

CONTROL DE PREMNOTRYPES SPP. CON ACEITE DE ALLIUM SATIVUM EN EL CULTIVO DE SOLANUM TUBEROSUM, JAUJA, JUNÍN

Control of Premnotrypes spp. with Allium sativum oil in Solanum tuberosum crops, Jauja, Junín

Eber Armando Ramos Mollehuara¹ , Miguel Eduardo Anteparra Paredes² 

¹: Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional del Centro del Perú y Magister en Cultivos Tropicales por la Universidad Nacional Agraria La Selva. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María. Docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, La Merced – Pasco, Código ORCID: 0000-0002-7788-9835. Correo electrónico: eramosm@undac.edu.pe

²: Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y Magister en Entomología por la Universidad Nacional Agraria de La Molina. Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María – Huánuco. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María. Código ORCID: 0000-0002-0298-9284. Correo electrónico: miguel.anteparra@unas.edu.pe

Recibido: 10/01/2025 **Aceptado:** 15/01/2025 **Publicado:** 20/01/2025

RESUMEN

El gorgojo de los Andes (GA) es la principal plaga del cultivo de papa, causando daños en los órganos aéreos y subterráneos de la planta, lo que genera una fuerte dependencia de insecticidas para su control. El estudio se llevó a cabo en Tingo Paccha (Jauja) con el objetivo de evaluar el control del GA mediante aceite de ajo. Se aplicó en tres niveles de brotamiento (50%, 80% y 100%), dos intervalos (7 y 10 días) y tres dosis (0, 500 y 1000 mg/L). Para evaluar el control se consideró la sobrevivencia de adultos, daño al tubérculo y eficacia. Los resultados mostraron efecto en la sobrevivencia y eficacia aplicados al 100% del brotamiento con 1000 mg/L, logrando 0,78 adultos sobrevivientes y 84-91% de eficacia; respecto al daño del tubérculo, la aplicación al 50% del brotamiento con 1000 mg/L alcanzó menor tasa de daño (25%). En conclusión, el momento y la dosis de aplicación de aceite de ajo determinan el efecto en la sobrevivencia, daño al tubérculo y eficacia al aplicar 1000 mg/L de aceite de ajo cada 10 días al 50 y 100% del brotamiento.

Palabras clave: Aceite de ajo, gorgojo de los andes, sobrevivencia, daño del tubérculo, eficacia.

ABSTRACT

The Andean weevil (GA) is the main pest of potato crops, causing damage to the plant's aerial and underground organs, leading to a strong dependence on insecticides for control. The study was conducted in Tingo Paccha (Jauja) with the objective of evaluating GA control using garlic oil. It was applied at three sprouting levels (50, 80, and 100%), two intervals (7 and 10 days), and three doses (0, 500, and 1000 mg/L). To evaluate control, adult survival, tuber damage, and efficacy were considered. The results showed an effect on survival and efficacy when applied at 100% sprouting with 1000 mg/L, achieving 0.78 surviving adults and 84-91% efficacy. Regarding tuber damage, the application at 50% sprouting with 1000 mg/L resulted in a lower damage rate (25%). In conclusion, the timing and dose of garlic oil application determine the effects on survival, tuber damage, and efficacy, with 1000 mg/L applied every 10 days at 50% and 100% sprouting showing the best results.

Keywords: garlic oil, Andean weevil, survival, tuber damage, efficacy.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos dos siglos, la población mundial se ha multiplicado más de siete veces, lo que ha llevado a un aumento en la producción agrícola por un factor de diez (Rodríguez & Giménez, 2021). Para alimentar a la población proyectada de 10 mil millones en 2050, la producción mundial de alimentos deberá incrementarse al menos un 70%. Esto genera una gran presión sobre la gestión de recursos y plantea la necesidad urgente de producir alimentos que sean seguros, nutritivos y sostenibles (Galanakis, 2024). Sin embargo, la inseguridad alimentaria sigue siendo un problema, afectando especialmente a las zonas rurales. En Perú, esta situación impacta al 33,3% de los adultos, con tasas más altas en mujeres (27,8%) que en hombres (25,4%) (Álvarez-Macías, 2023).

Alcanzar la sostenibilidad alimentaria es un desafío, especialmente si se siguen utilizando prácticas tradicionales para aumentar la producción agrícola (Galanakis, 2024). Estas prácticas, aunque efectivas para incrementar la cantidad de alimentos, dependen del uso intensivo de pesticidas y fertilizantes, lo que conlleva riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Más del 90% de estos productos se pierde en el aire y en la escorrentía, lo que no solo afecta al entorno, sino que también incrementa los costos para los agricultores (De Oliveira et al., 2014). A nivel mundial, se utilizan aproximadamente 2 millones de toneladas de pesticidas al año, de los cuales el 47,5% son herbicidas, el 29,5% insecticidas, el 17,5% fungicidas y el 5,5% otros pesticidas (Sharma et al., 2019). En Perú, la importación de plaguicidas ha crecido un 46,4%, con un aumento en ventas del 6 al 7% para el 2019 (Soriano, 2024).

En el contexto de la producción de papa, uno de los cultivos más importantes en Perú, el uso de insecticidas representa un riesgo ambiental considerable. Se ha cuantificado un impacto de 34,6 CIA (Cociente de Impacto Ambiental) y 6,22 CIA en campo (Gaona et al., 2017). En Cusco, los agricultores emplean en promedio 13 sustancias activas insecticidas, con un impacto ambiental de 84 en la zona baja, 199 en la media y 83 en la alta (Catalán-Bazán et al., 2023). En Junín, en los distritos de Chupaca y Jauja, se utilizan 8 y 3 materias activas, respectivamente (Cabrera & Piñas, 2023; Quispe, 2007).

El principal problema entomológico en el cultivo de papa en Perú es el "gorgojo de los Andes" (Alcalá y Alcázar, 1976; Lindo, 2017; Otiniano, 2018; Cabrera, 2021). Las larvas de este insecto se introducen y se alimentan de la pulpa de los tubérculos, causando pérdidas de hasta el 90% de la cosecha (Pérez et al., 2010). En situaciones extremas, y dependiendo del manejo del cultivo, estas pérdidas pueden llegar al 100% (Villamil et al., 2016). El control del gorgojo se basa principalmente en pesticidas químicos, algunos de los cuales son altamente tóxicos, cuya eficacia varía y que implican altos costos, además de generar impactos

negativos en el medio ambiente y en la salud humana (Pérez et al., 2010; Cabrera, 2021). Esta falta de precisión en su aplicación resalta la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles para el control de plagas (Villamil et al., 2016; Pérez et al., 2010; Cabrera, 2021).

Se han buscado alternativas a los pesticidas químicos para el control de plagas en papa (Pérez et al., 2010; Villamil et al., 2016; Cabrera, 2021). Estudios a nivel global han demostrado que extractos de plantas como el ajo es una alternativa viable a los pesticidas convencionales, ya que se degradan rápidamente y tienen efectos adversos mínimos (Claros, 2016). El aceite de ajo ha demostrado ser eficaz como insecticida en varios cultivos, gracias a sus compuestos bioactivos (Rojas, 2011; Nwachukwu & Asawalam, 2014; Cázares et al., 2014; Barrera et al., 2018). Los principales componentes del aceite esencial de ajo son el disulfuro de dialilo, el dialilo, el dialil disulfuro, el trisulfuro de dialilo y la alicina, todos con propiedades insecticidas (Lizana & Riva, 2021). En estudios realizados en España, el aceite esencial de *Allium sativum* mostró altos niveles de dialil trisulfuro y dialil disulfuro, tanto en destilaciones de laboratorio como industriales (Satyal et al., 2017).

El ajo también contiene lectinas que interfieren con las proteínas intestinales de los insectos, interrumpiendo su ciclo de vida y provocando su muerte (Upadhyay, 2016). En pruebas con *Tenebrio molitor*, el aceite esencial de ajo causó parálisis y alteró la locomoción a concentraciones cercanas a CL50 (Plata-Rueda et al., 2019). La toxicidad del ajo, atribuida a la alicina y al disulfuro de dialilo, activa los canales sensoriales en los insectos, generando estrés y contribuyendo a su mortalidad (Nwachukwu & Asawalam, 2014). A pesar de estas propiedades que hacen del ajo un biopesticida prometedor, su uso en el control de plagas sigue siendo subestimado (Lizana & Riva, 2021).

En Perú, la producción de papa en la región de Junín y los Andes es fundamental para la subsistencia de muchos agricultores, quienes dependen de este cultivo tanto para su ingreso como para su alimentación (Gamarra et al., 2020). Sin embargo, la práctica del monocultivo y la falta de una adecuada rotación han llevado a un aumento en las plagas, lo que ha resultado en el uso frecuente de pesticidas tóxicos. Esto no solo afecta la salud de los consumidores, sino que también provoca intoxicaciones crónicas (Alarcón, 1994; Gamarra et al., 2020). El aceite de ajo, en particular, se destaca por su capacidad para reducir la exposición a pesticidas peligrosos y prevenir el desarrollo de resistencia en los insectos (Upadhyay, 2016).

El objetivo del estudio fue evaluar el control de *Premnotrypes* sp con aceite de ajo en el cultivo de papa para la zona de Jauja.

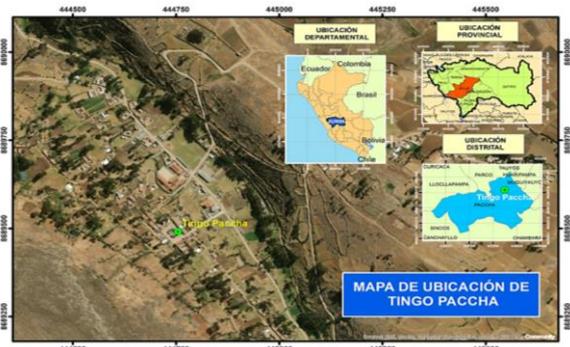
II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación y condiciones edafoclimáticas

El presente experimento fue conducido en la campaña agrícola 2020 - 2021 en un campo de un agricultor del Centro Poblado de Tingo Paccha, de la provincia de Jauja y departamento de Junín, ubicado a 20 km de la carretera central Jauja – Tarma, a 11°51'16" latitud Sur, 75°30'26" longitud Oeste y a 3686 msnm de altitud.

Figura 1

Mapa de ubicación del Centro Poblado de Tingo Paccha



El CC.PP. de Tingo Paccha, situado en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Tropical. El clima tuvo de 4,20 y 21,4 °C de temperatura promedio mínima y máxima mensual, presenta humedad promedio mensual de 65,3% y precipitación promedio mensual de 25,30 mm (Tabla 1). El terreno es ondulado, caracterizado por laderas montañosas y depresiones interandinas. La mayoría de los suelos están protegidos y varían desde inclinados hasta muy empinados, aunque algunos enfrentan problemas de erosión. Estos suelos se utilizan para el pastoreo, la agricultura y la reforestación con especies nativas, así como eucalipto y pino, y hay una pequeña proporción de suelos aptos para cultivos permanentes.

Tabla 1

Datos climáticos de la Estación SENAMHI Huayao (Junín) de noviembre del 2021 a mayor del 2022

Promedio mensual	T	T	Humedad (%)	Precipitación (mm)
	mínima (°C)	máxima (°C)		
	4,20	21,40	65,30	25,30

2.2. Material de estudio

Plantas de papa de la variedad Yungay instalado en el campo experimental, siendo en total de 1800 individuos con caracteres botánicos y genéticos uniformes. De ellos, se consideró a 180 plantas de papa como muestra, seleccionadas al azar del campo experimental, siendo de 10 individuos elegidos de la parcela, excluyendo a las plantas de borde.

2.3. Diseño metodológico

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar, con estructura factorial de 3 (A: brotamiento) x 2 (B: frecuencia de aplicación) x 3 (C: dosis de aceite de ajo) (Tabla 2), que hacen un total de 18 tratamientos. El ensayo fue instalado en un área total de 1620 m², la parcela experimental de 324 m² y el área neta de 9,36 m²

Tabla 2

Factores y niveles del experimento

Factores	Niveles
A: Brotamiento	a1: 50 % del brotamiento de la planta a2: 80 % del brotamiento de la planta a3: 100 % del brotamiento de la planta
B: Frecuencia de aplicación	b1: Cada 7 días b2: Cada 10 días
C: Dosis de aceite de ajo	c1: 500 mg/L c2: 1000 mg/L c3: 0 mg/L

2.4. Conducción del ensayo

Labores agronómicas: El terreno fue preparado con un tractor, utilizando arado de discos a 30 cm de profundidad, seguido del trazado mecánico de surcos a 80 cm de distancia. Se realizó un riego inicial y se aplicaron 2800 kg de materia orgánica como abonamiento.

Labores culturales: la siembra se realizó manualmente, utilizando 200 kg de semilla. Al cabo de ello, se realizaron fertilizaciones según la fórmula de abonamiento (200 N – 180 P – 120 K) al inicio y 68 días después de la siembra (dds). Se implementó un control de plagas mediante la aplicación de fungicidas en momentos clave del cultivo (48, 68, 98 y 128 dds). La cosecha se realizó a los 188 dds, tras cortar el follaje 15 días antes para asegurar una maduración adecuada de los tubérculos.

Aplicación del aceite de ajos: se hicieron según el estado de brotamiento 50 % (31 dds), 80 % (36 dds) y 100 % (43 dds), constituyendo estas como la primera aplicación. Posteriormente se efectuó la segunda aplicación a los 7, 10 y 14 dds respectivamente. Finalmente, continuaron las aplicaciones cada 7 y 10 días, durante todo el ciclo del cultivo, a las dosis de 500 y 1000 mg/L

2.5. Descripción de los parámetros evaluados

Sobrevivencia gorgojos adultos: se evaluó contando los adultos vivos en 10 plantas de papa antes y 7, 10 y 14 días después de aplicar aceite de ajo. Se revisaron hojas y raíces a 10 cm de profundidad y radio, removiendo terrones. Los resultados se expresaron como el número promedio de adultos vivos.

Daños al tubérculo: se evaluó al cosechar, aglomerar y extender los tubérculos en cada surco de los tratamientos. El porcentaje de daño causado por el gorgojo de los Andes (GA) se estimó visualmente.

Eficacia de control: se evaluó mediante el conteo de gorgojos adultos vivos antes y 7, 10, y 14 días después de la aplicación del aceite de ajo. La eficacia se calculó usando la fórmula de Abbot.

$$PE_A = \left(1 - \frac{n \text{ en T después del tratamiento}}{n \text{ en Co después del tratamiento}}\right)$$

2.6. Análisis y procesamiento de datos

Los datos de la investigación se tabularán en cuadros de frecuencia y porcentajes para la sobrevivencia de adultos de GA, daño en tubérculos y eficacia de control. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos según normas APA. Se aplicaron análisis descriptivos e inferenciales, utilizando las pruebas de Fischer y Duncan, con un nivel de significancia del 5 % para evaluar las hipótesis.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Sobrevivencia de adultos

Los factores A (brotamiento), C (dosis de ajos) y su interacción AC mostraron un efecto significativo en la sobrevivencia de gorgojos. No obstante, hubo igualdad estadística en los factores B (frecuencia de aplicación), e interacciones AB, BC y ABC, con un coeficiente de variabilidad de 11,89 %, lo que indica confiabilidad y precisión en la evaluación (Tabla 3).

Tabla 3

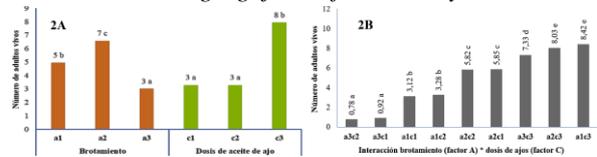
ANOVA de sobrevivencia de adultos al 0,05 de error con datos transformados $\sqrt{(X+1)}$

Estadísticos ANOVA	Fuentes de variabilidad								
	Bloques	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Error
SC	0,47	114,05	0,83	257,61	0,27	38,88	0,19	1,02	11,25
CM	0,24	57,02	0,83	128,81	0,14	9,72	0,09	0,25	0,33
p-valor	0,4953	<0,0001	0,1221	<0,0001	0,6644	<0,0001	0,7542	0,5524	
CV = 11,89 %									

La proporción de brotamiento en la sobrevivencia de adultos resalta al nivel a3 (100 % brotamiento), que resultó en la menor cantidad de gorgojos, con 3,01 individuos por planta. Además, los niveles c1 (500 mg/L) y c2 (1000 mg/L) lograron menor número de gorgojos sobrevivientes de 3,29 individuos (Figura 2A). Los niveles a3c2 (100 % brotamiento 1000 mg/L) y a3c1 (100 % brotamiento 500 mg/L) presentaron promedios de 0,78 y 0,92 gorgojos, respectivamente (Figura 2B). Esto se debe a la población disminuye durante el desarrollo y madurez (Tola, 2009), la fluctuación poblacional de gorgojo de los andes (Jarandilla, 2010) y la rotación de cultivos (Córdova, 2016). Por lo que, el aceite de ajo mostró aptitud insecticida y repelente, debido a compuestos como el disulfuro de dialilo, la alicina y las lectinas (Nwachukwu & Asawalam, 2014; Plata-Rueda et al., 2017).

Figura 2

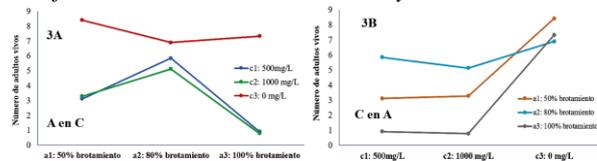
Promedios y test de Duncan ($p=0,05$) para sobrevivencia de gorgojos en factores A y C



Los niveles de 100 % brotamiento con 500 mg/L y 1000 mg/L de aceite de ajo lograron reducir la sobrevivencia de adultos de gorgojos a menos de 1 individuo. Estos resultados son consistentes con el estudio de Romero (2021), que logró reducir a cero los individuos de gorgojo de los andes aplicando aceite de ajo a dosis de 1000 y 1500 ppm. Romero (2021) atribuye la mortalidad de los gorgojos a la ingesta de las hojas de papa tratadas. Además, Upadhyay (2016) sugiere que el aceite de ajo causa trastornos intestinales, Plata-Rueda et al. (2019) señala locomoción alterada y contracciones musculares, y Nwachukwu & Asawalam (2014) reportan inflamaciones respiratorias.

Figura 3

Gráfico de interacciones de A en C y C en A



3.2. Daños al tubérculo de papa

Las fuentes Bloques, factor B, interacción BC y ABC no mostraron significancia estadística, mientras que los factores A, C y la interacción AC sí la presentaron, tal como se muestra en los p-valor. La variabilidad de los datos, con un coeficiente de 5,95 %, refleja precisión en el porcentaje de daño causado por gorgojos de los andes (Tabla 4)

Tabla 4

ANOVA de daño del tubérculo por gorgojo de los andes después de las aplicaciones

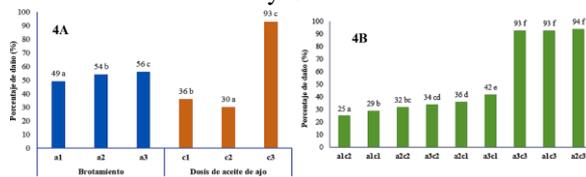
Estadísticos ANOVA	Fuentes de variabilidad								
	Bloques	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Error
SC	0,001	0,050	0,003	4,370	0,004	0,030	0,000	0,005	0,030
CM	0,001	0,020	0,003	2,190	0,002	0,010	0,000	0,001	0,001
p-valor	0,574	<0,0001	0,1001	<0,0001	0,1698	0,0003	0,8251	0,3583	
CV = 5,95 %									

En el factor A (proporción de brotamiento), el nivel a1 (50 % brotamiento) presentó el menor daño al tubérculo (49 %) distinto a los niveles a2 (80 % brotamiento) y a3 (100 % brotamiento), debido a que, la baja población de gorgojos adultos entre la siembra y la emergencia. (Tola, 2009; Jarandilla, 2010). En el factor C, el nivel c2 (1000 mg/L) destacó estadísticamente sobre las otras dosis al reducir el daño en 30 %. Estos resultados coinciden con Barrera et al. (2018) sobre *Colaspis* sp, y Plata-Rueda et al. (2017) sobre *Tenebrio molitor*, donde redujeron el daño por

aplicación del aceite de ajos. Delonje (2010) destacó el potencial de *A. sativum* y *A. fistulosum*, y Kumar (2017) reportó la efectividad de aceites de *A. sativum* y *A. marmelos* en *S. zeamais* (Figura 2A). En la interacción AC, el nivel a1c2 (50 % brotamiento * 500 mg/L) logró el menor daño (25 %), superando a otros niveles. En contraste, los a3c1, a3c3, a1c3 y a2c3 mostraron daños significativamente más altos (93 % y 94 %). Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Plata-Rueda et al. (2017), Kumar (2017) y Nwachukwu & Asawalam (2014) (Figura 2B)

Figura 4

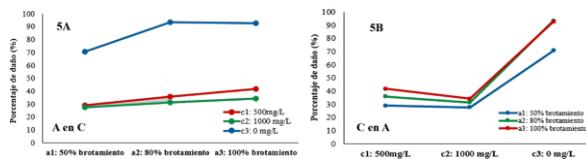
Promedios y test de Duncan ($p=0,05$) para daño al tubérculo en factores A y C



Los análisis de los factores A y C revelan interacciones significativas en el daño a los tubérculos (Figura 5A), donde el nivel a1 (50 % brotamiento) muestra menor daño con las dosis c1 (500 mg/L) y c2 (1000 mg/L) de aceite de ajo. La Figura 5B refuerza la eficacia del nivel c2 (1000 mg/L) al correlacionarse con a1, indicando un menor daño. Este efecto está relacionado con la supervivencia de adultos de gorgojo de los andes; menor cantidad de adultos se traduce en menos daño a los tubérculos. Esto coincide con Kumar (2017), quien señaló que aceites de *Allium sativum* y *A. marmelos* disminuyen la descendencia y daño de plagas. Juran et al. (2020) también resaltaron la importancia de iniciar aplicaciones a partir del 50 % de brotamiento para controlar plagas

Figura 5

Gráfico de interacciones de A en C y C en A para daño al tubérculo



3.3. Eficacia del aceite de ajos

Las fuentes Bloques, las interacciones AB, BC y ABC no mostraron significancia estadística a los 7, 10 y 14 días después del control (DDC), sólo el factor B también evidenció carencia de significación a los 14 DDC. Por otro lado, los factores A, C y la interacción AC presentaron efecto significativo a los 7,10 y 14 DDC, tal como se muestra en los p-valor. El factor B también reportó diferencias estadísticas a los 7 y 10 DDC. La variabilidad de los datos mostró coeficientes de 4,71; 3,13 y 6,56 %, que revelan la precisión en la evaluación de la eficacia (Tabla 5)

Tabla 5

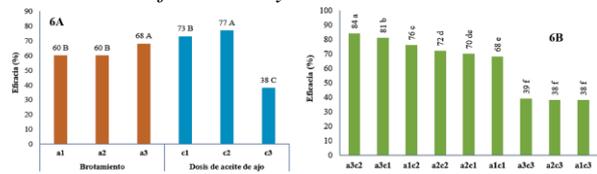
ANVA ($p=0,05$) para eficacia del aceite de ajos a los 7, 10 y 14 DDC.

DDC	Estadísticos ANOVA	Fuentes de variabilidad							Error	
		Bisques	A	B	C	AB	AC	BC		ABC
7	CM	0,003	0,04	0,00	0,81	0,00	0,01	0,002	0,002	0,001
	p-valor	0,0553	<0,0001	0,6689	<0,0001	0,9278	<0,0001	0,1298	0,071	
	CV	4,71 %								
10	CM	0,001	0,02	0,00	1,460	0,001	0,004	0,001	0,000	0,000
	p-valor	0,3109	<0,0001	0,4888	<0,0001	0,2258	<0,0001	0,1753	0,4113	
	CV	3,13 %								
14	CM	0,003	0,01	0,01	1,670	0,002	0,01	0,003	0,001	0,003
	p-valor	0,2664	0,0019	0,0326	<0,0001	0,3679	0,0085	0,2163	0,5715	
	CV	6,56 %								

Eficacia a 7 DDC: en el factor A, el nivel a3 (100 % brotamiento) obtuvo superior resultado (68 %) respecto a los otros niveles (Figura 6A), debido a la disponibilidad del alimento para el insecto, lo que favorece al desarrollo de la plaga (Cisneros, 1995). En el factor C, sobresalió el nivel c2 (1000 mg/L) y el nivel c1 (500 mg/L) sobre el nivel c3 (0 mg/L) (Figura 6A), en razón a la bioactividad del disulfuro de dialilo y la alicina del ajo, que penetran rápidamente en las células e interfieren en procesos neuronales de insectos, generando estrés y muerte (Nwachukwu & Asawalam, 2014). Además, la baja eficacia en concentraciones mínimas puede deberse a la rotación de cultivos y distancias entre parcelas (Córdova, 2016). En la interacción AC, el nivel a3c2 (100 % brotamiento*1000 mg/L) obtuvo una eficacia sobresaliente (84%) referente a los otros niveles de la interacción AC, en cambio, los niveles testigo a3c3, a2c3 y a1c3, mostraron eficacias similares entre 38 y 39 %. Resultado que coincide con Romero (2021) porque reporta 100 % de eficacia del aceite de ajo entre 6 y 8 días después de la aplicación con y sin adherente a dosis de 1500 ppm. Además, se justifica el resultado, debido a que, porque actúa como neurotóxico, que concuerda con Kumar (2017) quien señala que los compuestos se unen a las proteínas receptoras del insecto, interrumpiendo la neurotransmisión normal, lo que provoca parálisis y muerte.

Figura 6

Promedios y test de Duncan ($p=0,05$) para eficacia de control en factores A y C a los 7 DDC

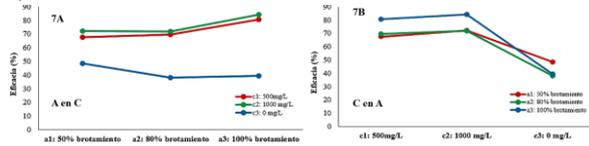


Los resultados revelan la interacción de los factores A y C, mostrando la influencia de cada nivel. Se observa eficacia similar en el control de gorgojos con los niveles c1 (500 mg/L) y c2 (1000 mg/L), siendo más eficaz con el nivel a3 (100% brotamiento). El nivel c3 (0 mg/L) muestra menor eficacia. La interacción de los factores C y A indica mayor eficacia con c1 y c2 en a3 (100% brotamiento), destacando c2 como el más eficaz (Figura 7). Los resultados indican que la dosis de 1000 mg/L de aceite de ajo incrementa la eficacia en el control de gorgojos adultos a 7 DDC, similar a lo observado por Romero (2021), con 83,30% de eficacia al aplicar 1000-1500 ppm. Kumar (2017) señala que el

aceite interrumpe la función neuronal, mientras que Nwachukwu y Asawalam (2014) destacan la capacidad de la alicina para penetrar células y provocar mortalidad en insectos.

Figura 7

Gráfico de interacciones de A en C y C en A para eficacia de control a los 7 DDC

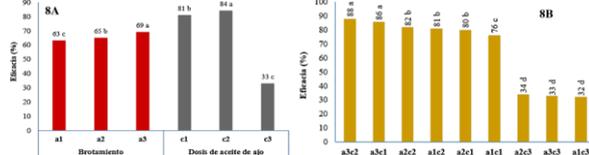


Eficacia a 10 DDC: en el factor A, se conformaron grupos significantes, del que sobresalió el nivel a3 (100 % brotamiento) con 69 % de eficacia (Figura 7A), atribuida al mayor desarrollo vegetativo de la planta, el cual ofrece más alimento al gorgojo. Cisneros (1995) señala que el cultivo se vuelve más propicio para las plagas cuando hay mayor disponibilidad de alimento. En el factor C, también muestran grupos significativos, donde el nivel c2 (1000 mg/L) tuvo mayor eficacia respecto a las otras dosis (Figura 7A), el cual es posible por la presencia de lectinas del aceite de ajo, que afectan la sensorialidad bucal e interactúan con proteínas vitales del intestino del insecto, causando su muerte (Upadhyay, 2016). Además, los tiosulfatos volátiles, como monosulfuros, disulfuros y trisulfuros, son tóxicos para insectos herbívoros (Plata-Rueda et al., 2017).

En la interacción AC, los niveles a3c2 (100 % brotamiento*1000 mg/L) y a3c1 (100 % brotamiento*500 mg/L) tuvieron efecto similar (88 y 86 %, respectivamente), pero destacó estadísticamente de las otras interacciones (Figura 7B). Este resultado, tiene relación con Romero (2021) quien logró 100% de eficacia al aplicar 1500 ppm de aceite ajo en condiciones de laboratorio. El resultado se atribuye a la alicina y disulfuro de dialilo que atacan el sistema nervioso de los insectos (Nwachukwu & Asawalam, 2014), y a la lectina, que, al ser ingerida, provoca trastornos intestinales en el insecto (Upadhyay, 2016).

Figura 8

Promedios y test de Duncan ($p=0,05$) para eficacia de control en factores A y C a los 10 DDC

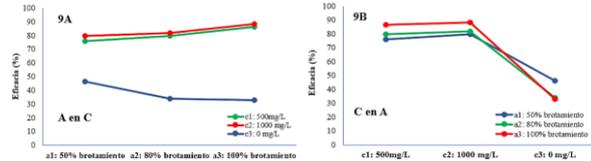


Los niveles del factor A mostraron eficacia similar al interactuar con los niveles c1 (500 mg/L) y c2 (1000 mg/L), destacando el nivel a3 (100% brotamiento) con las mayores eficacias de control (Figura 8A). Los niveles de C influyen significativamente en la eficacia, siendo c2 (1000 mg/L) con a3 (100% brotamiento) los más efectivos (Figura 8B). Romero (2021) también

encontró eficacia del 46,70% a los 7 DDC. La eficacia del aceite de ajo se relaciona con aspectos neurológicos (Nwachukwu & Asawalam, 2014; Kumar, 2017), respiratorios (Upadhyay, 2016; Plata-Rueda et al., 2017) y digestivos (Pandey et al., 2018).

Figura 9

Gráfico de interacciones de A en C y C en A para eficacia de control a los 10 DDC

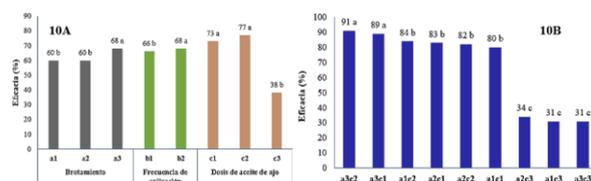


3.4. Eficacia a 14 DDC

En el factor A, el nivel a3 (100 % brotamiento) destacó con mayor eficacia de 70 %; en el factor B, el nivel b2 (cada 10 días) obtuvo eficacia de 68 % y en el factor C, el nivel c2 (1000 mg/L) y c1 (500 mg/L) reportaron mayor eficacia de 85 y 84 % respectivamente (Figura 9). En la interacción AC, los niveles a3c2 (100 % brotamiento*1000 mg/L), y a3c1 (100 % brotamiento*500 mg/L) consiguen mayor eficacia 91 y 89 % respectivamente, los cuales superaron a las otras interacciones (Figura 9B). Estos resultados coinciden con Romero (2021) el cual obtuvo mayor eficacia con el aceite de ajo a 1500 ppm con y sin adherente. Además, la eficacia del aceite de ajo se avala por la presencia de los terpenoides del aceite de ajo (Lizana & Riva, 2021), quienes posee acción neurotóxica, al interferir con el neuromodulador octopamine o cloruro activado por GABA, este sistema octopaminérgico representa un objetivo para el control de insectos. Los terpenoides de bajo peso molecular son demasiado lipofílicos para ser solubles en la hemolinfa después de atravesar la cutícula y la vía de entrada propuesta (tráquea), se unen a las proteínas receptoras del insecto e interrumpen la neurotransmisión normal, lo que provoca parálisis y muerte (Kumar, 2017).

Figura 10

Promedios y test de Duncan ($p=0,05$) para eficacia de control en factores A, B y C a los 14 DDC

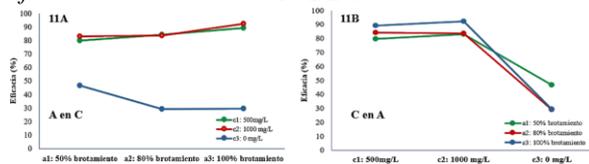


La interacción entre los niveles de brotamiento a1 (50%), a2 (80%) y a3 (100%) con las dosis c1 (500 mg/L) y c2 (1000 mg/L) mostró una eficacia relevante en el control del gorgojo (Figura 10A). La dosis c2 (1000 mg/L) destacó por su mayor eficacia (Figura 10B), similar a los resultados de Romero (2021), quien aplicó 1500 ppm de ajo. Plata-Rueda et al. (2017) atribuye esta eficacia al efecto del ajo sobre la respiración y actividad muscular de los insectos,

causando parálisis. Nwachukwu y Asawalam (2014) observaron una alta protección de granos de maíz, reduciendo su pérdida a <0.5% en 60 días. Cázares et al. (2014) logró 84.37% y 87.50% de insectos repelidos con ajo a 50 ppm. Diversos estudios (Plata-Rueda et al., 2017; Nwachukwu y Asawalam, 2014; Delonye, 2010; Barrera et al., 2018; Kumar, 2017) confirman el efecto insecticida o repelente del ajo en insectos.

Figura 11

Gráfico de interacciones de A en C y C en A para eficacia de control a los 14 DDC



IV. CONCLUSIÓN

La aplicación de aceite de ajo en diferentes dosis demostró ser efectiva para reducir la supervivencia de los gorgojos adultos y el daño a los tubérculos. El tratamiento con un nivel de brotamiento del 100% (a3) combinado con 1000 mg/L de aceite de ajo (c2) logró una reducción significativa en la cantidad de gorgojos adultos, con menos de un individuo por planta. Esto se alinea con estudios anteriores que resaltan la eficacia insecticida del ajo, gracias a sus compuestos bioactivos como la alicina y el disulfuro de dialilo, que impactan el sistema nervioso y digestivo de los insectos. Además, se observó una disminución en el daño a los tubérculos, siendo el tratamiento a3c2 el más efectivo, con un daño reducido al 25%. Estos hallazgos confirman el potencial del ajo como un insecticida natural, subrayando su capacidad para paralizar y eliminar insectos a través de efectos neurológicos y respiratorios.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez Macías, A. G. (2023). La seguridad alimentaria y nutricional en el mundo, 2023. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, (45), 153-158. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpm/article/view/496>

Alcalá C., P. & Alcázar S., J. (1976). Biología Comportamiento de *Premnotrypes Sutoricallus* Kuschel (Col.: Curculionidae). *Revista Peruana de Entomología*, 19(1), 49–52.

Alcázar, J., Vera, A., Cisneros, F. & Aldana, R. (1999). *Identidad de los gorgojos que atacan los principales tubérculos andinos*. Sociedad Entomológica del Perú.

Barrera Violeth, J. L., Fernández Herrera, C. & Pérez García, K. D. (2018). Extractos vegetales: alternativa de control de *Colaspis* sp.

(Coleoptera: Chrysomelidae) en plátano cv. Harton. *Revista Temas Agrarios*, 23(1), 9-17. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i1.1142>

Cabrera, E. H. (2021). *Tecnologías amigables para la eliminación del gorgojo de los Andes (Premnotrypes sutoricallus Kuschel: Phtorimaea operculella) en cultivos de papa: Revisión sistemática* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75461>

Cabrera Onsihuay, V. & Piñas Cerrón, M. (2023). *Características del uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores del distrito de Chupaca – Huancayo* [Tesis de grado, Universidad Roosevelt]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14140/1536>

Catalán-Bazán, W., Rodríguez-Berrio, A., Canta-Saéñz, M., Alcázar-Sedano, J., & Catalán-Ortega, F. (2023). Uso de insecticidas y fungicidas en agroecosistemas de papa en la Región de Cusco. *Q'EUÑA: Revista Multidisciplinaria de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*, 14(2), 13-21. <https://doi.org/10.51343/rq.v14i2.1294>

Cázares, N., Verde, M., López, J. & Almeida, I. (2014). *Evaluación de diferentes extractos vegetales contra el psílido asiático de los cítricos Diaphorina citri (Hemiptera: Lividae)*. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(1), 67-73.

Córdova Meza, L. F. (2016). *Uso de barreras de plástico para el control del gorgojo de los andes (Premnotrypes ssp.), en la producción orgánica de papas nativas (Solanum tuberosum ssp. andigenum), en la microcuenca de Mariscal Cáceres, distrito de Conayca – Región Huancavelica, año 2013* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4569>

Cisneros V., F. H. (1995). *Control de plagas agrícolas* (2ª ed.). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Claros Cuadrado, J. L. (2016). *Bioinsecticidas de capsaicinoides y glucosinolatos en el control de los insectos plaga en las plantas de Spartium junceum L. (Fabales: Leguminosae) en el Valle del Mantaro* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4566>.

- Oliveira, J. L. de, Ramos Campos, E. V., Bakshi, M., Abhilash, P.C. & Fernandes Fraceto, L. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: *Prospects and promises. Biotechnology Advances*, 32(8): 1550-1561. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.010>
- Delonje, A. (2010). Bioactivity of powder and extracts from garlic, *Allium sativum* L. (Alliaceae) and spring onion, *Allium fistulosum* L. (Alliaceae) against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) on cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Leguminosae) seeds. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2010(1), 1-5. <https://doi.org/10.1155/2010/958348>
- Galanakis, C. M. (2024). The Future of food. *Foods*, 13(4), 1-18. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13040506>
- Gamarra Mendoza, N. N., Gamarra Poma, R. N. & Tito León, R. (2020). Efecto de capsaicinoides en larvas de *Premnotrypes vorax* de papas (*Solanum tuberosum*) cosechadas y almacenadas en el Valle del Mantaro. Región Junín. *Revista Científica Ciencia Agro Alimentaria*, 1(1): 83-89. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/jafs/article/view/551>
- Gaona, L., Bedmar, F., Gianelli, V., Faberi, A. J. & Angelini, H. (2017). *Estimating the risk of groundwater contamination and environmental impact of pesticides in an agricultural basin in Argentina. International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 6657-6670. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02267-w>
- Jarandilla Rodríguez, 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 de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional.* <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/9806>
- Juran, I., Grubišić, D., Ā tivičić, A. & Gotlin Čuljak, T (2020). Which Factors Predict Stem Weevils Appearance in Rapeseed Crops?. *Journal of the Entomological Research Society*, 22(2), 203-210. <https://www.entomol.org/journal/index.php/JERS/article/view/1848>
- Kumar Chaubey, M. (2017). Study of insecticidal properties of garlic, *Allium sativum* (Alliaceae) and Bel, *Aegle marmelos* (Rutaceae) essential oils against *Sitophilus zeamais* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Entomology*, 14(5): 191-198. <https://doi.org/10.3923/je.2017.191.198>
- Lindo Gutarra, E. B. (2017). *Manual de prácticas de entomología general y sistemática*. Facultad de agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Nwachukwu, I.D. & Asawalam, E. F. (2014). Evaluation of freshly prepared juice from garlic (*Allium sativum* L.) as a biopesticide against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Plant Protection Research*, 54(2), 132-138. <http://dx.doi.org/10.2478/jppr-2014-0021>
- Otiniano Villanueva, R. (2018). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores en la sierra norte del Perú*. Asociación Patata.
- Pandey, A. K., Tripathi, S. & Singh, P. (2018). Plant essential oils: a substitute for conventional insecticides against *Tribolium* species (Coleoptera: Tenebrionidae)-achievements and challenges. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 51(13-14), 696-728. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2018.1495875>
- Pérez-Álvarez, R., Argüelles-Cárdenas, J. & Garramuño, E. A. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 11-20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:190
- Plata-Rueda, A., Martínez, L. C., Santos, M. H. D., Fernandes, F. L., Wilcken, C. F., Soares, M. A., Serrão, J. E. & Zanuncio, J. C. (2017). Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.1038/srep46406>
- Quispe Garibay, G. A. (2007). *Evaluación del sistema de cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en la comunidad campesina de Aramachay (Sincos, Jauja, Junín)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2455>
- Rodríguez, J. del C. & Giménez, C. (2021). *Aceites vegetales para el control de plagas en cultivos agrícolas [Folleto]*. Facultad de Farmacia de la Universidad La Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24593>
- Rojas P., S. (2011). *Efectividad de insecticidas de baja toxicidad en el control de gorgojo de los andes Premnotrypes suturicallus Kuschel. Jauja* [Tesis de grado no publicada]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Romero Alvino, Y. J. (2021). *Uso de biopreparados a base de ajo en la mortandad de adultos de gorgojo de los Andes (Premnotrypes spp.) bajo condiciones controladas* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8467>

- Satyal, P., Craft, J.D., Dosoky, N.S. y Setzer, W.N. (2017). The chemical compositions of the volatile oils of garlic (*Allium sativum*) and wild garlic (*Allium vineale*). *Foods*, 6(8), 1-10. <http://dx.doi.org/10.3390/foods6080063>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Singh Sidhu, G. P., Handa, N., Kaur Kohli, S., Yadav, P., Shreeya Bali, A., Daman Parihar, R., Iqbal Dar, O., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R & Kumar Thukral, A. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*. 1(11), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- Soriano Yábar, E. C. (2024). *Sistema de registro de plaguicidas de uso agrícola en el Perú y sus actividades post-registro*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6471>
- Tola, S. (2009). *Implementación de prácticas de manejo integrado del gorgojo de Los Andes en el cultivo de la papa en la comunidad de Chinchaya del municipio de Ancoraimas* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/123456789/4992>
- Upadhyay, R. K. (2016). Garlic: a potential source of pharmaceuticals and pesticides: a review. *International Journal of Green Pharmacy* 10(1), 1-28. <https://doi.org/10.22377/ijgp.v10i1.609>
- Villamil Carvajal, J. E., Martínez, J. & Pinzón-Sandoval, E. H. (2016). *Actividad biológica de hongos entomopatógenos sobre Premnotrypes vorax Hustache (Coleoptera: Curculionidae)*. *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163301.4>