

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Evaluación preliminar del efecto de las interacciones de pareja
sobre el éxito reproductivo de *Sitophilus zeamais* Mostchulsky
(Coleoptera: Curculionidae)**

Azalia Estefanía Criollo Núñez

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Biología

Quito, 16 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Evaluación preliminar del efecto de las interacciones de pareja sobre el
éxito reproductivo de *Sitophilus zeamais* Mostchulsky (Coleoptera:
Curculionidae)**

Azalia Estefanía Criollo Núñez

Nombre del profesor, Título académico

Stella de la Torre, PhD

Quito, 16 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Azalia Estefanía Criollo Núñez

Código: 00323195

Cédula de identidad: 0250032851

Lugar y fecha: Quito, 16 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

AGRADECIMIENTOS

A mi mentora Stella de la Torre, sabia y generosa,
Con su guía y sus consejos tan valiosos,
Por las horas entregadas a mi progreso,
Hallé mi camino, siempre firme, siempre recto.

A mis padres, que con amor me han dado la vida,
A mi familia, que siempre creyó en mi esfuerzo,
Con su paciencia, amor y por darme el universo.

A mis amigos, que en cada paso me dieron aliento,
Juntos compartimos risas, desafíos y sufrimientos.

A la Universidad, por ofrecerme este espacio,
Por el laboratorio LEC y los recursos que me brindaron,
De crecimiento y conocimiento, tan vasto.

Gracias a todos, cada uno en mi caminar,
Por hacer de este viaje un recuerdo sin igual,
Con estas palabras, mi eterno agradecimiento,
A ustedes, por su amor, apoyo y conocimiento.

RESUMEN

Este estudio investigó cómo las interacciones de pareja en *Sitophilus zeamais*, una plaga de granos almacenados, podrían afectar al éxito reproductivo de los individuos. Se evaluaron tres comportamientos: contacto, proximidad y cópula, en tratamientos con y sin macho intruso (CMI y SMI) en parejas provenientes de tres colonias del Laboratorio de Ecología y Comportamiento. Se realizaron análisis descriptivos, ANOVAs de medidas repetidas y correlaciones para explorar las diferencias en la duración de los comportamientos entre tratamientos y colonias y su relación con el número de crías producidas. Los resultados mostraron que proximidad fue el comportamiento más común en ambos tratamientos y colonias, representando más del 50% del tiempo total observado. Contacto, en cambio, fue más sensible a la introducción del macho intruso, con una disminución significativa de su duración en el tratamiento CMI. Adicionalmente, existieron diferencias significativas en la duración de este comportamiento entre colonias. Las correlaciones entre las medianas de la duración de los comportamientos y el número de crías fueron débiles y, en su mayoría, no significativas. Estos resultados sugieren que el número de crías no depende exclusivamente de los comportamientos evaluados. Sin embargo, por la variabilidad reportada en el tiempo de contacto entre parejas de distintas colonias y entre tratamientos, este comportamiento podría servir como indicador del éxito reproductivo de las parejas. Se sugiere ampliar el tamaño de muestra para confirmar estos resultados que, de ser el caso, podrían aplicarse para diseñar estrategias de manejo basadas en disrupciones sociales como un método de control del crecimiento poblacional de esta especie.

Palabras clave: *Sitophilus zeamais*, éxito reproductivo, comportamiento social, competencia intraespecífica, variabilidad de parejas.

ABSTRACT

This study investigated how pair interactions in *Sitophilus zeamais*, a stored grain pest, might affect the reproductive success of individuals. Three behaviors: contact, proximity and copulation, were evaluated in treatments with and without intruder males (CMI and SMI) in pairs from three colonies of the Ecology and Behavior Laboratory. Descriptive analyses, repeated measures ANOVAs and correlations were performed to explore differences in the duration of behaviors between treatments and colonies and their relationship with the number of offspring produced. The results showed that proximity was the most common behavior in both treatments and colonies, accounting for more than 50% of the total time observed. Contact, on the other hand, was more sensitive to the introduction of the intruder male, with a significant decrease in its duration in the CMI treatment. Additionally, there were significant differences in the duration of this behavior between colonies. Correlations between median behavioral duration and brood number were weak and, for the most part, not significant. These results suggest that brood number does not depend exclusively on the behaviors assessed. However, because of the reported variability in contact time between pairs from different colonies and between treatments, this behavior could serve as an indicator of the reproductive success of pairs. We suggest increasing the sample size to confirm these results which could eventually be used to design management strategies based on social disruptions as a method to control the population growth of this species.

Key words: *Sitophilus zeamais*, reproductive success, social behavior, intraspecific competition, pair variability.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
METODOLOGÍA.....	16
CONDICIONES DE LAS COLONIAS DE <i>S. ZEAMAI</i> S EN EL LABORATORIO	16
VARIABLES DE ESTUDIO	16
<i>Interacciones de pareja</i>	16
<i>Éxito reproductivo</i>	16
PROTOCOLO EXPERIMENTAL	17
<i>Formación de parejas</i>	17
<i>Registro de interacciones</i>	17
ANÁLISIS DE DATOS.....	18
LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	19
RESULTADOS	21
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPORTAMIENTOS EN AUSENCIA Y PRESENCIA DE UN MACHO INTRUSO	21
VARIABILIDAD DE LOS COMPORTAMIENTOS ENTRE COLONIAS Y TRATAMIENTOS	25
RELACIÓN ENTRE LOS COMPORTAMIENTOS DE PAREJA Y EL ÉXITO REPRODUCTIVO	26
DISCUSIÓN	29
CONCLUSIONES.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
ANEXO A: GORGOJO DEL MAÍZ, <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i>S.....	37

ANEXO B: OBSERVACIONES DE LAS PAREJAS EN LOS TRATAMIENTOS SMI Y CMI	38
ANEXO C: ORGANIZACIÓN DE LAS PAREJAS EN LAS TARRINAS Y MARCAJE DE LOS MACHOS INTRUSOS.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio ($\pm$ desv. est.) del número de crías por pareja en los tratamientos: CMI (Con macho intruso) y SMI (Sin macho intruso) en en las tres colonias.....	27
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Sitophilus zeamais</i> y su impacto en la infestación del maíz almacenado (créditos: Jaime Guerra).	15
Figura 2. Parejas de <i>Sitophilus zeamais</i> en: a) proximidad, b) contacto, c) cópula. (créditos: Jaime Guerra).	18
Figura 3. Porcentaje promedio de la duración de los comportamientos: contacto, proximidad, contacto y cópula, en los dos tratamientos: a) SMI, n=41408 s y b) CMI, n=55802 s.	22
Figura 4. Frecuencia de duración de los eventos de: a) contacto, b) cópula y c) proximidad de parejas de <i>Sitophilus zeamais</i> por intervalos de tiempo en segundos.	24
Figura 5. Duración promedio de los comportamientos de contacto, proximidad y cópula de <i>Sitophilus seamaiz</i> , en función del tiempo en semanas para cada tratamiento: CMI (con macho intruso) y SMI (sin macho intruso).	25
Figura 6. Medianas y cuartiles de la duración del comportamiento de contacto en los dos tratamientos CMI (con macho introducido) y SMI (sin macho introducido), en parejas de tres colonias (S1, S2, S3) de <i>Sitophilus zeamais</i>	26

INTRODUCCIÓN

Las interacciones de pareja, como el tiempo de contacto, proximidad, y la cópula, son determinantes en el éxito reproductivo de varias especies. En las cacaúas, *Nymphicus hollandicus*, por ejemplo, la compatibilidad conductual entre los miembros de la pareja, medida en términos de proximidad, sincronía conductual y frecuencias de cópula, se correlaciona positivamente con un mayor éxito reproductivo. Las parejas con mayores niveles de compatibilidad conductual presentaron una mayor coordinación en actividades como la incubación, lo que resulta en una mayor tasa de crías viables (Spoon et al., 2006). Un efecto similar ocurre en el picudo *Scyphophorus acupunctatus*, este insecto realiza un contacto específico que incluye posiciones posteriores y frontales que logran una cópula efectiva. Estas conductas de interacción aseguran la transferencia de esperma y optimizan fertilización, sugiriendo que la duración y tipo de contacto impactan la cantidad de descendencia producida (Hernández et al., 2012).

En este contexto, investigaciones enfocadas a caracterizar la variabilidad de las relaciones de pareja y evaluar su efecto sobre el éxito reproductivo de los individuos de una población contribuyen con información importante para el diseño de estrategias de manejo con fines de conservación, en el caso de especies amenazadas, o de control poblacional, en el caso de especies consideradas plagas (Martin-Wintle et al., 2017; Spoon et al., 2006). El estudio de la biología básica del comportamiento reproductivo en insectos ha sido clave en el desarrollo de estrategias de control biológico (Inghilesi et al., 2015). Por ejemplo, en el manejo de la plaga de la fruta, *Drosophila suzukii*, la técnica de insectos estériles fue posible gracias a estudios previos sobre su biología básica y comportamiento sexual, lo que permitió seleccionar machos estériles con alta capacidad competitiva, de supervivencia y de dispersión, sin rechazo por parte de las hembras silvestres (Cini et al., 2012).

En el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera Curculionidae), la especie en la que se enfocó nuestro estudio, Walgenbach & Burkholder (1987) , observaron que la duración de la cópula y la frecuencia de las interacciones físicas entre machos y hembras están directamente relacionadas con la fertilidad y el número de crías producidas. En su estudio, realizado con parejas aisladas en condiciones de laboratorio, estos autores también reportaron que el comportamiento de cortejo incluye varias transiciones conductuales, como el contacto físico y elevación de las patas, durante el apareamiento, lo cual podría estar relacionado con la eficiencia de esperma y la fertilización (Walgenbach & Burkholder, 1987). En nuestro estudio buscamos complementar estos resultados y contribuir con información para el manejo y control de esta plaga al evaluar cómo la introducción de un segundo macho afecta a las interacciones de pareja y al número de crías producidas.

Sitophilus zeamais (Figura 1) es la principal plaga de las infestaciones de maíz almacenado. Su capacidad de volar, lo que le permite una rápida dispersión y proliferación masiva. Además, su habilidad para perforar los granos y ovipositar en su interior contribuye a una alta tasa de reproducción. Las pérdidas mundiales provocadas por *Sitophilus zeamais* varían entre el 20 % y el 90 % de los granos almacenados, afectando principalmente a los pequeños agricultores en regiones tropicales y subtropicales (García et al., 2003). En Ecuador, donde el cultivo de maíz tiene una gran importancia económica, social y alimentaria, debido a su gran diversidad genética y su alto valor nutricional (Jara, 2018), las pérdidas alcanzan hasta el 10 % de la cosecha (González et al., 2011). En casos en los que no se implementan medidas de control adecuadas, esta plaga puede destruir entre el 90% y el 100% de los granos almacenados en un periodo de seis meses (Espinoza, 2021).

Este gorgojo presenta características morfológicas que facilitan su acción destructiva, como un exoesqueleto duro, una cabeza en forma de pico y un aparato bucal masticador con probóscide alargada. Su ciclo de vida es corto, vive aproximadamente siete meses, durante los

cuales pasa por varias etapas de desarrollo que le permiten explorar rápidamente los granos almacenados, siendo el estadio larvario el que más daña los granos de maíz (Espinoza, 2021). Su relevancia global como plaga de productos almacenados y su resistencia a insecticidas evidencian la necesidad de comprender los mecanismos detrás de su reproducción y selección de pareja. Además, esta especie ofrece un modelo excelente para evaluar las interacciones de pareja, debido a que las diferencias en tamaño corporal entre machos y hembras sugieren una posible selección sexual y apareamiento asortativo, lo que tiene importantes implicaciones tanto para el control de plagas como para el entendimiento de la evolución de las estrategias reproductivas (Guedes et al., 2017).

El control tradicional de esta plaga se ha basado en la aplicación de insecticidas. Sin embargo, estos métodos presentan elevados costos económicos, así como riesgos ambientales y sanitarios, debido a la contaminación de suelos y aguas, y a la resistencia desarrollada por las plagas (Espinoza, 2021). Por esta razón, los enfoques biológicos, como el uso de agentes de biocontrol (hongos, bacterias, virus), la interrupción de la reproducción mediante interferencias con sus sistemas de comunicación, o la técnica de liberación de insectos estériles, han ganado relevancia. No obstante, la efectividad de estas estrategias de control biológico requiere un conocimiento profundo del comportamiento reproductivo y social de la especie (Fragoso et al., 2005).

En este contexto, los objetivos específicos de nuestro estudio fueron: 1) caracterizar las interacciones de parejas provenientes de tres colonias de gorgojos de maíz en condiciones de laboratorio en función de los tiempos de contacto, proximidad y cópula en presencia o ausencia de un macho adulto intruso, 2) estimar la variabilidad de los comportamientos observados entre colonias, y 3) evaluar cómo los diferentes tipos de interacción entre parejas se correlacionan con el éxito reproductivo, estimado por el número de crías producidas.

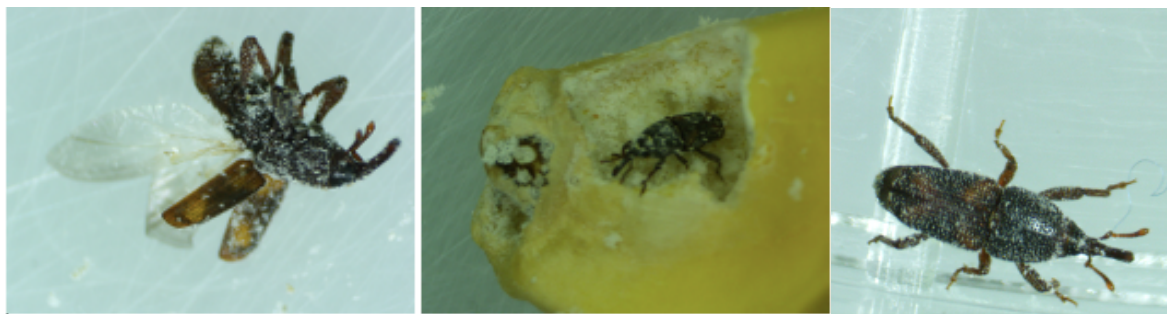


Figura 1. *Sitophilus zeamais* y su impacto en la infestación del maíz almacenado (créditos: Jaime Guerra).

METODOLOGÍA

Condiciones de las colonias de *S. zeamais* en el laboratorio

Las tres colonias de gorgojos de maíz (S1, S2 y S3) se mantienen en recipientes de vidrio con una malla para ventilación en su tapa, con 400 g de maíz seco (aprox.) de la marca comercial "La Pradera", que se renueva cada 2-3 semanas, dependiendo del consumo y del crecimiento de cada población. La temperatura y humedad no fueron controladas y fluctuaron de 20.2 °C, 42% y 27.5 °C, 52%, respectivamente.

Variables de Estudio

Interacciones de pareja

Las interacciones de pareja analizadas fueron:

- Tiempo de proximidad, se definió como la cercanía a menos de un centímetro entre los miembros de la pareja (*Figura 2a*).
- Tiempo de contacto (individuos en contacto físico), fue definido como cualquier interacción táctil entre los individuos, incluyendo toque de patas, empujes, contactos de cabeza y antenas (*Figura 2b*).
- Tiempo de cópula, definida cuando un individuo, por lo general macho, estaba subido total o parcialmente sobre la espalda de otro individuo, por lo general hembra (*Figura 2c*).

Éxito reproductivo

El éxito reproductivo, definido como la capacidad de un individuo de dejar sus genes en las siguientes generaciones (König, 2001), fue estimado contando el número de crías producidas por cada pareja.

Protocolo experimental

Formación de parejas

Este estudio se llevó a cabo desde el 9 de febrero hasta el 13 de septiembre de 2024, en condiciones de laboratorio. Para evaluar cómo las interacciones de pareja influyen en el éxito reproductivo de *S. zeamais*, se seleccionaron aleatoriamente 20 machos y 20 hembras de *S. zeamais* de cada una de las tres colonias: S1, S2 y S3, criadas en el Laboratorio de Ecología y Comportamiento de la USFQ. La identificación de los sexos se basó en mayor tamaño corporal y de probóscide de las hembras (Cobos & Iannacone, 2012).

Con los machos y hembras seleccionados de cada colonia, se formaron las parejas al azar. Cada pareja era luego colocada en una tarrina de plástico con una malla en la tapa para ventilación y con 50 g de maíz seco, previamente pesados con una balanza analítica. Cada pareja fue identificada con un número escrito con marcador indeleble en la tapa de su tarrina. Las parejas de cada colonia fueron asignadas aleatoria y equitativamente a uno de los siguientes tratamientos: 1) con macho intruso (CMI, 10 parejas), o 2) ausencia de un macho intruso (SMI, 10 parejas).

Registro de interacciones

Cada pareja fue observada en dos muestreos por semana, a lo largo de tres semanas, entre las 09h00 hasta las 20h00. En cada muestreo focal se registraba la duración (en segundos) de los tres comportamientos de pareja (contacto, proximidad, cópula). Cada pareja se mantuvo aislada de las otras durante todo el periodo de estudio. En cada muestreo, cada pareja fue trasladada a una caja petri que tenía en el fondo papel filtro para facilitar la locomoción y agarre de los insectos, y su respectiva tapa para evitar que escapen. Después del traslado hubo un periodo de aclimatación de 10 minutos, seguido de un muestreo focal de 30 minutos, siendo la hembra siempre el individuo focal. Los muestreos fueron hechos por cuatro observadores previamente entrenados. Al acabar cada muestreo, las parejas eran

devueltas a sus respectivas tarrinas. Al final de la tercera semana, las parejas eran devueltas a las colonias correspondientes y las tarrinas con maíz de esas parejas eran revisadas periódicamente hasta el nacimiento de las crías (entre seis y diez semanas después del fin de los muestreos).

Para el tratamiento de introducción de un macho intruso (CMI), se seleccionaron machos al azar de la misma colonia a la que pertenecían las parejas. Estos fueron marcados espolvoreando harina de maíz sobre su dorso para diferenciarlos de los machos residentes; se utilizaron diferentes machos en cada muestreo. La introducción del nuevo macho a la caja petri de cada pareja se hizo antes del periodo de aclimatación. Una vez acabado el muestreo, los machos introducidos eran devueltos a su colonia de origen. Las parejas en este tratamiento se mantuvieron en la tarrina luego de la tercera semana hasta el conteo de las crías.

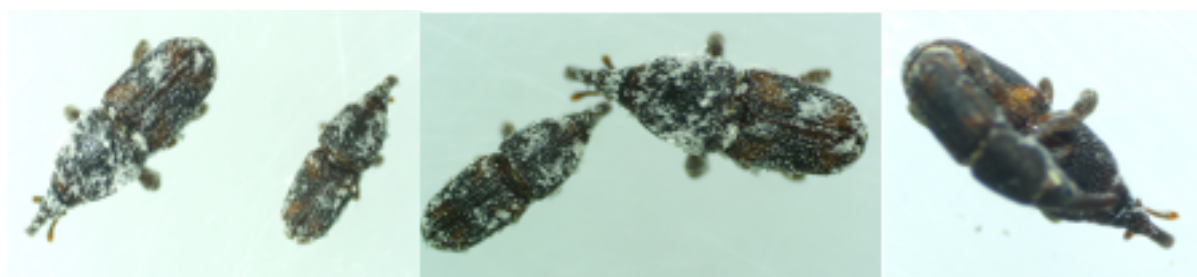


Figura 2. *Parejas de Sitophilus zeamais en: a) proximidad, b) contacto, c) cópula. (créditos: Jaime Guerra).*

Análisis de Datos

Para tener una descripción general de los comportamientos, se calculó el promedio del tiempo total de cada comportamiento a lo largo de las tres semanas de muestreo. Con esos promedios se calcularon los porcentajes de tiempo que dedicaban las parejas a cada comportamiento en los dos tratamientos (CMI y SMI). Para visualizar los patrones de duración de cada comportamiento se clasificó a los eventos en corta (1 a 500 s), media (501 a 1000 s) y larga duración (más de 1000 s) y se hicieron histogramas de frecuencia con los

datos de todas las parejas de los dos tratamientos. Finalmente, para evaluar si hubo cambios en la duración promedio de cada comportamiento a lo largo de las tres semanas de muestreo, se realizó un gráfico de líneas para cada tratamiento.

Seguidamente, para comparar la duración de los comportamientos de contacto, proximidad y cópula entre las colonias (S1, S2 y S3) y entre los tratamientos (CMI y SMI), se realizaron ANOVAs de medidas repetidas utilizando el software Statview versión 1998.05.0.

Finalmente, para evaluar si la duración de los comportamientos se correlacionaba con el éxito reproductivo, se realizaron correlaciones de Pearson entre las medianas de la duración de cada comportamiento (contacto, proximidad y cópula), y la cantidad de crías producidas. En este análisis no se incluyeron las medianas de valor cero. Las correlaciones fueron hechas en el programa R studio versión 2023.03.0. Además, se realizó un Chi-cuadrado para comparar el número de crías entre los tratamientos analizados.

Limitaciones del Estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones que podrían haber influido en los resultados. En primer lugar, no fue posible controlar la temperatura. Durante parte del periodo de estudio (febrero-septiembre de 2024), el clima fue frío y lluvioso, lo cual pudo haber afectado al comportamiento reproductivo de los gorgojos, tanto al tiempo de eclosión como al número de crías pues, como se ha reportado para esta y otras especies de gorgojos, como *S. oryzae*, la tasa de desarrollo se reduce o incluso detiene en condiciones de bajas temperaturas y humedad (Arrahman et al., 2022; Lu et al., 2024)

Adicionalmente, la selección de parejas se realizó basándose únicamente en diferencias en el tamaño corporal observado con lupa, ya que las hembras suelen ser más grandes que los machos. Sin embargo, no se realizaron disecciones al finalizar el estudio para verificar el sexo de los individuos. Esto representa una limitación importante, pues la

asignación incorrecta de sexos pudo haber afectado los resultados del estudio y podría explicar por qué algunas parejas ($n=22$) no tuvieron crías.

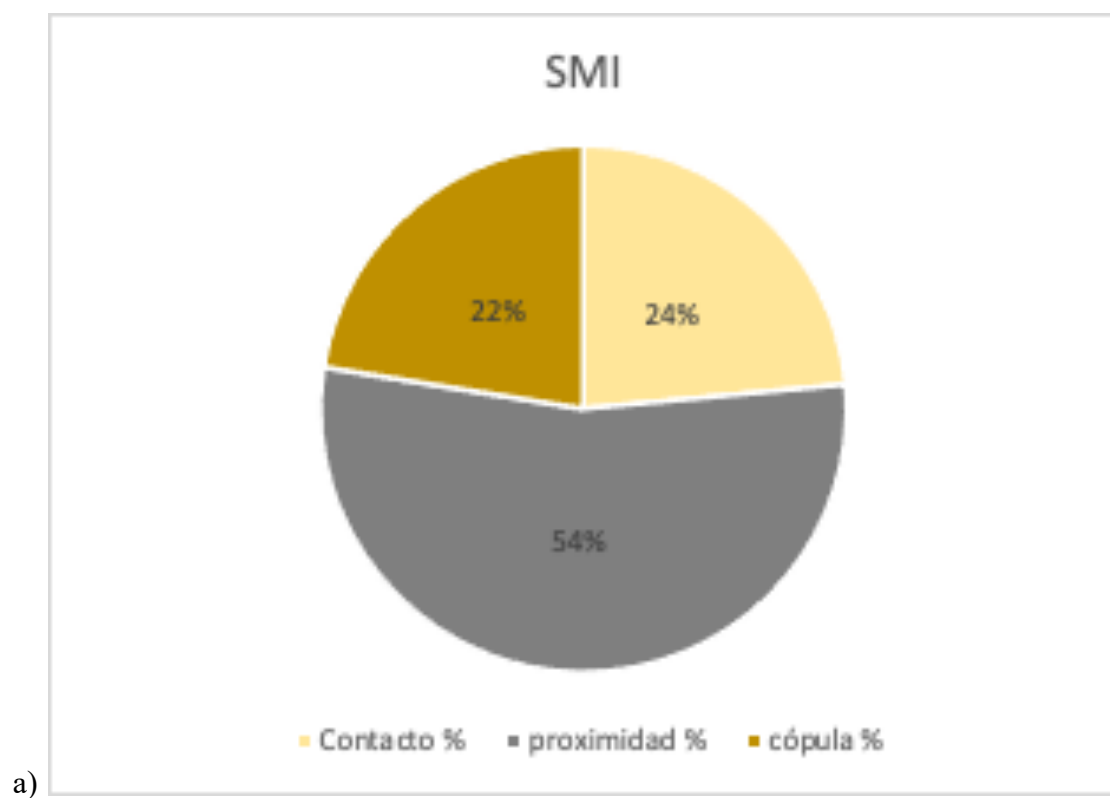
Por último, en ciertas parejas ($n=11$), uno de los individuos, macho o hembra, escapó o murió durante el periodo de muestreo. En estos casos, el individuo faltante fue reemplazado por un nuevo individuo del mismo sexo y colonia, lo que pudo introducir variabilidad en los resultados.

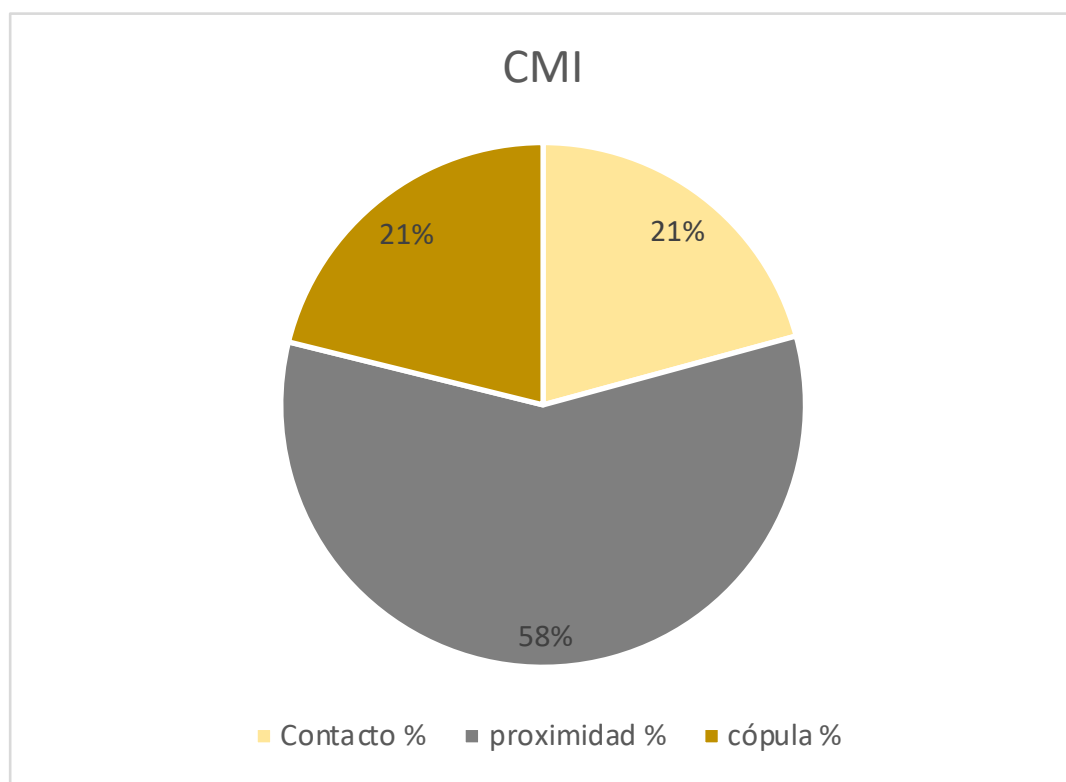
RESULTADOS

Descripción general de los comportamientos en ausencia y presencia de un macho

intruso

Al examinar los porcentajes de tiempo dedicado a cada uno de los comportamientos en las parejas de los dos tratamientos observamos una tendencia similar; en donde proximidad representa el comportamiento más común, seguido de cópula y contacto en porcentajes similares.

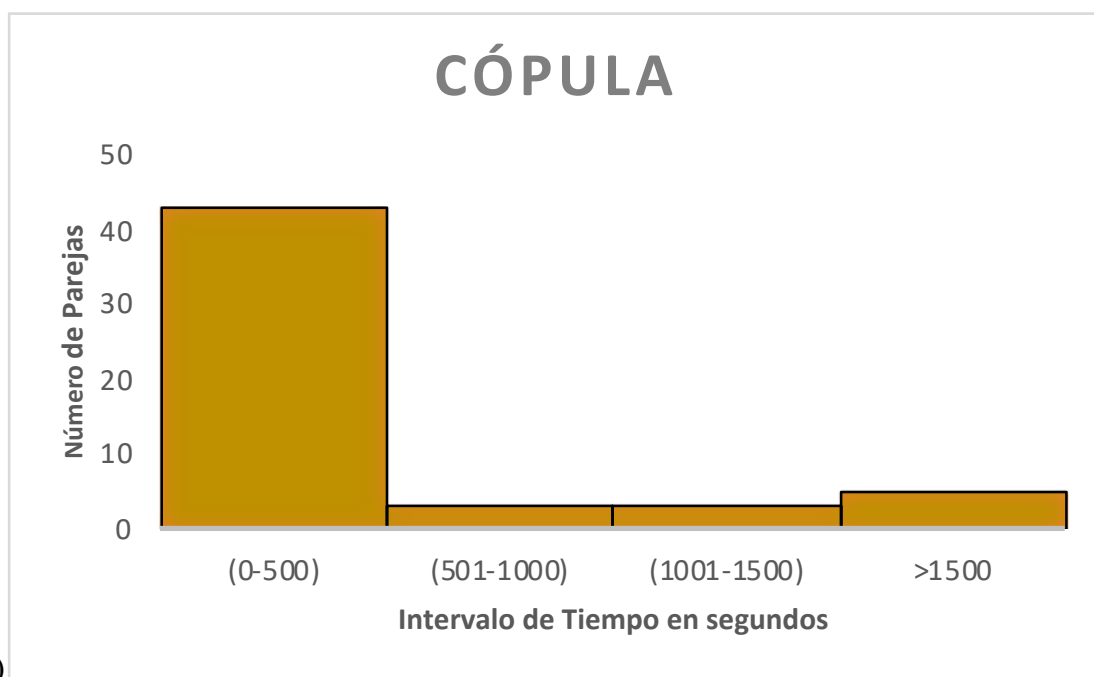
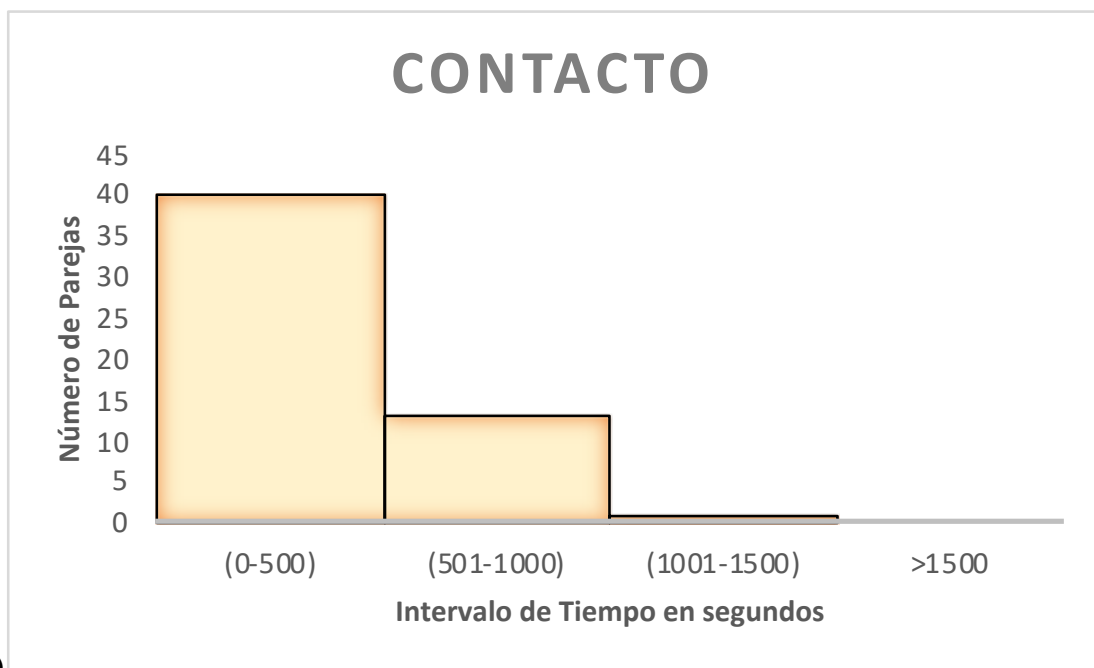




b)

Figura 3. Porcentaje promedio de la duración de los comportamientos: contacto, proximidad, contacto y cópula, en los dos tratamientos: a) SMI, $n=41408$ s y b) CMI, $n=55802$ s.

Adicionalmente, se observó que contacto ($n=40$) y cópula ($n=43$) son generalmente comportamientos de corta duración, con un mayor número de eventos en el intervalo de 0-500 segundos (*Figura 4*). Sin embargo, en cópula un pequeño grupo de parejas ($n=5$) tuvo cópulas prolongadas, superiores a los 1500 segundos. Por otro lado, la duración de proximidad muestra una distribución más amplia que se concentra en rangos intermedios y con algunas parejas ($n=4$) con proximidad mayor a 1500 segundos.



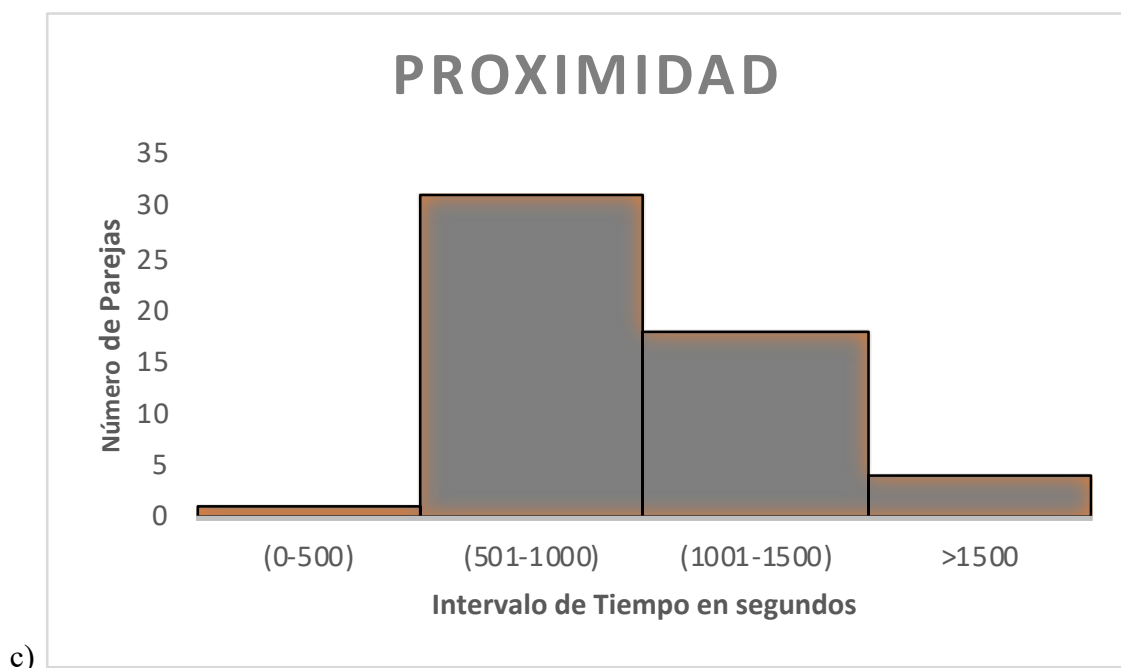


Figura 4. Frecuencia de duración de los eventos de: a) contacto, b) cópula y c) proximidad de parejas de *Sitophilus zeamais* por intervalos de tiempo en segundos.

Aunque los porcentajes de tiempo dedicado a cada comportamiento tenían una tendencia similar en ambos tratamientos, la duración promedio de cada comportamiento cambió a lo largo de las tres semanas de observación, con diferencias evidentes entre los tratamientos SMI y CMI.

Por un lado, en el tratamiento SMI, se observó una disminución en el comportamiento de contacto, mientras que proximidad se mantuvo relativamente estable. El comportamiento de cópula aumentó a lo largo de las tres semanas (*Figura 5*).

Por otro lado, en el tratamiento CMI, la duración del contacto aumentó mientras que proximidad tuvo un incremento progresivo, pero estable. Finalmente, la duración de la cópula disminuyó a medida que avanzaban las semanas (*Figura 5*).

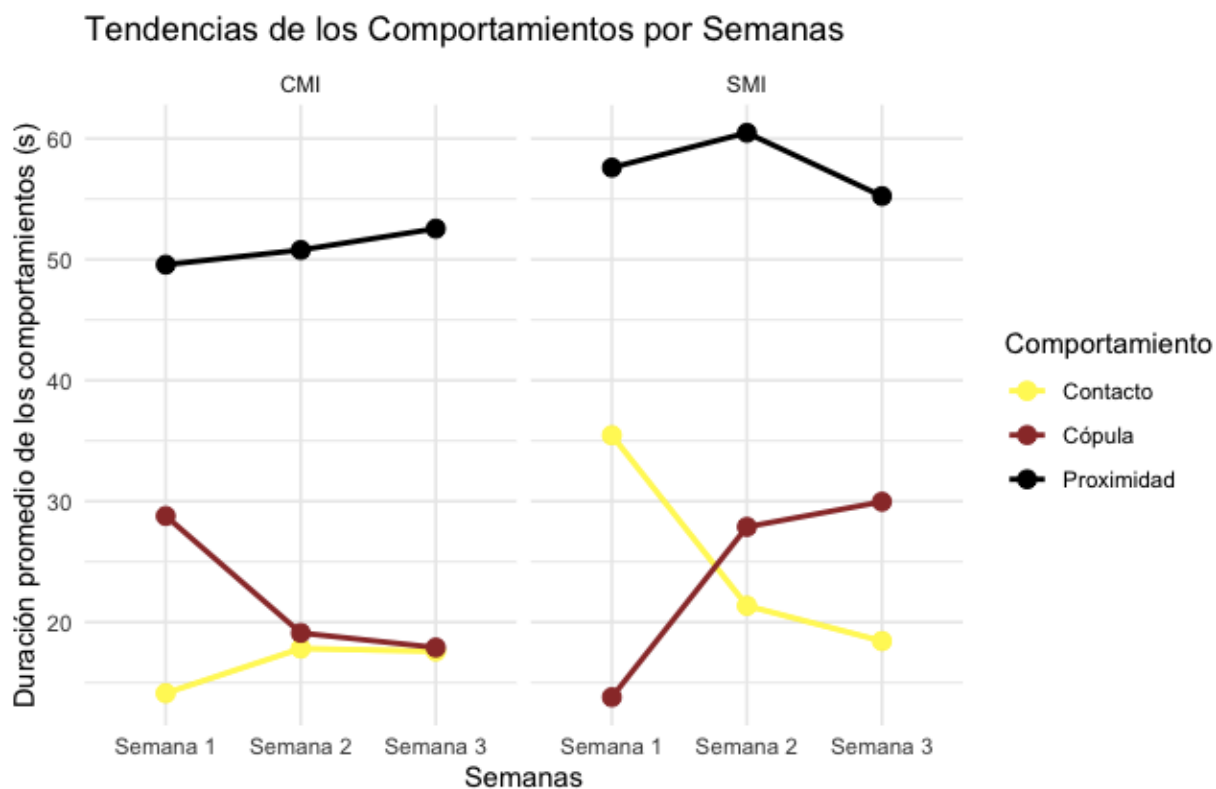


Figura 5. Duración promedio de los comportamientos de contacto, proximidad y cópula de *Sitophilus seamaiz*, en función del tiempo en semanas para cada tratamiento: CMI (con macho intruso) y SMI (sin macho intruso).

Variabilidad de los comportamientos entre colonias y tratamientos

Se encontraron diferencias significativas en el comportamiento de contacto entre los tratamientos ($F_{1,240} = 8,377, p < 0.05$) y a las colonias ($F_{2,240} = 3910, p < 0.05$). Estos resultados sugieren que la presencia de un macho intruso influye en la duración del contacto entre las parejas. En el tratamiento SMI, este comportamiento tuvo una mayor duración en comparación con el tratamiento CMI (Figura 6).

Por otro lado, las parejas de la colonia S1 registraron una mayor duración de este comportamiento en ambos tratamientos, mientras que las parejas de la colonia S3, registraron la menor duración (Figura 6).

La interacción entre tratamientos y colonias no fue significativa, sugiriendo que el efecto del macho intruso afectó de manera similar a las tres colonias. Los comportamientos de proximidad y cópula no mostraron diferencias significativas ni entre los tratamientos ni entre las colonias.

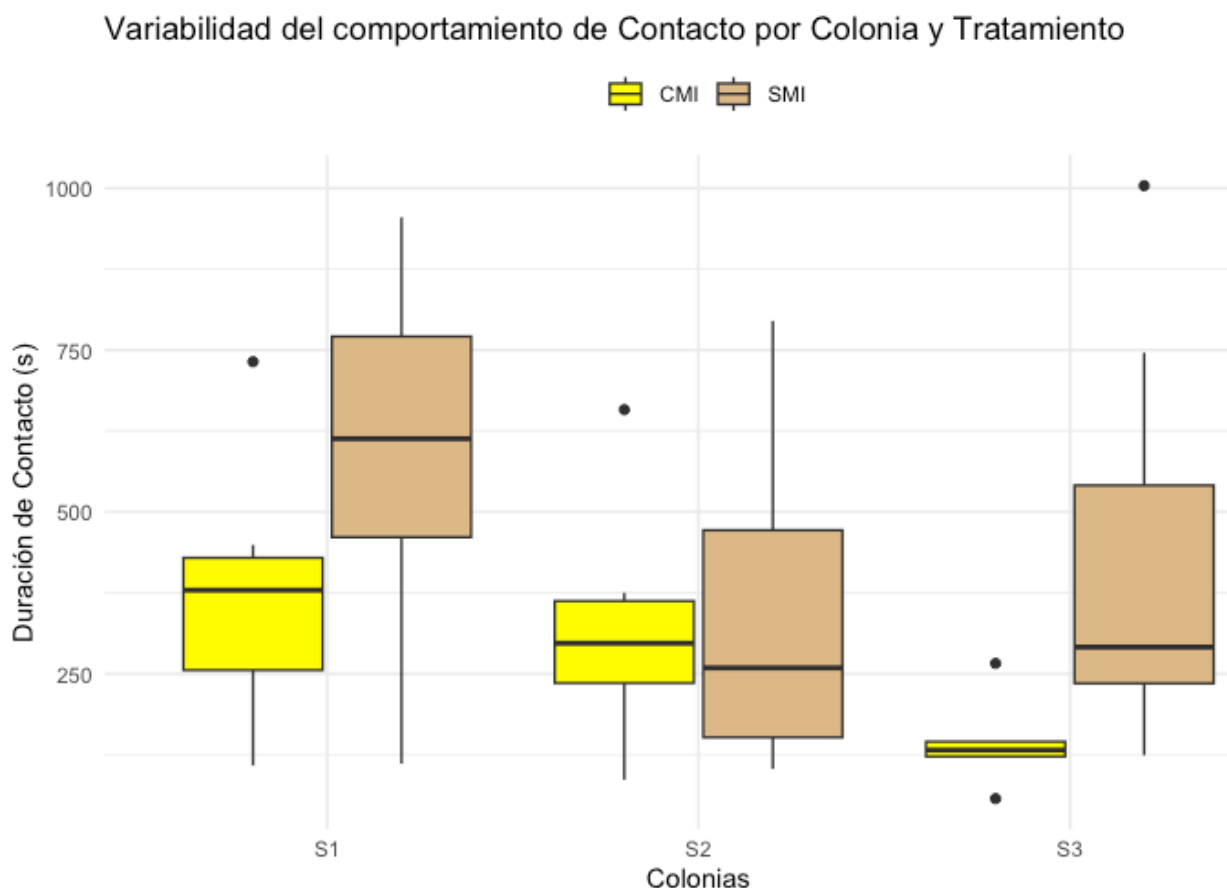


Figura 6. Medianas y cuartiles de la duración del comportamiento de contacto en los dos tratamientos CMI (con macho introducido) y SMI (sin macho introducido), en parejas de tres colonias (S1, S2, S3) de *Sitophilus zeamais*.

Relación entre los comportamientos de pareja y el éxito reproductivo

Los resultados de la prueba Chi-cuadrado muestran una diferencia significativa en el número de crías entre los tratamientos ($X^2 = 14.696$; $gl = 2$; $p < 0.05$). En general, en el tratamiento SMI las parejas tuvieron un mayor número de crías en las tres colonias (Tabla 1). Sin embargo, es importante destacar que estos resultados presentan una alta variabilidad,

evidenciada por las altas desviaciones estándar que en varios casos son superiores al promedio. La variabilidad en el número de crías parece estar relacionada con el registro de comportamientos atípicos como la monta de la hembra al macho, la cual representó el 18 % del tiempo total de cópula ($n=432,40$ s) en SMI, y el 9 % ($n=449,50$ s) en CMI. Las cinco parejas, en las que la duración de la monta de la hembra al macho superó a la duración de la monta del macho a la hembra, no tuvieron crías. Siete parejas en el tratamiento CMI y cuatro parejas en el tratamiento SMI que tuvieron cópula (monta del macho a la hembra), no tuvieron crías al final del estudio; mientras que, cuatro parejas del tratamiento CMI y cuatro parejas del tratamiento SMI, que no copularon durante los muestreos, sí tuvieron crías.

Tabla 1. Promedio ($\pm$ desv. est.) del número de crías por pareja en los tratamientos: CMI (Con macho intruso) y SMI (Sin macho intruso) en las tres colonias.

Colonias	Número de crías por tratamiento	
	SMI	CMI
S1	0,4 $\pm$ 0,52	0,6 $\pm$ 0,97
S2	10,5 $\pm$ 10,67	6,7 $\pm$ 8,64
S3	7,33 $\pm$ 5,74	2,8 $\pm$ 3,87

Por otro lado, las correlaciones entre la mediana de la duración de cada comportamiento y el número de crías fueron en su mayoría débiles y no significativas. La excepción se dio en el tratamiento sin macho intruso (SMI), donde se encontró una correlación negativa moderada significativa entre el número de crías y la mediana de tiempo de contacto ($r = -0.408$; $p < 0.05$). Esto sugiere que un menor tiempo de contacto podría estar asociado con un mayor éxito reproductivo. Sin embargo, este patrón no se replicó en el

tratamiento con macho intruso (CMI). Una posible explicación para estos resultados podría estar relacionada con el hecho de que en la colonia S1, las parejas con largos periodos de contacto no produjeron crías en el periodo asignado para el registro de estos datos, limitado por el plazo para la entrega de este trabajo.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio sugieren una compleja interacción entre factores biológicos y sociales que influyen en la reproducción de esta especie. De los comportamientos estudiados, el de proximidad fue el más frecuente en ambos tratamientos, representando más del 50% del tiempo total de muestreo. Este resultado se explica porque la proximidad entre los miembros de la pareja es un comportamiento previo a interacciones más complejas, como el contacto o la cópula, y podría facilitar la evaluación de potenciales parejas (Viera & Guedes, 2021).

En contraste, la duración del comportamiento de contacto, mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayor duración en el tratamiento SMI. La disminución del tiempo de contacto en el tratamiento CMI, sugiere un cambio de comportamiento de la hembra por la presencia del macho intruso, ya sea por pasar más tiempo en proximidad o en contacto con el macho intruso o porque éste interfería físicamente en las interacciones entre la hembra y el macho residente.

Adicionalmente, la diferencia significativa entre colonias en la duración del comportamiento de contacto, en donde la colonia S1 mostró los valores más altos de duración de contacto, mientras que la colonia S3 tuvo los más bajos, podría ser resultado de la acción de la deriva genética, en la medida en que este comportamiento esté genéticamente determinado, pues las colonias han estado aisladas alrededor de 10 años. Condiciones demográficas específicas de las colonias, como la densidad poblacional, también podrían haber contribuido a estas diferencias. En colonias con mayor densidad, se genera mayor presión social que puede incrementar la duración de contacto debido a reconocimiento, establecimiento de jerarquías o competencia por recursos (Johnston et al., 2019). Finalmente, las diferencias reportadas también podrían deberse al comportamiento individual que está

influenciado por los endosimbiontes *Sodalis pierantonius* y *Wolbachia*, que tienen un papel importante en el comportamiento y reproducción de este gorgojo (Carvalho et al., 2014).

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en la duración de proximidad y cópula podría ser un artefacto del pequeño tamaño de muestra pero también sugiere que estos comportamientos, en particular la cópula, depende de interacciones complejas que no fueron registradas en este estudio.

Las correlaciones entre la duración de los comportamientos y el número de crías fueron débiles y no significativas en su mayoría. Estos resultados evidencian que el número de crías como indicador del éxito reproductivo no depende exclusivamente de los comportamientos observados, sino que está influenciado por una combinación de factores que requieren una exploración más profunda.

El número de crías producidas fue mayor en el tratamiento SMI en comparación con el tratamiento CMI. El tratamiento SMI presentó más crías en general y aunque se desconoce la causa de esta disminución, es posible que se deba, al menos en parte, al estrés que sufren las hembras por la introducción de un nuevo macho. En un estudio con otra especie de gorgojo *S. oryzae*, se encontró que el apareamiento con varios machos tiene beneficios al extender el periodo de tiempo en el que puede ocurrir la oviposición. Sin embargo, también tiene costos: a medida que aumenta el número de machos, las hembras dedican más energía y tiempo a la cópula, lo que reduce la cantidad de huevos (Guedes et al., 2017; Campbell, 2005).

Si bien los resultados de este estudio deben ser confirmados con un mayor esfuerzo de muestreo, su potencial contribución al manejo de *S. zeamais* debe ser considerada. La identificación de contacto como un comportamiento sensible a la competencia entre machos sugiere que estrategias de manejo basadas en disrupción social, como la liberación de machos estériles o competidores, podrían reducir la reproducción de esta plaga. Además, las diferencias entre colonias resaltan la necesidad de ajustar estas estrategias a las condiciones

particulares de cada población. Finalmente, la falta de correlaciones fuertes y significativas entre proximidad y cópula con el éxito reproductivo sugiere que futuros estudios deberían explorar factores adicionales, como la calidad del grano o la influencia de feromonas, para comprender mejor los determinantes de la reproducción en esta especie de gorgojo. Estos resultados podrían ser una base para el desarrollo de nuevos estudios para diseñar métodos efectivos y sostenibles para mitigar el impacto de esta plaga.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra la complejidad del comportamiento social y reproductivo de *Sitophilus zeamais*, destacando cómo las interacciones entre individuos pueden influir sobre el éxito reproductivo de esta especie de plaga.

El comportamiento de contacto entre los miembros de la pareja parece ser sensible a disrupciones sociales y podría ser usado como un indicador de cambios en la dinámica social y, eventualmente, en la tasa de reproducción de las colonias.

A nivel de colonias, las diferencias en la duración del contacto podrían estar vinculadas a efectos de deriva genética sobre genes que regulan este comportamiento. Se requieren estudios adicionales sobre la variabilidad genética y su influencia en el comportamiento social.

Aunque el tamaño de muestra es pequeño y no fue posible controlar variables como la temperatura ambiental y la calidad del maíz que pueden influir sobre la reproducción, los resultados sugieren que el éxito reproductivo no depende linealmente de los comportamientos observados, sino de una combinación de factores intrínsecos y ambientales.

Se requiere más investigación para proponer aplicaciones prácticas para el manejo de esta plaga agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrahman, A., Sebayang, A., Jamaluddin, F., Mirzam, H., Djaenddin, N., Suriani, Pakki, S., & Saenong, S. (2022). Componentes del medio ambiente que afectan a la reproducción del gorgojo del polvo *Sitophilus zeamais* (Motsch.). En *E3S Web of Conferences: 3ª Conferencia Internacional sobre Agronegocios y Desarrollo Rural (IconARD 2022)*, 361, 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236104025>
- Carvalho, G., Vieira, J., Haro, M., Correa, A., Ribon, A., Orlando, L. & Guedes, R. (2014). Peliotropic Impact of Endosymbiont Load and Co-Occurrence in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *PLoS ONE*, 9(10): e111396. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111396>
- Campbell, J. (2005). Fitness Consequences of Multiple Mating on Female *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology*, 34(4), 833-843. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.4.833>
- Cini, A., Ioriatti, C. & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1), 149-160.
- Cobos, A. & Iannaccone, J. (2012). Resistencia de granos almacenados de cultivares de maíz amarillo duro a *Sitophilus zeamais* Mostchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en el Perú. *Revista Peruana entomológica*, 47(1), 1-6. https://www.researchgate.net/publication/260084618_Resistencia_de_granos_almacenados_de_cultivares_de_maiz_amarillo_duro_a_Sitophilus_zeamais_Mostchulsky_1855_Coleoptera_Curculionidae_en_el_Peru

- Espinoza, A. (2021). Formulación bioinsecticida a partir de Santa María (Tanacetum parthenium L.) para controlar el ataque del gorgojo de maíz (Sitophilus zeamais Motschulsky) a granos almacenados. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido el 04 de septiembre 2024 de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20307>.
- Fragoso, D., Guedes, R. & Peternelli, L. (2005). Developmental rates and population growth of insecticide-resistant and susceptible populations of Sitophilus zeamais. *Journal of Stored Products Research*, 41(3), 271-281. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2004.03.008>
- García, S., Burt, A., Serratos, A., Díaz, D., Arnason, J. & Bergvinson, D. (2003). Defensas Naturales en el grano del maíz al ataque de Sitophilus zeamais (Motsch, coleoptera: curculionidae): Mecanismos y bases de la resistencia. *Revista de educación Bioquímica*, 22(3), 138-145.
- González, S., Pino, O., Herrera, R. S., Valenciaga, N., Fortes, D., & Sánchez, Y. (2011). Potencialidades de los polvos de Lonchocarpus punctatus en el control de Sitophilus zeamais. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 89-94.
- Guedes, N., Guedes, R., Campbell, J. & Throne, J. (2017). Mating behaviour and reproductive output in insecticide-resistant and -susceptible strains of the maize weevil (Sitophilus zeamais). *Annals of Applied Biology*, 1-10. doi:10.1111/aab.12346
- Hernández, M., Valdés, M., Llanos, L., Ochoa, G. & López, V. (2012). Comportamiento reproductivo de Scyphophorus acupunctatus Gyll. En Laboratorio. *Southwestern Entomologist*, 37(2), 243-246. <https://doi.org/10.3958/059.037.0219>

- Inghilesi, A., Mazza, G., Cervo, R. & Cini, A. (2015). A network of sex and competition: The promiscuous mating system of an invasive weevil. *Current Zoology*, 61(1), 85-97.
<https://doi.org/10.1093/czoolo/61.1.85>
- Jara, F. (2018). Evaluación de tres dosis de fumigación con fosfuro de aluminio en almacenamiento de maíz (*Zea mays*) para controlar la incidencia de *Sitophilus* spp. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido el 04 de septiembre de 2024 de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/dae48563-a585-4b43-9ed9-0865bbb4f/content>
- Johnston, H. Keats, B. & Sherman, L. (2019). Population Genetics. Emery and Rimoin's Principles and Practice of Medical Genetics and Genomics (Seventh Edition). *Academic Press*, 359-373. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812537-3.00012-3>.
- König, B. (2001). Natural Selection. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 10392-10398. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/03071-0>.
- Lu, J., Shen, L., Hamadou, A. H., Jiang, S., & Xu, B. (2024). Effect of temperature and relative humidity on the development of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) reared on noodles. *Journal of Stored Products Research*, 105, 102213. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102213>
- Martin-Wintle, S., Shepherdson, D., Zhang, G., Huang, Y., Luo, B. & Swaisgood, R. (2017). Do opposites attract? Effects of personality matching in breeding pairs of captive giant pandas on reproductive success. *Biological Conservation*, 207, 27-37.
- Spoon, T., Millam, J. & Owings, D. (2006). The importance of mate behavioural compatibility in parenting and reproductive success by cockatiels, *Nymphicus*

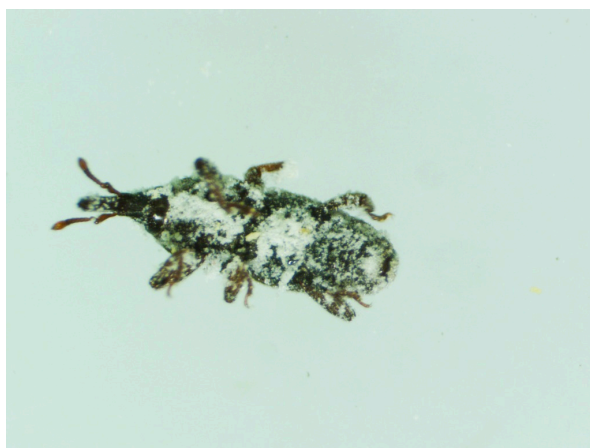
hollandicus. *Animal Behaviour*, 71(2), 315-326.

<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.03.034>

Walgenbach, C. & Burkholder, W. (1987). Mating behavior of the Maize Weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 80(5), 578-583. <https://doi.org/10.1093/aesa/80.5.578>

Vieira, J. & Guedes, R. (2021). Endosymbiont load, personality and reproductive output of maize weevils (*Sitophilus zeamais*). *Journal of Pest Science*, 94:691-701.
<https://doi.org/10.1007/s10340-020-01287-7>

ANEXO A: GORGOJO DEL MAÍZ, *SITOPHILUS ZEAMAI*



ANEXO B: OBSERVACIONES DE LAS PAREJAS EN LOS TRATAMIENTOS**SMI Y CMI**

ANEXO C: ORGANIZACIÓN DE LAS PAREJAS EN LAS TARRINAS Y MARCAJE DE LOS MACHOS INTRUSOS

