en condiciones controladas de laboratorio lo que demuestra el potencial infectivo de *Metarhizium anisopliae*. Por su parte Rivera y Pinto (2001) registraron mortalidades que oscilaron entre el 32,5 % y el 60 %. En conclusión, los mejores resultados de las investigaciones se obtuvieron cuando la aplicación coincidió con fases fenológicas clave como el llenado de tubérculos etapa asociada con la mayor presencia de adultos y condiciones ambientales mucho más favorables.

Cabe destacar que al igual que en los estudios de Rivera y Pinto (2001) y Bravo (2016), en este trabajo se empleó aplicación líquida dirigida cuello de la planta además del follaje estrategia que ha demostrado mejorar el contacto entre el insecto plaga y el hongo entomopatógeno.

4.4 Comparación entre tratamientos

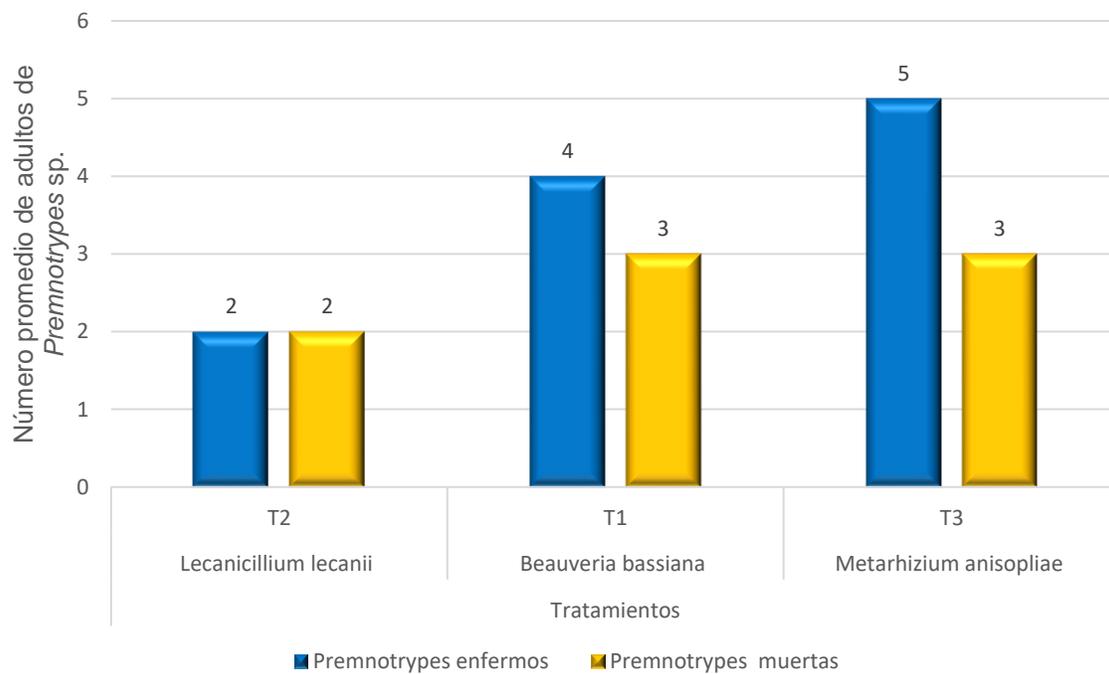
En la Figura 6, se observa que al realizar la evaluación de adultos de *Premnotrypes* sp. después de siete días de la aplicación del entomopatógeno el Tratamiento 3 (T₃): *Metarhizium anisopliae* (8×10^{12} conidias) ocasionó los mayores números (5 y 3) de adultos de *Premnotrypes* sp. enfermas y muertas.

Estos resultados pueden deberse a la alta virulencia de que presenta el entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* y a su mecanismo de acción, al respecto

Pal et al. (2007) *Metarhizium anisopliae* presenta una alta virulencia infecta al insecto plaga mediante enzimas que degradan la cutícula, formando blastosporas en la hemolinfa, posteriormente supera las defensas del insecto con proteasas y toxinas como la destruxinas la cual es una toxina altamente efectiva para controlar insectos las cuales causan parálisis, afectan órganos internos y alteran funciones como la excreción y la locomoción.

Figura 6

Comparación del efecto entre *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* en adultos de *Premnotrypes* sp.



4.5 Larvas de *Premnotrypes* sp. por planta.

En la Tabla 5, se observa que, al realizar la evaluación y conteo de larvas por planta al momento de la cosecha, se registró una baja considerable de numero larvas con respecto al testigo.

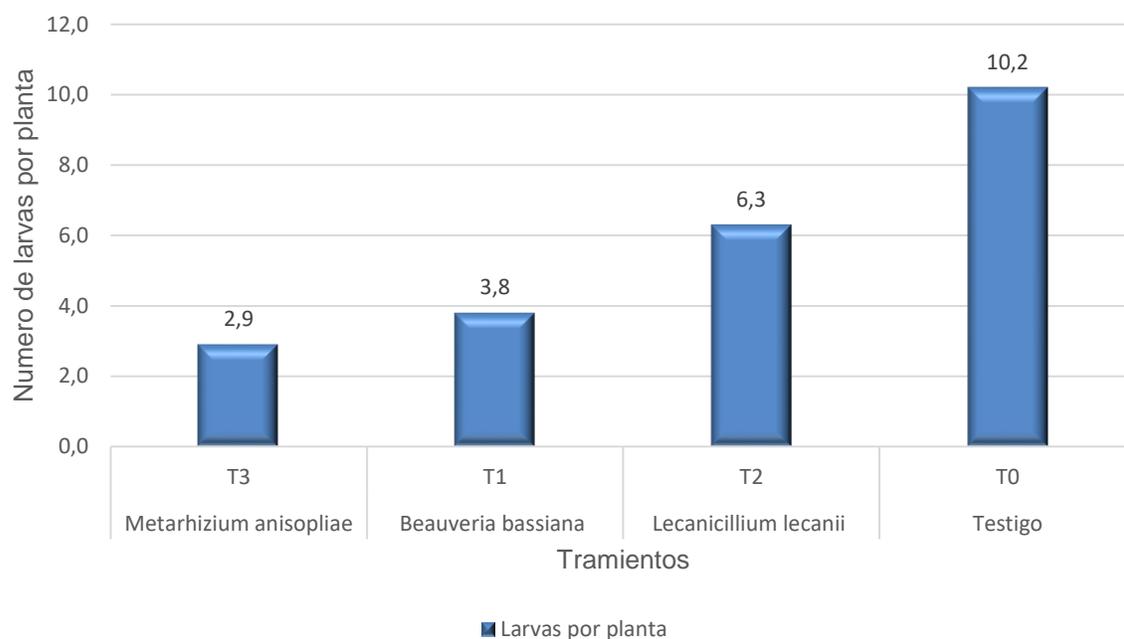
Tabla 5

Número de larvas vivas de Premnotrypes por planta contabilizadas al momento de la cosecha

Evaluación de larvas	
Al momento de la Cosecha	
Tratamiento	N° de larvas vivas por planta
Testigo	10.2
<i>Beauveria bassiana</i> (Bals)	3.8
<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.)	6.3
<i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff)	2.9

Figura 7

Número de larvas vivas de *Premnotrypes* contabilizados por planta.



En la figura 7, se muestra los resultados del conteo de larvas por planta al momento de la cosecha, teniendo en consideración que fue el testigo el que alcanzó el mayor número de larvas con 10,2 larvas por planta, en tanto que *Metarhizium anisopliae* registro en menor número de larvas plantas (2,9) demostrando su efectividad en el control de esta plaga, seguidamente *Beauveria bassiana* alcanzó un numero de larvas por planta de 3,8 y por ultimo *Lecanicillium lecanii* alcanzó un numero de larvas por planta de 6,3.

Nuestros resultados coinciden con los reportes de Bravo (2016) quien aplicó tratamientos de entomopatógenos a una concentración de 1×10^8 Conidios/ml, dirigidos al cuello de la planta y al suelo reportando al momento de la cosecha un promedio de 9,05 larvas infectadas por planta en el tratamiento con *Metarhizium anisopliae* (T4) y 5,85 larvas infectadas por planta en el tratamiento con *Beauveria bassiana* (T2) mientras que el

tratamiento testigo (T1) apenas registró 1,73 larvas infectadas por planta, estos datos contrastan con lo obtenido en nuestra e investigación de campo donde el menor número de larvas vivas por planta también correspondió al tratamiento con *Metarhizium anisopliae* lo que respalda su efectividad como entomopatógeno de control biológico.

Los antecedentes citados concuerdan con nuestra investigación ya que Rivera y Pinto (2001) demostraron bajo condiciones de laboratorio que *Metarhizium anisopliae* puede infectar hasta el 83% de las larvas mientras que *Beauveria bassiana* alcanzó un 72%, finalmente *Lecanicillium lecanii* mostró una capacidad infectiva más limitada con un porcentaje inferior al 50%.

Villamil et al. (2016) evaluaron la patogenicidad de estos entomopatógenos en ensayos controlados reportando que *Metarhizium anisopliae* logró una infección larval de hasta el 87% a los siete días, en este mismo estudio *Beauveria bassiana* registró tasas de infección entre el 70% y el 78% mientras que *Lecanicillium lecanii* solo alcanzó un 42% en promedio.

El estudio de Mena et al. (2003) aporta evidencia clave al evaluar la CL50 y la variabilidad en la patogenicidad de distintos aislamientos de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* sobre *Premnotrypes* sp. bajo condiciones controladas de laboratorio reportó que *Metarhizium anisopliae* alcanzó niveles de infección de hasta el 78,6%, mientras que *Beauveria bassiana* logró un máximo de 66,3%.

4.6 Porcentaje de tubérculos sanos por planta.

En la tabla 6, se muestra el número de tubérculos obtenidos por planta, así como también el porcentaje de los tubérculos sanos y con valor comercial.

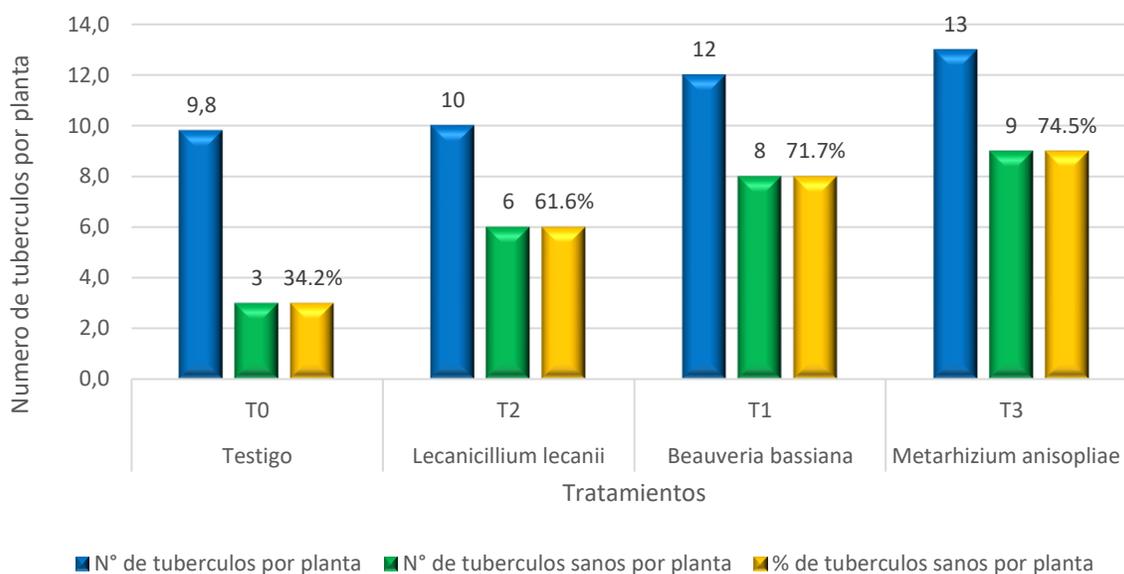
Tabla 6

Número y porcentaje de tubérculos sanos por planta

Evaluación de tubérculos sanos			
Al momento de la Cosecha			
Tratamiento	N° de tubérculos por planta	N° de tubérculos sanos	% de tubérculos sanos por planta
Testigo	10	3	34.2%
<i>Beauveria bassiana</i> (Bals)	12	8	71.7%
<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.)	10	6	61.6%
<i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff)	13	9	74.5%

Figura 8

Número y porcentaje de tubérculos sanos por planta.



En la figura 8, se observa que al realizar el conteo de tubérculos por planta el tratamiento T₃ fue el que registro el mayor número de tubérculos sanos (9) alcanzando un 74,5% de tubérculos sanos con respecto a la cantidad total de tubérculos obtenidos por planta, seguidamente el T₁ con 8 tubérculos sanos (71,7%), el T₂ obtuvo 6 tubérculos sanos (61,6%), siendo el T₀ que registro el menor número de tubérculos sanos (3) alcanzando un porcentaje del 34,2% con respecto al total de tubérculos obtenidos por planta.

Villamil et al. (2016) muestra el porcentaje de daño en tubérculos de papa, bajo diferentes métodos de control biológico. En dicho estudio la combinación de los productos comerciales Metaril W.P. (*Metarhizium anisopliae*) y B. brongniartii W.P. (*Beauveria bassiana*) (tratamiento T6) fue la más efectiva reduciendo el daño a un 3,1 %, seguido por aislamientos nativos de *Beauveria* sp. (3,5 % y 4,8 %), en contraste con el testigo que mostró un daño significativamente mayor (10,4%).

Bravo (2016) reportó resultados consistentes con nuestra investigación. El tratamiento combinado de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* logró hasta un 79,27 % de tubérculos sanos, superando los tratamientos individuales con *Beauveria bassiana* (71,5 %) y *Metarhizium anisopliae* (67,04 %), el testigo sin tratamiento presentó solo un 28,75 % de tubérculos sanos.

Al realizar el contraste con la literatura cita demostramos que nuestra investigación esta alineada tanto con los datos de campo como los reportados en distintos estudios concluyendo en que el uso de hongos entomopatógenos mejora significativamente la cantidad y calidad de los tubérculos reflejándose en un mayor número de tubérculos sanos.

4.7 Análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Tabla 7

Análisis de varianza (ANVA) para el número de adultos muertos de Premnotrypes sp.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F Calculado	p-valor
Tratamientos	92,053	3	30,684	2538,217	< 0,001
Bloques	0,30	2	0,015	1,235	0.355
Error	0,073	6	0,012		
Total	92,426	12			

El coeficiente de variación (CV=7,26) para mortalidad de adultos (tabla 7) expresa que los resultados son homogéneos para las variables evaluadas, es decir los datos no están muy alejados o disperso en relación su media, relacionadas de manera directa con la virulencia de los tratamientos así como con las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo de la investigación

Tabla 8

Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento

Tratamientos	Medias	Significación al 5 %
T ₃	7,97	A
T ₁	6,67	B
T ₂	3,96	C
T ₀	0,75	D

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 7), expresa que para la fuente de variación tratamiento el p-valor no supera el 0,05 de confiabilidad ($0,001 < 0,05$) por lo tanto, existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados sin embargo, para la fuente de variación bloque si se superó el 0,05 de confiabilidad ($0,355 > 0,05$) por que no se allá diferencias significativas para esta fuente de variación.

Seguidamente para poder determinar el nivel de significancia entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, la cual efectúa una comparación de las medias de los tratamientos se determinó que son significativamente diferentes entre sí (Tabla 8) se muestra que el mayor efecto en la mortalidad de adultos de *Premnotrypes* sp. se obtuvo al emplear *Metarhizium anisopliae* T₃ (7,97), seguido de *Beauveria bassiana* T₁ (6,67) y finalmente *Lecanicillium lecanii* T₂ (3,96), esto nos indica

que los tres tiramientos empleados tuvieron efecto sobre el control de gorgojo de los andes en comparación al testigo T₀ (3,96).

Tabla 9

Análisis de varianza (ANVA) para el número de larvas vivas de Premnotrypes sp. por planta al momento de la cosecha

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F Calculado	p-valor
Tratamientos	96,747	3	32,249	305,516	< 0,001
Bloques	0,860	2	0,430	4,074	0.076
Error	0,633	6	0,106		
Total	98,24	12			

El coeficiente de variación (CV=8,61) para número de larvas vivas por planta (tabla 9) expresa que los resultados son homogéneos para las variables evaluadas, es decir los datos no están muy alejados o disperso en relación su media relacionada de manera directa con la eficacia y virulencia los tratamientos, así como con las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo de la investigación.

Tabla 10

Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento

Tratamientos	Medias	Significación al 5 %
T₃	2,9	A
T₁	3,8	B
T₂	6,3	C
T₀	10,2	D

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 9), expresa que para la fuente de variación tratamiento el p-valor no supera el 0,05 de confiabilidad ($0,001 < 0,05$) por lo tanto, existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados, sin embargo, para la fuente de variación bloque si se superó el 0,05 de confiabilidad ($0,076 > 0,05$) por que no se allá diferencias significativas para esta fuente de variación.

Seguidamente para poder determinar el nivel de significancia entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, la cual efectúa una comparación de las medias de los tratamientos se determinó que son significativamente diferentes entre sí (Tabla 10) se muestra que el menor número de larvas por planta de *Premnotrypes* sp. se obtuvo al emplear *Metarhizium anisopliae* T₃ (2,9), seguido de *Beauveria bassiana* T₁ (3,8) y finalmente *Lecanicillium lecanii* T₂ (6,3), esto nos indica que los tres tiramientos empleados tuvieron efecto sobre el control de la población de larvas de gorgojo de los andes en comparación al testigo T₀ (10,2).

Tabla 11

Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de tubérculos sanos por planta

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F Calculado	p-valor
Tratamientos	3050,869	3	1016,956	630,779	< 0,001
Bloques	1,087	2	0,543	0,337	0.727
Error	9,673	6	1,612		
Total	3061,629	12			

El coeficiente de variación (CV=9,10) para porcentaje de tubérculos sanos por planta (tabla 11) expresa que los resultados son homogéneos para las variables evaluadas, es decir los datos no están muy alejados o disperso en relación su media relacionada de

manera directa con la eficacia y virulencia los tratamientos así como con las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo de la investigación.

Tabla 12

Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para los niveles del factor tratamiento

Tratamientos	Medias	Significación al 5 %
T ₃	74,5%	A
T ₁	71,7%	A
T ₂	61,6%	B
T ₀	34,2%	C

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 11), expresa que para la fuente de variación tratamiento el p-valor no supera el 0,05 de confiabilidad ($0,001 < 0,05$) por lo tanto, existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados, sin embargo, para la fuente de variación bloque si se superó el 0,05 de confiabilidad ($0,727 > 0,05$) por que no se allá diferencias significativas para esta fuente de variación.

Seguidamente para poder determinar el nivel de significancia entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, la cual efectúa una comparación de las medias de los tratamientos, se determinó que son significativamente diferentes entre sí (Tabla 12) se muestra que el mayor porcentaje de tubérculos sanos se logró al emplear *Metarhizium anisopliae* T₃ (74,5%), seguido de *Beauveria bassiana* T₁ (71,7%) sin embargo la prueba de Tukey revela que no hay diferencia significativa entre estos dos tratamientos en cuanto al porcentaje de tubérculos sanos, pero si guardan diferencia significativa con el T₂ *Lecanicillium lecanii* (61,6%), finalmente al comparar los porcentajes obtenidos de los tres tratamiento con el testigo T₀ (34,2%), se verifica que todos los tratamientos guardan diferencia significativa en cuanto al testigo.

En general los resultados obtenidos permiten corroborar que el tratamiento con *Metarhizium anisopliae* fue el más eficaz para controlar a los adultos como a las larvas de *Premnotrypes* sp. además de mejorar notablemente la sanidad de los tubérculos. Por su parte, *Beauveria bassiana* también demostró un buen nivel de efectividad por lo que se presenta como una alternativa de control biológico especialmente en zonas donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo, aunque *Lecanicillium lecanii* mostró una eficacia menor en comparación con los otros entomopatógenos evaluados no debe descartarse puede ser útil como parte de un programa de manejo integrado.

Durante el desarrollo del estudio se pudo observar que los adultos de *Premnotrypes* sp. infectados por los hongos entomopatógenos presentaban movimientos involuntarios, descoordinación y finalmente parálisis. En las larvas por su parte era evidente una decoloración y pérdida de humedad en los tejidos y finalmente la colonización del hospedero, en relación a estos síntomas SENASA (2014) señala que los hongos entomopatógenos actúan por contacto sobre diferentes fases del insecto plaga, sus conidios que son las unidades responsables de la infección penetran en el cuerpo del insecto o larva y generan alteraciones en distintos sistemas: digestivo, nervioso, muscular, respiratorio y excretor, como resultado el insecto deja de alimentarse, se debilita y muere. Esta muerte puede producirse entre los tres y cinco días posteriores a la infección dependiendo tanto de la virulencia del hongo como del estado de desarrollo del insecto.

Finalmente los resultados respaldan que el uso de hongos entomopatógenos representa una herramienta efectiva y sostenible para el manejo del gorgojo de los Andes en el cultivo de papa su aplicación en campo no solo ayuda a reducir las poblaciones del insecto sino que también contribuye a proteger la biodiversidad y evitar el uso descontrolado de insecticidas químicos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logro concluir que los hongos entomopatógenos evaluados ejercen efecto bioinsecticida sobre el gorgojo de los andes (*Premnotrypes* sp.) en condiciones de campo, siendo *Metarhizium anisopliae* el tratamiento más eficiente logrando un 66.6 % de infección en adultos, 2.9 larvas/planta y 74.5 % de tubérculos sanos, seguido por *Beauveria bassiana* con un 58.3 % de infección en adultos, 3.8 larvas/planta y 71.7 % de tubérculos sanos, y finalmente *Lecanicillium lecanii* presentó menor eficacia con un 30.8 % de infección en adultos, 6.3 larvas/planta y 61.6 % de tubérculos sanos.

Los adultos de *Premnotrypes* sp. infectados por *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium lecanii*, presentaron movimientos involuntarios, descoordinación y, finalmente, parálisis. En las larvas, por su parte, era evidente una decoloración y pérdida de humedad en los tejidos, hasta que llegan a morir para luego ser colonizado por el micelio del entomopatógeno.

La dosis de 8×10^{12} Conidias/Litro aplicada, resultó efectiva para el control de *Premnotrypes* sp. siendo *Metarhizium anisopliae* el hongo con mayor eficiencia bajo estas condiciones de aplicación lo cual indica que esta concentración es adecuada para su uso en un programa de manejo integrado de plagas de cultivo de papa.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda promover el uso de hongos entomopatógenos como bioinsecticidas en programas de manejo integrado del gorgojo de los Andes dado su efectividad y su carácter amigable con el ambiente esta investigación evidencia una alternativa sostenible frente al control químico.

Se recomienda repetir la investigación evaluando la eficacia de hongos entomopatógenos en distintas condiciones climáticas y con diferentes variedades de papa a fin de universalizar su incorporación en un programa de manejo integrado del gorgojo de los andes (*Premnotrypes* sp.).

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. (1999). Fitopatología. Editorial Limusa. México.
- Alcázar, J. (1997). Cómo controlar el gorgojo de los Andes. Boletín de capacitación-CIP 6. Lima-Perú: Centro internacional de la Papa. 16 p.
- Alcázar, J. y Cisneros, F. (1993). Control de plagas agrícolas. Lima, Perú.
- Alexopoulos, C. y Mims, W. (1976). Introductory Myology. Ed. John Wiley and Sons. New York, USA. 288 p.
- Alves, S. 1998. Controle microbiano de insetos. 2ª Ed. Brasil.
- Ayala, A., Mier, T., Sánchez, J. y Toriello, C. (2005). Variabilidad intraespecífica del crecimiento de *Lecanicillium lecanii* (= *Verticillium lecanii*) por efecto de la temperatura. *Revista Mexicana de Micología*, 20, 93-97 p.
- Barrera, V., Tapia, C., y Monteros, Á. (2003). Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito: INIAP - CIP.
- Beys da Silva, W., Santi, L., Schrank, A. y Vainstein, Ma. (2010). La actividad lipolítica de *Metarhizium anisopliae* desempeña un papel fundamental en la infección por *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Fungal Biology*, 114(1), 10-15 p. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2009.08.003>
- Bravo, M. (2016). EFICACIA DE *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* SOBRE "Gorgojo de los Andes" *Premnotrypes spp.* EN EL CULTIVO DE PAPA EN CONDICIONES DE CAMPO EN HUATATA DISTRITO -CHINCHERO - URUBAMBA. [Tesis Ing. Agr., Universidad Nacional de San Antonio Abad del

- García, A., Cappello, S., Leshner, M. y Molina, R. (2011). Aislamiento y caracterización morfológica de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Horizonte Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México, 10(2), 21-28 p.
- Godoy, J., Valera, R., Guédez, C., Cañizalez, L. y Castillo, C. (2007). Determinación de temperatura y humedad óptima para la germinación y esporulación de cinco aislamientos de *Beauveria bassiana*. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, 24, 415-425 p. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-78182007000300002&script=sci_abstract
- Gómez, H., Zapata, A., Torres, E. y Soberanís, W. (2011). Manual para producción y uso de hongos entomopatógenos. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Lima, Perú. 1-37 p.
- Gómez, T., López, J., Pineda, R., Galindo, L., Arango, R. y Morales, J. (2012). Caracterización Citogenética de Cinco Genotipos de Papa Criolla, *Solanum phureja* (Juz. et Buk.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 65(1), 6379-6387 p.
- GRC. (2020). Gobierno Regional de Cajamarca. <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/1125>
- Gull, S., Ahmad, T., Khanday, A., Sureshan, P. y Rashid G. (2023). Pathogenicity of the entomopathogenic fungi against *Myloccerus fotedari* Ahmad, 1974 (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions in India. *Rev. For. Sci.*, (69), 277-286 p.
- Huarte, M., y Capezio, S. (2013). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://www.researchgate.net/publication/256195293_Cultivo_de_papa

- IICA. (2015). Protocolos para la Formulación y Aplicación de Bio-Insumos. Paraguay. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2647/BVE17038725e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INEI. (2021). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Informe técnico: Producción Nacional. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/2950166-informe-tecnico-produccion-nacional-n-09-setiembre-2021>
- INTA. (2004). Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Manejo integrado de plagas: cultivo de la papa. Nicaragua, La Prensa. <https://www.linkedin.com/company/instituto-nicaraguense-de-tecnolog-a-agropecuaria-inta/>
- Jarandilla, C. (2010). *ESTUDIO DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE ESPECÍMENES DEL GORGOJO DE LOS ANDES (Premnotrypes sp y Rhigopsidius piercei) EN EL ALTIPLANO CENTRAL - PROVINCIA AROMA*. [Tesis Ing. Agr., Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional UMSA. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9806>
- Kroschel, J., Cañedo, V., Alcázar, J., & Mietbahuer, T. (2012). Manejo de plagas de la papa en la región andina del Perú. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Kuschel, G. (1956). Revisión de los Premnotrypini y adiciones a los Bagoini. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile 26, 187-235 p.
- Lee, S., Nakajima, I., Ihara, F., Kinoshita, H. y Nihira, T. (2005). Cultivo de hongos entomopatógenos para la búsqueda de compuestos antibacterianos. *Revista Micopatología*, 160(4), 321-5 p. <https://doi.org/10.1007/s11046-005-0179-y>

- Mena, S., Peña, L. y González, R. (2003). CL50 y variación de la patogenicidad en aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* evaluados en poblaciones de *Premnotrypes vorax*. *Revista CORPOICA*, 4(1), 49-54 p.
- MIDAGRI. (2023). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (s. f.). *Papa*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/23-sector-agrario/cultivos-de-importancia-nacional/183-papa>
- Molina, J; Mairena, S. y Aguilar, L. (2006). Guía técnica sobre manejo integrado de plagas en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum L.*) Managua, Nicaragua. Proyecto PASA - DANINA, INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 60 p.
- Montaldo, A. (1984). Cultivo y mejoramiento de la papa. San José, Costa Rica: IICA.
- Mulock, B. y Chandler, L. (2001). Efecto de *Beauveria bassiana* sobre la fecundidad del gusano de la raíz del maíz occidental, *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Rev. Control Biológico*, 22 (1), 16-21 p. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0952>
- Ortiz, M., Alatorre, R., Valdivia, R., Ortiz, A., Medina, R. y Alejo, G. (2011). Efecto de la temperatura y humedad relativa sobre el desarrollo de los hongos entomopatógenos. *Revista Biociencias*, 1(2), 42-53 p. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.02.05>
- Pal, S., Leger, R. y Wu, L. 2007, El péptido fúngico Destruxina A desempeña un papel específico en la supresión de la respuesta inmune innata en *Drosophila melanogaster* *Revista Bioquímica*, 282(12), 8969-8977 p. <https://doi.org/10.1074/jbc.M605927200>

- Puma, A. y Calderón, J. (2016). Manejo integrado de plagas y su incidencia en el gorgojo de los andes (plaga) y enfermedades en el cultivo de la papa. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 12(13), 739-754 p.
- Rivera, I. y Pinto, L. (2001). Evaluación de patogenicidad de aislamientos nativos de hongos entomopatógenos sobre el gusano blanco de la papa, *Premnotrypes vorax* (Hustache). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 3(2), 53-65 p.
- Román M. y Hurtado G. Guía técnica del cultivo de La Papa. Salvador. 2002. Consultado 27 de mayo de 2015; Disponible en: <http://www.redepapa.org/roman.pdf>
- Sáenz, S. (1990). Biología y aplicación de hongos entomopatógenos. Memorias IV Curso Nacional de Control Biológico. Universidad Nacional de Nueva León. México. 36 p.
- SAG. (2005). Servicio Agrícola y Ganadero. *Premnotrypes* spp. Chile. <https://websag.azurewebsites.net/sites/default/files/Gorgojos%20de%20la%20papa.pdf>
- Salomón, J., Castillo, J., Estévez, A. O., Arzuaga, J., Torres de la Noval, W., Caballero, A., y Vásquez, E. (2012). Study of flowering and botanical seed production in open pollinated genotypes of potato (*Solanum tuberosum*, L.) in Cuba. *INCA*, 33(2) 61-67.
- SENASA. (2014). Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Entomopatógenos benéficos. Lima, Perú. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/2014/12/FICHA-T%C3%83%E2%80%B0CNICA-1-B.-bassiana.pdf>

- Sifuentes, E., Ruelas, J., Macías, J., Talamantes, I., Palacios, C., y Valenzuela, B. (2015). Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa. *Biotecnia*, 17(3), 42-48 p.
- Tamez, P., Galán, L., Medrano, H., García, C., Rodríguez, C., Gómez, R. y Tamez, R. (2001). Bioinsecticidas: su empleo, producción y comercialización en México, *Ciencia UANL*, 4(2) ,143-152 p.
- Untiveros, D. (1985). Gorgojo de los Andes. Biología, Daños y Control. Instituto Nacional de Investigación y promoción Agropecuaria (INAPA). Boletín técnico N° 3. Lima, Perú.
- Uribe, L. F., Calle, Z. I., & Gonzalez, F. V. (2013). Manejo Agronomico del cultivo de la papa para la Pre-Cordillera de la comuna de Putre. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigacion Especializado en Agricultura del desierto y altiplano (CIE), INIA Ururi, region de Arica y Parinacota. Ministerio de Agricultura., Arica. Chile. 4 p.
- Vargas, M. (2005). Introducción a la Entomología General y Agrícola. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito. Editorial universitaria. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Velásquez, J., Paula, N., Racines, M., Cruz, E., y Araujo, A. (2017). El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador: Tecnología de producción y manejo de semillas. VII Congreso Ecuatoriano de la Papa, 23-26 p.
- Villamil, J., Martínez, J. y Pinzón, E. (2016). Actividad biológica de hongos entomopatógenos sobre *Premnotrypes vorax* Hustache (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Ciencias Agrícolas*, 33(1), 34-42 p.
- Wiersema, J. (2019). Taxonomía GRIN. Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal de EE. UU. Conjunto de datos de lista de verificación. <https://doi.org/10.15468/ao14pp>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Galería fotográfica

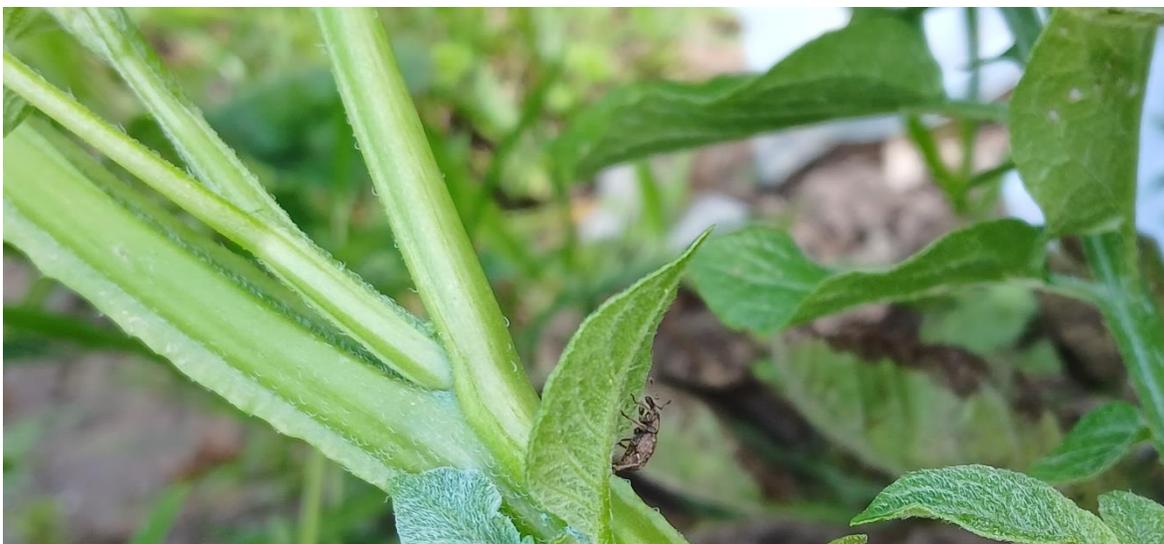
Figura 9

Campo experimental.



Figura 10

Adulto de Premnotrypes sp.

**Figura 11**

Aplicación de los tratamientos con entomopatógenos.



Figura 12

Signos de Lecanicillium lecanii en adulto de Premnotrypes sp.

**Figura 13**

Estructuras reproductivas de Lecanicillium lecanii observadas al microscopio.

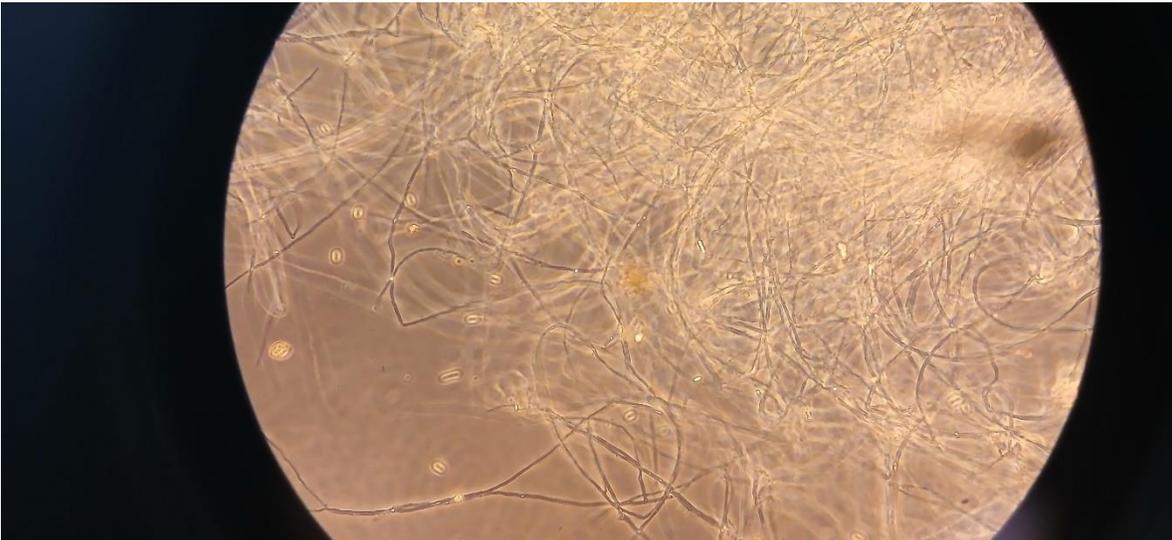


Figura 14

Signos de Beauveria bassiana en adulto de Premnotrypes sp.

**Figura 15**

Estructuras reproductivas de Beauveria bassiana observadas al microscopio.

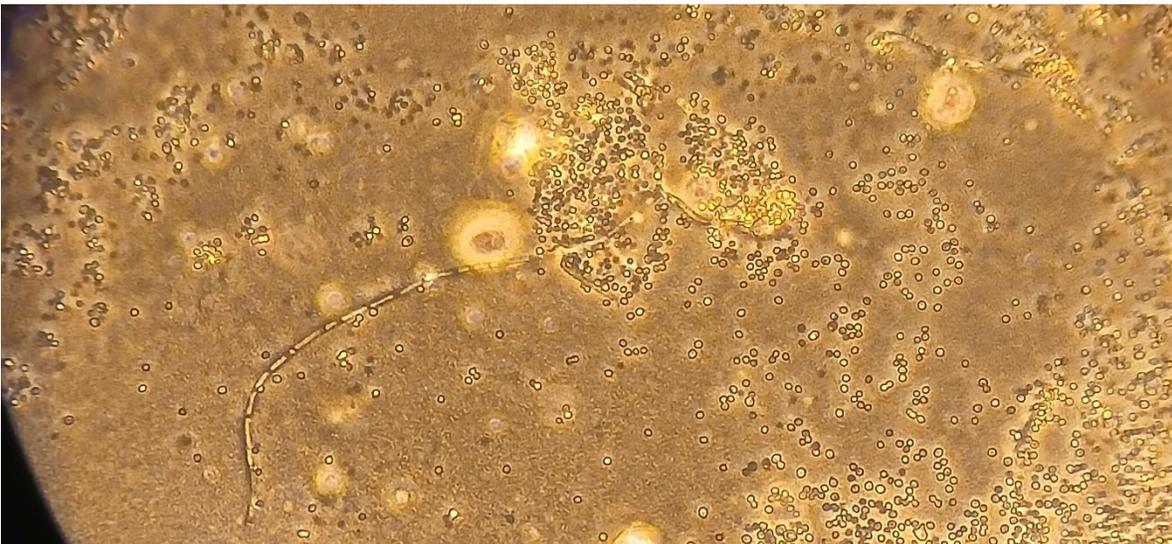


Figura 16

Signos de Metarhizium anisopliae en adulto de Premnotrypes sp.

**Figura 17**

Estructuras reproductivas de Metarhizium anisopliae observadas al microscopio.



Anexo 2. *Temperatura, humedad relativa y precipitación promedios registrados según evaluaciones*

Fecha de evaluación	Temperatura Promedio (°C)	Humedad Relativa Promedio (%)	Precipitación promedio (mm)
21/12/2024	25.7	77.1	0
04/01/2025	19.5	91.6	14.5
18/01/2025	20.9	86.3	2.3
01/02/2025	22.4	84.6	5.8
15/02/2025	20.8	87.6	8
01/03/2025	21.3	89.3	18.4