

Efectividad insecticida de caldos minerales para el control de *Sitotroga cerealella* (Oliver)

Insecticidal effectiveness of mineral broths for the control of *Sitotroga cerealella* (Oliver)

Eva Lizbeth León Arreguin¹, José Francisco Rodríguez Rodríguez^{2*}, Francisco Cervantes Ortiz³,
Sarahyt Santamaría González Figueroa², J. Guadalupe García Rodríguez³, Alfredo Josué Gámez-Vázquez²

¹ Estudiante de Posgrado en Tecnológico Nacional de México en Roque. CP. 38110, Celaya, Gto., México.

lizbetharreguin.leon@gmail.com. ORCID: 0009-0004-9835-388X

² Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, CP. 38110, Celaya, Gto., México.
Tel. 800 088 222 ext. 85281.

francisco_azul@live.com.mx. ORCID: 0000-0001-6461-4210

sarahyrgyzgonzalez@hotmail.com ORCID: 0000-0002-2050-9790

ajosueg@msn.com ORCID: 0000-0002-2453-0570

³ Tecnológico Nacional de México en Roque, CP. 38110, Celaya, Gto., México.

francisco.co@roque.tecnm.mx ORCID: 0000-0003-2419-5896

garcia_2956@hotmail.com ORCID: 0000-0003-2974-3652

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave:

Sitotroga cerealella;
maíz; sulfocálcico;
mortalidad.

Sitotroga cerealella es la principal plaga de maíz en almacén que ocasiona daños durante la etapa larval. Su control se basa en la aplicación de moléculas químicas; sin embargo, esto crea poblaciones resistentes. Ante esto, una alternativa es la implementación de caldos minerales. El objetivo fue evaluar la efectividad biológica de caldos minerales para el control de *S. cerealella*. Se evaluaron cinco caldos minerales en combinación con seis genotipos de maíz; 50 g de semilla fue tratada con caldos minerales, se agregaron cinco parejas de *S. cerealella* y se registró la mortalidad, consumo, adultos emergidos y proporción sexual. El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo trifactorial. Los resultados muestran que el caldo sulfocálcico controló un 90% a una dosis de 1 ml L⁻¹, mientras que, el análisis de componentes principales demuestra una correlación negativa entre la mortalidad y el resto de las variables.

Abstract

Keywords: *Sitotroga cerealella*; corn; calcium sulfide; mortality.

Sitotroga cerealella is the main pest of corn in storage causing damage during the larval stage. Its control is based on the application of chemical molecules; however, this creates resistant populations. Given this, an alternative is the implementation of mineral broths. The objective was to evaluate the biological effectiveness of mineral broths for the control of *S. cerealella*. Five mineral broths were evaluated in combination with six corn genotypes; 50 g of seed was treated with mineral broths, five pairs of *S. cerealella* were added, and mortality, consumption, emerged adults, and sex ratio were recorded. The study was carried out under a completely randomized experimental design with a three-factor arrangement. Results show that the sulfocalcium broth controlled 90% at a dose of 1 ml L⁻¹, while the principal components analysis shows a negative correlation between mortality and the rest of the variables.

Recibido: 03 de marzo de 2025

Aceptado: 28 de julio de 2025

Publicado: 18 de febrero de 2026

Cómo citar: León, E. L.; Rodríguez, J. F.; Cervantes, F.; González, S. S.; García, J. G.; & Gámez-Vázquez, A. J. (2026). Efectividad insecticida de caldos minerales para el control de *Sitotroga cerealella* (Oliver). *Acta Universitaria*, 36, e4549. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2026.4549>

Introducción

Sitotroga cerealella, comúnmente conocida como palomilla dorada del grano, es una plaga principal de semillas y granos de almacén (Soomro *et al.*, 2017) que puede atacar trigo, arroz, cebada, centeno y maíz (Borzoui *et al.*, 2017). Presenta una metamorfosis completa, la cual pasa por los estadios de huevo, larva, pupa y adulto (Chowdhury *et al.*, 2023). El huevecillo es color blanco y cuando va a eclosionar presenta una coloración rosada a naranja, después eclosiona la larva, pasando por cinco instares con una coloración blanca y cabeza amarillenta (Gandica *et al.*, 2022). La pupa tiene una coloración marrón y se desarrolla dentro de un capullo de seda; posteriormente, emerge a adulto, presentando tonalidades doradas con manchas más oscuras en el primer par de alas, mientras que el ápice del segundo par de alas presenta flecos y termina en punta (Basavanjali *et al.*, 2020).

Los daños causados por esta plaga pueden comenzar en campo cuando el cultivo alcanza su madurez fisiológica, o bien, en poscosecha durante su almacenamiento (Chowdhury *et al.*, 2023). La larva realiza orificios en el pedicelo y entra para alimentarse del endospermo o embrión, lo que provoca una disminución del peso y el valor nutricional de los granos (Rangel Fajardo *et al.*, 2020).

El principal método de control es la aplicación de insecticidas químicos como malation, metacrifos, metil-clorpirifos y deltrametrina (Wu *et al.*, 2020); sin embargo, en el uso desmedido de estos productos se presentan desventajas. Por ejemplo, además de que son relativamente caros (Pereira *et al.*, 2020), contribuyen a la contaminación ambiental, causan daños a la salud humana (El-Shafie, 2019) y favorecen el desarrollo de insectos resistentes (Hernández-Trejo *et al.*, 2019).

Una alternativa es el control biorracional, el cual incluye aceites esenciales, extractos vegetales y caldos minerales (Murillo-Cuevas *et al.*, 2020). Los caldos minerales son compuestos elaborados a base de azufre, cobre, cenizas y calcio, los cuales son inhibidores de la alimentación, el crecimiento y la producción enzimática en plagas de insectos y microorganismos patógenos, además de que mejoran la fertilidad del suelo (Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente [IDMA], 2020). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de caldos minerales para el control de *S. cerealella*.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

Los bioensayos se realizaron en el Laboratorio de Entomología del Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la Carretera Celaya-San Miguel Allende km. 6.5 en Celaya, Guanajuato.

Cría de *Sitotroga cerealella*

Se estableció un pie de cría de *S. cerealella*, en la cual se recolectaron 15 muestras de 200 g de maíz infestado por larvas de la palomilla dorada del grano en el almacén de semillas del TecNM-Roque en Celaya, Guanajuato, y se trasladaron al Laboratorio de Entomología del INIFAP donde fueron criadas en contenedores oscuros de plástico de 4 L. Las larvas se alimentaron con granos de maíz y los adultos con una solución de agua azucarada al 10%. Se reprodujeron hasta la F3 y se mantuvieron en condiciones controladas a una temperatura de $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $65\% \pm 5\%$. Los adultos de la palomilla dorada del grano se identificaron y se sexaron de acuerdo con lo descrito por Basavanjali *et al.* (2020).

Material genético

El Departamento de Mejoramiento Genético del Instituto Tecnológico de México, Campus Roque, proporcionó cinco materiales de maíz: Roque 2015 (registrado), Roque 2020 (registrado), Roque Nuevo Milenio (registrado), Juan Martín (criollo) y un material nativo en proceso de mejoramiento genético por el método de selección recurrente (Colpos). Además, se utilizó un testigo comercial (Antílope).

Caldos minerales

Para la preparación del caldo bordelés, se disolvieron 50 g de sulfato de cobre en 1 L de agua y 50 g de cal hidratada (Ca(OH)_2) en 4 L de agua; posteriormente, se agregó el sulfato de cobre a la mezcla de agua con cal y se agitó de manera constante hasta lograr una integración homogénea de los ingredientes. El pH recomendado para este caldo debe ser ligeramente alcalino, con un rango de 7 a 9. Para verificar la acidez se sumergió la punta de una chuchilla metálica a la mezcla; si este no presentaba indicios de óxido el caldo, se consideró listo para usarse (Agricultura, 2022a).

Para el caldo sulfocálcico, en un recipiente metálico se agregaron 5 L de agua que se mantuvieron a fuego hasta alcanzar su punto de ebullición. Posteriormente, se incorporó el azufre junto con la cal hidratada y se mezcló constantemente con un agitador de madera. Cuando el caldo tomó un color vino, se retiró del fuego y se dejó reposar por 24 h. Finalmente, se agregaron 10 ml de aceite vegetal para evitar la oxidación de los compuestos (Agricultura, 2022b).

Para el caldo de zinc, se disolvieron 30 g de sulfato de zinc en 2.5 L de agua y 15 g de cal hidratada en 2.5 L de agua. Una vez preparadas ambas mezclas, se incorporó la mezcla del sulfato de zinc a la solución con cal (Restrepo & Hensel, 2009).

Para el caldo de ceniza, en un recipiente metálico se agregaron 20 L de agua, el cual se mantuvo a fuego constante hasta su punto de ebullición. Se agregaron 1.25 kg de ceniza y 125 g de jabón de barra y la mezcla se dejó en cocción durante 30 min, con agitación constante. Transcurrido este tiempo, se retiró del fuego y se dejó reposar por 24 h. La mezcla se filtró para eliminar materia sólida presente (León & Pinchao, 2015).

Para la elaboración del caldo silicosulfocálcico, se mezclaron en seco 1 kg de azufre en polvo, 250 g de cal hidratada y 250 g de ceniza. Posteriormente, se adicionaron estos minerales a 5 L de agua previamente calentada hasta ebullición, y durante 45 min se mantuvo en agitación de manera constante para asegurar la mezcla homogénea de los ingredientes (hasta adquirir un color vino). Después, se retiró de la fuente de calor y se dejó reposar por 24 h; la mezcla se filtró para eliminar impurezas y se adicionó 10 ml de aceite vegetal (Restrepo & Hensel, 2009).

Efectividad biológica de caldos minerales en genotipos de maíz

En una báscula digital marca Adventurer Ohaus Pro, modelo AR1530, se pesaron 200 g de cada genotipo de maíz, se colocaron en un recipiente de vidrio de 250 ml y se adicionaron 0.5 ml (dosis baja) y 1 ml (dosis alta) de los caldos minerales en estudio, además de un testigo absoluto (sin aplicación). La mezcla se agitó de forma manual por 1 min, con la finalidad de tener una mejor adherencia y cobertura a la semilla y se dejaron secar en papel absorbente por 2 min. Se colocaron 50 g de semilla tratada en recipientes oscuros de plástico de 100 ml de capacidad (Mendoza *et al.*, 2016) y se transfirieron cinco parejas de adultos vírgenes de la palomilla dorada del grano de uno o dos días de edad. A las 144 h después de la infestación, se inspeccionaron los frascos, registrando el número de adultos vivos y muertos.

El estudio se realizó mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo trifactorial, donde el factor 1 es genotipos (seis niveles), el factor 2 es caldos minerales (cinco niveles) y el factor 3 es dosis (tres niveles), con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por un frasco de plástico de 100 ml con 50 granos de semilla con 10 adultos (cinco hembras y cinco machos).

Emergencia de adultos, hembras, machos y proporción sexual

Una vez determinada la mortalidad, se les dio seguimiento a las unidades experimentales durante 40 días para evaluar la emergencia de adultos de la F2, los cuales eran retirados y sexados. Esto se realizó diariamente por 10 días a partir de que emergió el primer adulto. La proporción sexual se calculó dividiendo el número de hembras entre el número de machos.

Consumo por *S. cerealella*

Para calcular el consumo de grano de las larvas de *S. cerealella*, al finalizar el experimento se registró el peso de la semilla sobrante, y mediante la diferencia del peso inicial y peso final se obtuvo el consumo.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de la mortalidad, consumo, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual, se realizó un análisis de varianza (Anva) y, posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la separación de las medias. Por otra parte, con las variables relacionadas con la efectividad biológica y efectos en la biología de *S. cerealella* y el efecto de los genotipos de maíz se realizó un análisis multivariado de componentes principales para identificar la importancia de dichas variables, así como la dispersión en la respuesta de genotipos y dosis. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa computacional R-studio, versión 4.4.1 (R Core Team, 2024).

Resultados

En la Tabla 1 se observaron los cuadrados medios del análisis de varianza de consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *S. cerealella*. En ella se muestra una diferencia estadísticamente significativa para las fuentes de variación (genotipo, caldos y dosis) así como en la interacción entre factores de estudio.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza del consumo, mortalidad, adultos emergidos y proporción sexual de *Sitotroga cerealella* en genotipos de maíz tratados con caldos minerales.

F. V	G. L	Con	Mort	A. E	H	M	P. S (H/M)
Gen (G)	5	1.27***	255 **	483.5 ***	265.4 ***	41.45 ***	41.84 ***
Caldo (C)	5	3.63***	8370 ***	2372.7 ***	638.7 ***	307.75 ***	30.48 ***
Dosis (D)	1	5.52***	9976 ***	2722.2 ***	1036.8 ***	288.8 ***	86.53 ***
G*C	25	1.15***	198 ***	203 ***	74.6 ***	21.59 ***	15.72 ***
G*D	5	1.79***	176 *	403.4 ***	97.3 ***	76.20 ***	2.13 ***
C*D	4	3.22***	321 **	790.3 ***	286.1 ***	136.74 ***	7.30 ***
G*C*D	20	0.96***	175 ***	93.5 ***	23.1 ***	25.74 ***	3.16 ***
Error	132	0.02	69.00	0.80	0.50	0.32	0.04
C.V	-	13.53	10.3	8.48	12.09	14.17	12.16

F. V = Fuente de variación, Diferencia significativa (*0.01, **0.001, ***0.0001), G. L = Grados de libertad, C. V = Coeficiente de variación, Con = Consumo, Mort = Mortalidad, A. E = Adultos emergidos, H = Hembras, M = Machos, P. S = Proporción sexual.

Fuente: Elaboración propia.

La comparación de medias de consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de la palomilla dorada del grano se muestra en la Tabla 2. Para la variable consumo, el genotipo Roque 2020 obtuvo la media más alta con 1.33 g, mientras que Nuevo Milenio, Juan Martin y Colpos presentaron el menor consumo con 0.94 g, 0.85 g y 0.85 g, respectivamente. Roque 2025 y Juan Martin presentaron mayor mortalidad con 83.63% y 82.72%; por su parte, el testigo comercial mostró el valor más bajo con 76.06%. Para adultos emergidos, Roque 2020 mostró la mayor cantidad de individuos, con 18.21 adultos, contrario a lo presentado en el testigo comercial, quien muestra una media de 8.30 adultos. En las variables del número de hembras y machos, la cantidad más alta la reportó Roque 2020 con 11.45 hembras y 6.24 machos, mientras que el testigo comercial presentó la media más baja con 3.45 hembras y 3.18 machos. En cuanto a la proporción sexual, las medias más altas se reportaron para los individuos criados en el genotipo Roque 2020, con un valor de 3.82 hembras por macho; por otro lado, la menor cantidad la presentó los individuos alimentados del genotipo Roque 2015, el cual reportó con 0.80 hembras por macho.

Tabla 2. Comparación de medias del consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *Sitotroga Cerealella* en genotipos de maíz tratados con caldos minerales.

Genotipo	Con (g)	Mort (%)	AE	H	M	P. S (H/M)
Roque 2020	1.33 a	78.48 ab	18.21 a	11.45 a	6.24 a	3.82 a
Testigo comercial	1.18 b	76.06 b	8.30 d	3.45 d	3.18 d	1.12 cd
Roque 2015	1.15 b	83.63 a	9.00 c	5.15 c	3.72 bc	0.80 e
Nuevo Milenio	0.94 c	80.60 ab	8.93 cd	4.87 c	3.78 b	1.05 d
Juan Martin	0.85 c	82.72 a	11.63 b	6.63 b	3.36 cd	1.20 bc
Colpos	0.85c	80.90 ab	8.63 cd	4.72 c	3.75 bc	1.30 b

Columnas seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). Con = Consumo, Mort = Mortalidad, A. E = Adultos emergidos, H = Hembras, M = Machos, P. S = Proporción sexual.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se observó la comparación de medias de consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *S. cerealella* en semilla de maíz tratada con caldos minerales, donde el testigo sin aplicación presentó mayor consumo de grano, mientras que el tratamiento con caldo sulfocálcico mostró un valor menor con 0.80 g. La aplicación de caldo sulfocálcico y de zinc presentaron mayor mortalidad con 97.22% y 91.66 %. Por su parte, el testigo sin aplicación reportó el menor porcentaje de mortalidad con un 43.33%. La mayor cantidad de adultos emergidos (31.77) se mostró en el tratamiento sin aplicación, caso contrario para el caldo sulfocálcico, el cual presentó menor cantidad con 2.22 adultos. Para las variables número de hembras y machos, así como para proporción sexual, el testigo sin aplicación reportó la media más alta con 16.66 hembras, 11.11 machos y 3.94 hembras por machos, respectivamente; lo cual contrasta con caldo sulfocálcico, que presentó la menor cantidad de hembras, machos y proporción sexual con 1.25 hembras, 0.63 machos y 0.58 hembras por macho, respectivamente.

Tabla 3. Comparación de medias del tratamiento a la semilla de maíz con caldos minerales en el consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *Sitotroga cerealella*.

Caldo	Con (g)	Mort (%)	AE	H	M	P. S (H/M)
Testigo sin aplicación	1.32 a	43.33 d	31.77 a	16.66 a	11.11 a	3.94 a
Silicosulfocálcico	1.1 ab	78.61 b	5.38 e	3.63 d	1.88 d	1.39 c
Ceniza	1.13 b	72.50 c	12.13 b	5.97 c	4.13 c	1.25 d
Bordelés	1.02 c	80.55 b	13.00 b	7.91 b	4.97 b	2.05 b
Zinc	0.94 c	91.66 a	10.69 d	6.16 c	4.86 b	1.29 cd
Sulfocálcico	0.80 d	97.22 a	2.22 f	1.25 e	0.63 e	0.58 e

Columnas seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). Con = Consumo, Mort = Mortalidad, A. E = Adultos emergidos, H = Hembras, M = Machos, P. S = Proporción sexual.

Fuente: Elaboración propia.

La comparación de medias de consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual con diferentes dosis de caldos minerales aplicados como tratamiento a la semilla de maíz para el control de *S. cerealella* se presenta en la Tabla 4, donde se observó mayor consumo para el testigo y la dosis de 0.5 ml con 1.32 g y 1.31 g, respectivamente, mientras que, el menor consumo se observó a dosis alta (0.73 g). La palomilla dorada del grano reportó mayor mortalidad a dosis alta con 91.55%, en comparación con el tratamiento sin aplicación, el cual presentó un valor de 31.77%. En el testigo se obtuvo mayor cantidad de adultos emergidos con 31.77 insectos; sin embargo, al aplicar la dosis alta, la emergencia de adultos redujo hasta 4.8 individuos. Por otro lado, el testigo reportó la mayor cantidad de hembras, machos y proporción sexual con 16.66 hembras, 11.11 machos y 3.94 hembras por machos, caso contrario a los valores obtenidos a dosis alta, la cual presentó 2.58 hembras, 2.03 machos y una proporción sexual de 0.62 hembras por macho.

Tabla 4. Comparación de medias de dosis de caldos minerales en el consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *Sitotroga cerealella*.

Dosis	Con (g)	Mort (%)	AE	H	M	P. S (H/M)
Testigo	1.32 a	43.33 c	31.77 a	16.66 a	11.11 a	3.94 a
0.5	1.31 a	76.66 b	12.57 b	7.38 b	4.56 b	2.00 b
1	0.73 b	91.55 a	4.8 c	2.58 c	2.03 c	0.62 c

Columnas seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). Con = Consumo, Mort = Mortalidad, A. E = Adultos emergidos, H = Hembras, M = Machos, P. S = Proporción sexual.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se observa el biplot de componentes principales de mortalidad, consumo, emergencia de la F2 y proporción sexual de *S. cerealella* tratada con 0.5 ml de caldos minerales. El componente principal 1 (CP1) explicó el 59.54% de la variación total y estuvo influenciado por la emergencia de los adultos (50%), número de hembras (49%) y machos (46%). Por su parte, el segundo componente principal (CP2) aportó 14.99% de la variación explicada; las variables de mayor influencia son proporción sexual (65%), consumo (65%) y mortalidad (27%). Ambos componentes explican el 74% de la varianza total.

El genotipo Nuevo Milenio, Juan Martin sin aplicación, el testigo comercial con el caldo de ceniza y Nuevo Milenio con el caldo de zinc presentaron mayor emergencia de hembras, mientras que, Colpos, testigo comercial sin aplicación y Juan Martin tratados con caldo de ceniza presentaron mayor emergencia de machos. Por otro lado, Roque 2020 con caldo silicosulfocálcico, Roque 2020, Colpos y Juan Martin combinados con el caldo bordelés reportaron la proporción sexual más alta. El testigo comercial tratado con caldo silicosulfocálcico y testigo comercial, Nuevo Milenio, Juan Martin y Roque 2015 con la aplicación de caldo sulfocálcico mostraron el mayor porcentaje de mortalidad. Por su parte, Juan Martin y testigo comercial con el caldo de zinc, Roque 2015 sin tratamiento presentó mayor preferencia de alimento al reportar un alto consumo de semilla; sin embargo, el genotipo Roque 2020 presentó un bajo consumo, por lo que se puede considerar como un material poco preferido por *S. cerealella*.

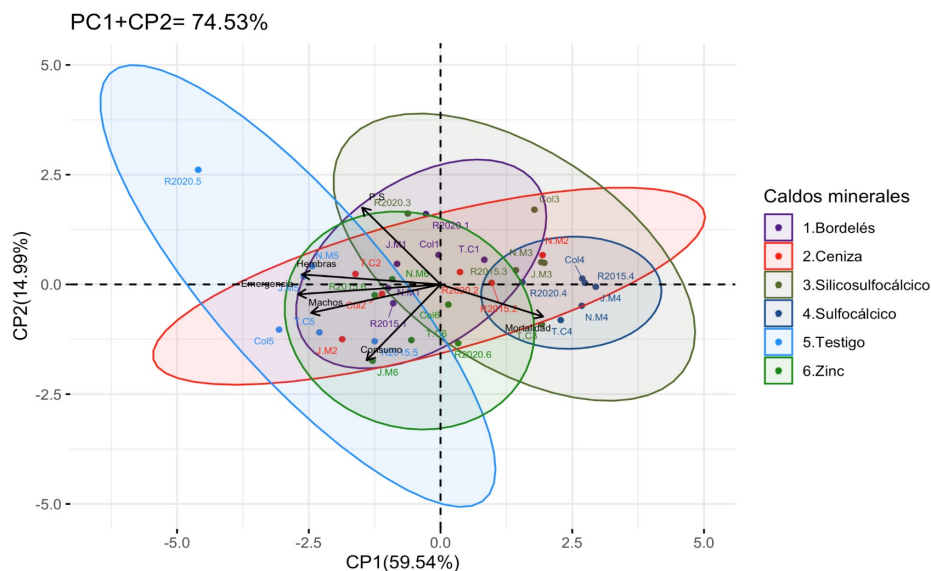


Figura 1. Biplot de componentes principales de la interacción de la aplicación de caldos minerales a dosis de 0.5 ml en genotipos de maíz y su respuesta en la mortalidad, consumo, emergencia de adultos de la F2 y proporción sexual de *Sitotroga cerealella*.

P. S = proporción sexual, J. M = Juan Martin, N. M = Nuevo Milenio, R.2020 = Roque 2020, R.2015 = Roque, Col = Colpos, T. C = Testigo comercial.

Fuente: Elaboración propia.

El biplot de componentes principales de la interacción caldos minerales a dosis alta con genotipos de maíz, donde se evaluó mortalidad, consumo, emergencia de adultos, hembras, machos y proporción sexual se muestra en la Figura 2. Se observa que el CP1 explica un 66.69%, siendo las variables de mayor importancia hembras, emergencia de adultos, machos y mortalidad con una aportación de 48.37%, 48.23%, 46.36% y 40.57%, respectivamente, mientras que el CP2 explica el 15.31% y las variables de mayor aportación a este componente son consumo (96.73%), proporción sexual (20.76%) y mortalidad (12.94%). Los genotipos Colpos, testigo comercial, Roque 2015 y Juan Martin sin tratamiento, y Roque 2020 tratado con caldo bordelés, presentaron mayor cantidad de adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual.

Por otra parte, los materiales que presentaron preferencia en la alimentación y mayor consumo fueron Roque 2020 tratado con caldo sulfocálcico, Nuevo Milenio, Roque 2020 y Roque 2015 con aplicación de caldo de ceniza y Colpos y Roque 2015 con caldo bordelés. Respecto a la mortalidad, se puede observar que todos los genotipos tratados con caldo silicosulfocálcico presentaron altos porcentajes de mortalidad, excepto el material Roque 2020. Por otro lado, los genotipos testigo comercial, Roque Nuevo Milenio y Roque 2015 reportaron mayor mortalidad de *S. cerealella* al aplicar caldo de zinc. Para el caso del caldo bordelés, muestra mayor mortalidad al ser aplicado a la semilla de los materiales de Roque Nuevo Milenio, Juan Martin, testigo comercial y Roque 2015. Además, el caldo sulfocálcico combinado con Roque Nuevo Milenio, Roque 2015, testigo comercial y Colpos mostraron mayor tasa de mortalidad de la palomilla dorada del grano.

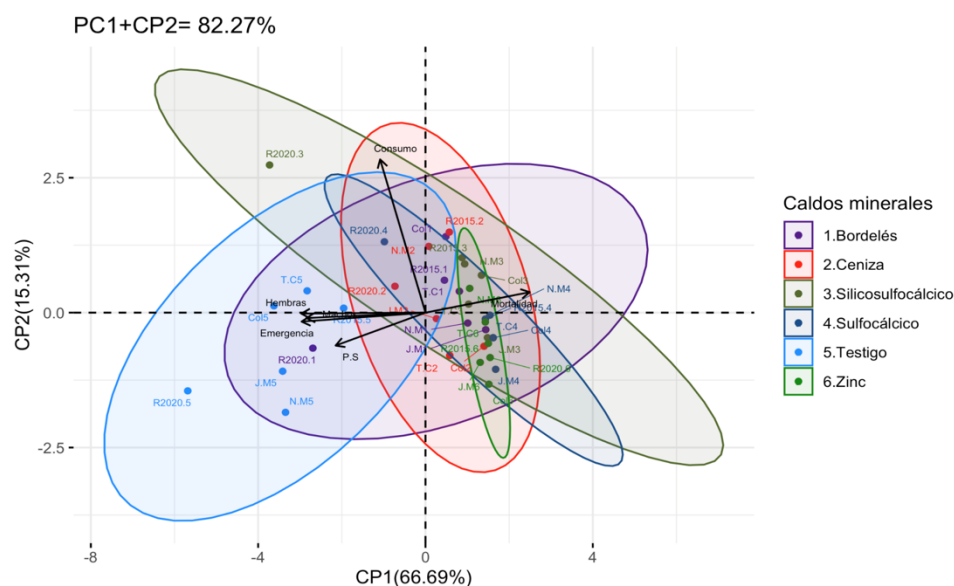


Figura 2. Biplot de componentes principales de la interacción de la aplicación de caldos minerales a dosis de 1 mL en genotipos de maíz y su respuesta en la mortalidad, consumo, emergencia de adultos de la F2 y proporción sexual de *Sitotroga cerealella*. P.S = Proporción sexual, J.M = Juan Martin, N.M = Nuevo Milenio, R.2020 = Roque 2020, R.2015 = Roque, Col = Colpos, T.C = Testigo comercial. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se muestran los valores de la correlación de Pearson entre las variables en estudio. Se muestra que la mortalidad de insectos se correlaciona de manera negativa con el resto de las variables evaluadas, lo que indica que, cuando hay mayor mortalidad, la emergencia de adultos, machos, hembras, proporción sexual y consumo de grano se ven afectadas de manera negativa, dado que al aumentar la mortalidad hay menos insectos que puedan completar su ciclo de vida, reproducirse y alimentarse; por tanto, los adultos emergidos (hembras y machos), proporción sexual y consumo de grano presentan una disminución. Sin embargo, estas mismas variables se correlacionan positivamente entre sí, demostrando una dependencia entre ellas.

Tabla 5. Correlación de Pearson de las variables consumo, mortalidad, adultos emergidos, hembras, machos y proporción sexual de *Sitotroga cerealella* en semilla de maíz tratada con caldos minerales.

Variable	Con	Mort	A. E	H	M	P. S
Con	1	-0.004 **	0.203**	0.204 **	0.125**	0.044
Mort		1.0	-0.601***	-0.557***	-0.502***	-0.436***
A. E			1.0	0.953***	0.917***	0.497***
H				1.0	0.848***	0.594***
M					1.0	0.408***
P. S						1.0

Diferencia significativa (**0.001, ***0.001). Con = Consumo, Mort =Mortalidad, A. E = Adultos emergidos, H = Hembras, M = Machos, P. S = Proporción sexual.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En una investigación sobre la efectividad biológica de polvos vegetales de higuera a una concentración de 4%, un testigo sin aplicación y un testigo químico (fosforo de aluminio) para el manejo de *Sitophilus zeamais* en maíz, se reporta una disminución en el consumo de 52%, en el tratamiento de higuera al 4% y de 83.5% en el testigo químico, respecto al testigo sin aplicación (Gómez *et al.*, 2018). Estos valores son mayores a lo reportado en esta investigación, donde el tratamiento que presenta mayor disminución en el consumo de semilla fue el caldo sulfocálcico, con un 39.39%, en comparación al testigo sin aplicación.

León (2020), en una investigación sobre el control de *Tribolium castaneum* y *S. cerealella* en granos de arroz, reportó la media más alta en mortalidad de *S. cerealella* (100%) para los tratamientos con tierra diatomea (0.8 g en 100 g de semilla de arroz) y deltametrina (1.5 ml L⁻¹) con una mortalidad de 98.1% a los 10 días después de la aplicación. Estos datos son similares a lo reportado en este estudio, pues se obtuvo el 97.22% de mortalidad con el tratamiento del caldo sulfocálcico. De la misma forma, Pereira *et al.* (2020), en una evaluación de extractos con plantas de la flora nororiental para el control de *S. cerealella*, donde evaluaron 10 extractos de plantas, reportan que las plantas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*), mastruz (*Dysphania ambrosioides*), calabaza amarga (*Momordica charantia*) y pata de vaca (*Bauhinia forficata*) obtuvieron mejor desempeño a concentraciones de 25%, 50%, 75% y 100% en el control de *S. cerealella*, mostrando 100% de mortalidad, al contrario de *Melissa officinalis*, la cual presentó la mortalidad más baja (60%).

Por otra parte, Méndez *et al.* (2016) estudiaron la biología de *S. cerealella* en tres clases de trigo (sin aplicación de insecticidas), donde reportan una proporción sexual de 0.59 hembras por macho, siendo este un valor inferior a lo reportado en esta investigación (3.94 hembras por macho) en el testigo sin aplicación.

Cabrera *et al.* (2018) mencionan que el caldo sulfocálcico se obtiene mediante un proceso térmico del azufre en polvo y de la cal, de igual forma, esta mezcla es de gran importancia para el control de plagas en sistemas de producción orgánica (Villegas-Agudelo *et al.*, 2019). El efecto insecticida se otorga por liberación de gas sulfhídrico (H₂S) (Abbot, 1945), el cual es repelente y disruptor del metabolismo de los insectos (Tacoli *et al.*, 2020). Asimismo, Boone *et al.* (2017) mencionan que el azufre altera el funcionamiento normal del organismo del insecto, afectando su capacidad de producir energía.

No obstante, Pittarate *et al.* (2021) menciona que el efecto del zinc en insectos ocasiona deformaciones corporales, reducción de la fecundidad, reducción de la oviposición y alta mortalidad. La cal hidratada consigue ser higroscópico, lo que le permite absorber la humedad del ambiente o del cuerpo de los insectos, afectando su cutícula cerosa y provocando su muerte por deshidratación (Méndez & Castellanos, 2019). Además, Pietrantuono *et al.* (2023) consideran que la abrasión de la cutícula y la desecación son las principales causas de mortalidad en insectos expuestos a las cenizas.

El análisis de componentes principales permite clasificar las variables evaluadas de acuerdo con su orden de importancia en su aportación en la variabilidad total del experimento (Gámez *et al.*, 2024). En la Figura 1 y Figura 2 se muestran una varianza acumulada (CP1 + CP2) de 74.53% y 82.27%, respectivamente, siendo el CP1 el que tiene mayor aportación en la variación de ambos biplots, con valores de 54.54% y 66.69%, respectivamente. Por su parte, en un estudio realizado por Imura & Sinha (1989), quienes evaluaron el deterioro de granos infestados por *S. cerealella* y *Sitophilus oryzae* reportaron una variación del 57% en el CP1, sin embargo, Rajarushi *et al.* (2024), en una evaluación sobre la efectividad biológica de insecticidas químicos para el control de *S. oryzae*, mostraron una proporción acumulada 100 %. Field (2009) menciona que criterios de selección recomendados mínimos de varianza acumulada deben estar en el rango de 55 a 65 %. En ambos biplots se generaron dos grupos, el primero integrado por la variable mortalidad y el segundo por PS, hembras, machos, emergencia de adultos y consumo de grano ya que estas variables presentan ángulos no mayores a 90 ° entre ellas. Al existir ángulos superiores de 90° entre las variables, esto indica que se correlacionan de manera negativa (Gámez *et al.*, 2024), como lo demuestra en el análisis de correlación de Person, cuando una variable disminuye la otra se incrementa y viceversa. Las variables mortalidad, emergencia, machos y hembras son las que explican la mayor diferencia en la aplicación de caldos minerales, similar a lo reportado por Sanches *et al.* (2019) quienes utilizaron un análisis multivariado para determinar la resistencia de *Spodoptera frugiperda* a genotipos de maíz palomero, donde mencionan que las variables que presentan una dirección opuesta (correlación negativa) explican la principal diferencia entre los factores de estudio.

Conclusiones

El caldo sulfocálcico es efectivo para controlar para la palomilla dorada del grano, ya que la larva presentó menor preferencia para alimentarse por el maíz tratado, una alta mortalidad, menor cantidad de adultos emergidos y, por ende, menor proporción sexual. De igual forma, el caldo de zinc puede ser otra alternativa para el control de *S. cerealella*, pues reportó una mortalidad superior al 90%. Por su parte, el genotipo Roque 2020 es susceptible a la palomilla dorada del grano, en tanto que presentó mayor consumo, mayor cantidad de adultos emergidos y, en consecuencia, mayor proporción sexual. Esto contrasta con el genotipo Roque 2015 presenta resistencia al ataque de *S. cerealella* al afectar su biología, mayor tasa de mortalidad y menor cantidad de adultos emergidos tolerancia.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Abbot, C. E. (1945). The toxic gases of lime-sulfur. *Journal of Economic Entomology*, 38(5), 618-620. <https://doi.org/10.1093/jee/38.5.618a>
- Basavanjali, Sushila, N., A Prabhura, Basavegowda, & Shivaleela. (2020). Biology of angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Gelechiidae: Lepidoptera) on paddy. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(5), 726-729. doi: <https://doi.org/10.3329/jasbs.v39i1.16034>
- Boone, C., Bond, C., Cross, A., & Jenkins, J. (2017). *Sulfur general fact sheet*. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. npic.orst.edu/factsheets/sulfurgen.html.
- Borzoui, E., Naseri, B., & Nouri-Ganbalani, G. (2017). Effects of food quality on biology and physiological traits of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(1), 266-273. <https://doi.org/10.1093/jee/tow284>
- Cabrera, M. Á., Robledo, J., & Soto, A. (2018). Actividad insecticida del caldo sulfocálcico sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 22(2), 24-32. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.2.2>
- Chowdhury, N., Sardar, B., & Roy, N. (2023). Pest status and management strategies for *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomologist*, 3(2), 6-17. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dzarc.com/entomology/article/download/336/314/495&ved=2ahUKEwiriv31gqSLAxW6KkQIHfeeF3gQFnoECBQQAQ&usg=AOvVaw3DU5X5I9yiWEs4yt9rMYyH>
- El-Shafie, H. A. F. (2019). The use of phosphine as curative treatment against date palm borers. *Outlooks on Pest Management*, 30(5), 204-207. https://doi.org/10.1564/v30_oct_04
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3a ed.). SAGE Publications.
- Gandica, H. A., Salazar, M. C., & Bermúdez, J. P. (2022). Evaluación del trigo y maíz criollo como sustrato alimenticio de *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomotropica*, 37, 25-32. https://sventomologia.org/wp-content/uploads/2022/10/2022_37_25-32.pdf
- Gámez, V. A. J., Avila, P. M. A., Téliz, T. R., Gámez, V. F. P., Cervantes, O. F., Rodríguez, R. J. F., Buenrostro, R. J. F., Dorantes, G. J. R. A., González, F. S. S., García, R. J. J., & Rodríguez, P. G. (2024). *Introducción a los análisis multivariados de datos en la investigación agrícola*. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Libro Técnico No. 1. Celaya, Guanajuato, México. 240 p. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=14737
- Gómez, H. A., González, O., & González, J. C. (2018). Vegetales pulverizados para el manejo de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 787-798. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1396>
- Hernández-Trejo, A., Estrada, B., Rodríguez Herrera, R., García, J. M., Patiño-Arellano, S. A. A., & Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Imura, O., & Sinha, R. N. (1989). Principal component analyses of bagged wheat infested with *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Ecological Research*, 4(2), 199-208. <https://doi.org/10.1007/BF02347152>
- Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA). (2020). *Caldos minerales y biocidas naturales*. <https://idmaperu.org/wp-content/uploads/2023/07/CALDOS-MINERALES-FOLLETO.pdf>
- León, E., & Pinchao, A. (2015). *Evaluación del efecto de caldo de ceniza y purín de ajo y ají sobre las poblaciones de Chrysomelidae (Coleoptera) en la Acacia Bracatinga (Paraserianthes lophantha)* [Trabajo de Grado]. Universidad de Nariño. <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/1607>
- León, I. H. (2020). Evaluación de ocho productos para el control de (*Tribolium castaneum*) y (*Sitotroga cerealella*) en granos almacenados de arroz. <https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/4c6ff77f-6bae-4413-b015-220c1d8f60a7/content>

- Méndez, A. C., & Castellanos, L. (2019). Eficacia de la tierra de diatomeas y la cal sobre aríonidos y agriolimácidos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 579–593. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1587
- Méndez, L. M., Botto, E. N., Flores, D., Cagnotti, C. L., López, S. N., & Viscarret, M. M. (2016). Evaluación de tres clases de trigo para la cría de *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) como hospedante utilizado en la cría de enemigos naturales. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 75(3-4), 105-116. <https://www.scielo.org.ar/pdf/rsea/v75n3-4/v75n3-4a01.pdf>
- Mendoza, M., Rodríguez, G., Guevara, L. P., Andrio, E., Rangel, J. A., Rivera, J. G., & Cervantes, F. (2016). Bioinsecticidas para el control de plagas de almacén y su relación con la calidad fisiológica de la semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1599–1611. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.153>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Fernández-Viveros, J. A., Villegas, J., López-Morales, V., Vázquez-Hernández, A., & Meneses-Márquez, I. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas. *Biotechnia*, 22(1), 39-47. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i1.1123>
- Pereira, V. L., Goncalves, G., Araújo, T. N., Santos, R., & Batista, C. A. (2020). Avaliação de extratos vegetais da Flora nordestina no controle da *Sitotroga cerealella* Olivier, 1819. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7), 145–152. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0013>
- Pietrantuono, A. L., Weigandt, M. N., & Fernandez Arhex, V. C. (2023). Efecto de la ceniza volcánica en la supervivencia y uso del hábitat en insectos nativos del norte de la Patagonia argentina luego de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle; 203-215 (pp. 203-215). Editorial Universidad Nacional de Río Negro. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/251695/CONICET_Digital_Nro.7cc32702-5f8d-4a0e-ad23-20c7acef8f45_X.pdf?sequence=9&isAllowed=y
- Pittarate, S., Rajula, J., Rahman, A., Vivekanandhan, P., Thungrabeab, M., Mekchay, S., & Krutmuang, P. (2021). Insecticidal effect of zinc oxide nanoparticles against *Spodoptera frugiperda* under laboratory conditions. *Insects*, 12(11), 1017. <https://doi.org/10.3390/insects12111017>
- R Core Team. (2024). *R. A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rajarushi, C. N., Nebapure, S. M., Biswas, A., Rajna, S., & Subramanian, S. (2024). Contact toxicity of insecticides against rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. and its effect on progeny production. *Scientific Repots*, 14(1), 28404. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80157-z>
- Rangel-Fajardo, M. A., Tucuch-Haas, J. I., Gómez-Montiel, N. O., Basto-Barbudo, D. C., & Burgos-Díaz, J. A. (2020). Control de gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) con polvos de epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants) en diferentes genotipos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 307-315. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802020000300307&script=sci_abstract&tlng=en
- Restrepo, J., & Hensel, J. (2009). *Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra*. Impresora Feriva. <https://reaxionatural.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/09/manual-practico-de-agricultura-organica-y-panes-de-piedra.pdf>
- Sanches, R. E., Suzukawa, A. K., Contreras-Soto, R. I., Rizzardi, D. A., Kuki, M. C., Zeffa, D. M., & Scapim, C. A. (2019). Multivariate analysis reveals key traits of fall armyworm resistance in tropical popcorn genotypes. *Bragantia*, 78(2), 175-182. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180230>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Agricultura). (2022a). *Manuales prácticos para la elaboración de bionsumos. 4. Elaboración de Caldo Bordeles*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737328/4_Caldo_bordele_s.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Agricultura). (2022b). *Manuales prácticos para la elaboración de bionsumos. 5. Elaboración de Caldo Sulfocálcico*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737327/5_Caldo_sulfoca_lcico.pdf
- Soomro, A. A., Hussain, M., Magsi, F. H., Khanzada, K., Jaffery, S. M., Chandio, M. A., & Chang, B. H. (2017). Population dynamics of angoumois grain moth *Sitotroga cerealella* (Olivier) on cereals at room temperature. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 4(4), 187-191. <https://www.faunajournal.com/archives/2017/vol4issue4/PartC/4-4-23-348.pdf>

- Tacoli, F., Cargnus, E., Zandigiacomo, P., & Pavan, F. (2020). Side effects of sulfur dust on the European grapevine moth *Lobesia botrana* and the predatory mite *Kampimodromus aberrans* in vineyards. *Insects*, 11(11), 825. <https://doi.org/10.3390/insects11110825>
- Villegas-Agudelo, D., Soto-Giraldo, A., & Mejía-Gutiérrez, L. F. (2019). Otras alternativas para el control de *Diatraea saccharalis fabricius* (Lepidóptera: Crambidae) en cultivo de caña. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 23(2), 162–170. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.2.8>
- Wu, M. Y., Ying, Y. Y., Zhang, S. S., Li, X. G., Yan, W. H., Yao, Y. C., Shah, S., Wu, G., & Yang, F. L. (2020). Effects of diallyl trisulfide, an active substance from garlic essential oil, on energy metabolism in male moth *Sitotroga cerealella* (Olivier). *Insects*, 11(5), 270. <https://doi.org/10.3390/insects11050270>