

Listas de contenidos disponibles en [Ciencia Directa](#)

Protección de cultivos

Página de inicio de la revista: www.elsevier.com/locate/cropro

Lesiones simuladas en las vainas y flores de soja y umbrales económicos para *Spodoptera eridania* (Decisiones de gestión de Lepidoptera: Noctuidae)

Claudia María Justus^a, Silvana Vieira Paula-Moraes^b, Amarildo Pasini^c, W. Wyatt Hoback^d, Rafael Hayashida^d, Adeney de Freitas Bueno^{y,*}

^aUniversidade Estadual de Londrina, Sector de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Londrina, Paraná, 86057-970, Brasil

^bUniversidade de Florida, Centro de Investigación y Educación UF/IFAS West Florida, Departamento de Entomología y Nematología, Jay, FL, 32565, EE. UU.

^cUniversidade Estadual de Oklahoma, Departamento de Entomología y Fitopatología, Stillwater, OK, 74078, EE. UU.

^dUniversidade Federal de Paraná, Departamento de Biología, Sector de Ciências Biológicas, Curitiba, Paraná, 80210-170, Brasil

^yEmbrapa Soja, PO Box 231, Londrina, Paraná, 86001-970, Brasil

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Relación lesión-daño

Cry1Ac

Tolerancia a las plagas

Nivel de daño económico

Florivoria

Gusano cogollero

ABSTRACTO

Aunque los umbrales económicos de defoliación (ET) en la soja están bien establecidos, existen preocupaciones sobre *Espodopteros* spp. y *Helicoverpas* spp. que dañan las vainas y flores de la soja. Además, *S. eridania* es la especie más común de su género que se alimenta de soja en Brasil. Por ello, cuantificamos la alimentación de *S. eridania* larvas en hojas, vainas y flores de los cultivares BRS388RR y BRS1001IPRO en el laboratorio. En el campo, se realizaron ensayos con lesiones artificiales durante tres temporadas de cultivo consecutivas. Los resultados indicaron que el tercer estadio... *S. eridania* puede crecer al alimentarse de vainas (de plantas en etapa R3). Sin embargo, la etapa larvaria se prolonga (27,4 días) en comparación con las larvas que se alimentan de hojas (19,9 días). Las pruebas con vainas más viejas (etapas R5.1 y R5.5) arrojaron una mortalidad del 100 %. En los neonatos, se observó una mortalidad del 100 % tanto al alimentarse de vainas como de vainas con flores. Además, la soja toleró todas las lesiones analizadas en el campo, incluyendo un 25 % de vainas perforadas con un 16,7 % de defoliación o la eliminación del 100 % de flores, sin reducir el rendimiento. En general, *S. eridania* se alimenta de hojas. Las larvas mayores (a partir del tercer estadio) pueden alimentarse de las vainas en una etapa reproductiva temprana de la planta (etapa R3). Sin embargo, la soja tiene una alta tolerancia a las lesiones en las vainas y flores, incluso cuando se producen en combinación con la defoliación. Por lo tanto, una ET del 25 % de las vainas dañadas o una ET general por defoliación del 15 % en la etapa reproductiva es segura. La eliminación de flores en la etapa reproductiva R2 mediante *S. eridania* debería activarse la gestión porque no se observó ninguna reducción en el rendimiento incluso cuando se eliminó el 100 % de las flores.

1. Introducción

Soja [*Glycine max* (L.) Merrill] es uno de los cultivos de mayor importancia económica a nivel mundial, representando aproximadamente la mitad de la producción total de aceites y proteínas vegetales (Oerke, 2006). Desafortunadamente, el rendimiento de la soja puede verse drásticamente reducido por las plagas. Entre los defoliadores, las larvas del género *Espodopteros* (Guenée, 1852), especialmente *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Noctuidae) son importantes debido a su gran abundancia en los campos de soja y su potencial daño tanto a las hojas como a las estructuras reproductivas de las plantas (Bueno y otros, 2011; Santos y otros, 2010). *Spodoptera eridania* y *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) han sido reportadas recientemente como especies invasoras en África (Goergen y otros, 2016; Tapa-Yotto et al., 2021), y

S. frugiperda también ha aparecido en la India (Ganiger y otros, 2018) y

Australia (Fiscalía Europea, 2020) y fue clasificada como A1 (plaga cuarentenaria) en Europa (Fiscalía Europea, 2019). Además, *S. eridania* es una de las plagas generalistas más abundantes en América Central, América del Sur y el Caribe, alimentándose de más de doscientas especies de plantas (Pogue, 2002; Pastizales, 2005; Tay y Gordon, 2019; Parra y otros, 2021).

Desde 2013, comercial *Bt* Rasgos de la soja que expresan toxinas de las bacterias *Bacillus thuringiensis* se han adoptado, primero en Brasil y ahora en todo el mundo, con excepción de Estados Unidos (ISAAA, 2021). A pesar de que la toxina Cry1Ac es muy activa contra la mayoría de los lepidópteros, *Espodopteros* spp. y *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) son naturalmente tolerantes a ella (Bernardi y otros, 2014). Debido a la alta adopción de *Bt* soja [más de 30 millones de hectáreas solo en Brasil en la temporada de cultivo 2020/21 (Chispa, 2021)] y la consiguiente reducción de las pulverizaciones de insecticidas contra las larvas de lepidópteros, *Espodopteros*

* Autor correspondiente. Varilla de Soja Embrapa. Carlos João Strass – Distrito de Warta Caixa, Postal 231 – CEP 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil. Direcciones de correo electrónico: Direcciones de correo electrónico: adeney.bueno@embrapa.br (AF Bueno). cnpsa.chpd@embrapa.br (AF Bueno).

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105936>

Recibido el 29 de noviembre de 2021; Recibido en forma revisada el 27 de enero de 2022; Aceptado el 30 de enero de 2022. Disponible en línea el 1 de febrero de 2022.

0261-2194/© 2022 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados.

La presencia de spp. en los campos de soja se ha vuelto más común (Bueno y otros, 2018). En consecuencia, los productores están cada vez más preocupados no sólo por *Helicoverpa* spp. pero también sobre *Espodopteros* spp. que dañan las vainas y flores de la soja (Bueno y otros, 2018; Conte y otros, 2019). Está bien documentado que *H. zea* se alimentan de todos los tipos de tejidos de plantas hospedantes de soja (Reisig y otros, 2017), pero informa sobre *Espodopteros* La capacidad de las especies de alimentarse de vainas o flores es menos frecuente y se basa únicamente en la percepción de los productores (Bueno y otros, 2018; Conte y otros, 2019). Además, solo hay un pequeño número de estudios sobre la tolerancia de la soja a las lesiones en las vainas y las flores (Reisig y otros, 2017). La mayoría de los estudios en la literatura sobre el impacto de la pérdida de vainas en el rendimiento de la soja se han realizado utilizando cultivares determinados de maduración tardía (McAlister y Krober, 1958; Hicks y Pendleton, 1969; Kincade y otros, 1971; Smith y Bass, 1972; McPherson y Moss, 1989). Sólo unos pocos estudios utilizaron cultivares indeterminados de maduración temprana (Adams y otros, 2015), que son los cultivares más comunes en Brasil (Bueno y otros, 2021) y los EE.UU. (Heatherly, 1999).

Además, a pesar de *Espodopteros* spp. habiendo sido ampliamente evaluadas en el laboratorio (Bortoli y otros, 2012; Montezano y otros, 2013, 2014, 2015, 2019; Silva y otros, 2017), la información sobre sus parámetros biológicos y nutricionales al alimentarse de flores y vainas de soja es escasa. Además, hasta donde sabemos, la tolerancia de la soja a daños tanto en vainas como en flores se ha investigado poco. Sin embargo, esta información es crucial para la formulación de recomendaciones para el manejo integrado de plagas (MIP). Higley y Pedigo, 1996). El manejo integrado de plagas en la soja se basa en la premisa de que no todas las especies de insectos requieren acciones de manejo y que las plantas de soja toleran ciertos niveles de infestación y daño, lo que no produce pérdidas económicas en el rendimiento. Bueno y otros, 2013, 2021). Por lo tanto, los programas de MIP se basan en los conceptos de nivel de daño económico (NEI) como la densidad de plaga más baja que causa daño económico, y umbral económico (ET) como el momento apropiado en el que se debe comenzar el control para evitar que la densidad de población de la plaga cause daños que alcancen el NIE. Stern y otros, 1959; Pedigo y otros, 1986).

Las ET recomendadas para larvas de lepidópteros que se alimentan exclusivamente de hojas de soja están bien establecidas, a pesar de las ligeras diferencias en todo el mundo. En Brasil, las medidas de manejo se inician cuando se detectan 20 grandes (\geq Se cuentan larvas de 1,5 cm) por muestra de tela (línea de soja de 1 m), o cuando se observa una defoliación del 30% en el estado vegetativo o del 15% en el estado reproductivo (Batistela y otros, 2012; Hayashida y otros, 2021). En los EE. UU., la ET típica se alcanza con un nivel de defoliación del 35 % en la etapa vegetativa o del 20 % en la etapa reproductiva (Andrews y otros, 2009) La capacidad de *Espodopteros* spp. que dañan las vainas y flores de soja nunca se evaluó para el establecimiento de estas ET. Por lo tanto, es de interés teórico y práctico estudiar *Espodopteros* spp. en flores y vainas de soja, así como para determinar la tolerancia de las plantas a este tipo de lesiones, junto con el daño foliar, a fin de establecer una ET adecuada para las decisiones de manejo integrado de plagas (MIP) en soja. Con este fin, este estudio no solo buscó determinar el impacto de las lesiones en vainas y flores en el rendimiento de la soja, sino también... *S. eridania* capacidad de desencadenar dichas lesiones. Se eligió esta especie porque es la especie más común de la *Espodopteros* spp. y *Helicoverpa* spp. complejo encontrado en la soja en Brasil. Además, la ET actual para *H. zea* tiene en cuenta la capacidad de sus larvas de dañar las vainas y las flores (Herbert y otros, 2003), lo cual no es el caso de *Espodopteros* spp., según nuestro conocimiento.

2. Material y métodos

Se llevaron a cabo cinco ensayos entre 2016 y 2019. Dos de estos ensayos se llevaron a cabo en condiciones controladas [25 \pm 2°C, humedad relativa (HR) de 70 \pm 10% y fotoperiodo de 14/10h (L/D)], evaluando *S. eridania* alimentándose de hojas, vainas y flores de los cultivares de soja BRS 388 RR y BRS 1001 IPRO en los estadios R3, R5.1 y R5.5 (Fehr y otros, 1971) y cuantificando el impacto en las características biológicas de las larvas. Se utilizaron tres etapas de crecimiento reproductivo de la planta [joven (R3), desarrollo intermedio (R5.1) y desarrollo maduro (R5.5)] para representar mejor (R3) o menos (R5.1 y R5.5) los tejidos de las vainas aptos para la alimentación de los insectos. Edwards

y Singh, 2006), lo que permitió comprender mejor la capacidad de los insectos para causar daño. Además, se realizaron tres experimentos adicionales en condiciones de campo durante tres campañas de soja consecutivas (2016/2017, 2017/2018 y 2018/2019) en Embrapa, en el municipio de Londrina (S 23).11°11,7"; WO 51-10°46.1") en el estado norteno de Paraná (PR), Brasil, estudiando la tolerancia de la soja a daños simulados en las plantas, como se describe brevemente a continuación.

2.1. Estudios de alimentación en laboratorio de *Spodoptera eridania*

Se realizó un experimento en 2016 utilizando el cultivar BRS 388 RR (grupo de madurez 6.4 y hábito de crecimiento indeterminado; cultivar Roundup Ready) y se realizó un segundo experimento en 2017 utilizando el cultivar BRS 1001 IPRO (grupo de madurez 6.2 y hábito de crecimiento indeterminado; cultivar Roundup Ready). *Bt* cultivar de soja). *Spodoptera eridania* Las larvas utilizadas en ambos experimentos se obtuvieron de colonias de insectos mantenidas en Embrapa Soja, donde los insectos fueron recolectados en campo en soja y mantenidos durante un año en la colonia de acuerdo con la metodología descrita previamente (Silva y otros, 2017).

En el primer experimento (2016) *S. eridania* Las masas de huevos se dispusieron individualmente en cajas Gerbox (cajas de poliestireno cristal 11 \times 11 \times 4 cm) forradas con papel de filtro humedecido con agua destilada. Tras la eclosión, todas las larvas recibieron la misma dieta (vainas y hojas de soja cultivar BRS 388 RR en etapa de desarrollo R3). El alimento se reemplazó diariamente. Tras 4 días de eclosión, solo las larvas que habían mudado recientemente al tercer estadio fueron seleccionadas e individualizadas en vasos de plástico de 50 ml (Copaza).®, Içara, SC, Brasil), cubierto con papel absorbente (Scott®, São Paulo, SP, Brasil) y tapas de cartón. Este procedimiento aseguró que el primer y segundo estadio duraran 4 días en total. Luego fueron alimentados diariamente de acuerdo con cada tratamiento. Los tratamientos fueron: 1) Hojas de plantas en etapa de desarrollo R3; 2) Hojas + vainas de plantas en etapa de desarrollo R3; 3) Vainas de plantas en etapa de desarrollo R3; 4) Hojas de plantas en etapa de desarrollo R5.1; 5) Hojas + vainas de plantas en etapa de desarrollo R5.1; 6) Vainas de plantas en etapa de desarrollo R5.1; 7) Hojas de plantas en etapa de desarrollo R5.5; 8) Hojas + vainas de plantas en etapa de desarrollo R5.5; 9) Vainas de plantas en etapa de desarrollo R5.5. Cada tratamiento tuvo 3 réplicas. Cada réplica contenía 15 larvas individuales. Los resultados de las réplicas fueron el valor promedio de las 15 larvas individualizadas. Los parámetros evaluados fueron el tiempo requerido para que las larvas pupen [tiempo de desarrollo larval (días)] y la mortalidad (%).

En 2017, el ensayo se repitió con los mismos procedimientos. Sin embargo, esta vez las larvas se individualizaron al eclosionar y los tratamientos probados fueron: 1) Hojas de plantas en etapa de desarrollo R3; 2) Hojas + vainas de plantas en etapa de desarrollo R3; 3) Vainas de plantas en etapa de desarrollo R3; 4) Hojas + flores de plantas en etapa de desarrollo R3; 5) Hojas + vainas + flores de plantas en etapa de desarrollo R3; 6) Vainas + flores de plantas en etapa de desarrollo R3; 7) Dieta artificial (Greene y otros, 1976) Cada tratamiento contó con 3 réplicas. Cada réplica constó de 20 larvas individuales. Los resultados de las réplicas fueron el valor promedio de las 20 larvas individualizadas. Se evaluaron el tiempo total de desarrollo larvario (días) y la mortalidad (%).

Para contar con suficientes tejidos vegetales de soja en diferentes etapas reproductivas para alimentar a las larvas, se cultivaron plantas en invernadero. Periódicamente, se sembró soja (en macetas de plástico de 5 litros, con tierra esterilizada y 5 semillas).-1) y cada estructura de la planta se recolectó en cada etapa reproductiva (R3, R5.1 y R5.5) (Fehr y otros, 1971) Diariamente, se extrajeron tejidos vegetales de cada planta. La posición de las hojas varió de la primera a la tercera hoja completamente expandida, según la disponibilidad de hojas. Las vainas y flores se recolectaron de la mitad superior del dosel. Tras la recolección de los tejidos vegetales (hojas, vainas y flores), se limpiaron mediante inmersión en hipoclorito de sodio (4%) y se enjuagaron con agua destilada durante tres a cinco segundos. El agua se eliminó con toallas de papel antes de ofrecer los tejidos vegetales a los insectos experimentales. La dieta artificial (8 g por réplica) se reemplazó diariamente para evitar la deshidratación, y se registró diariamente la supervivencia larvaria.

2.2. Lesiones artificiales en tejidos de soja en estudios de campo

Además de analizar *S. eridania* Para evaluar la capacidad de alimentación de las vainas y flores, también fue importante cuantificar la tolerancia de las plantas a daños en las vainas y flores. Por lo tanto, se realizaron ensayos de campo el 17 de octubre de 2016 (temporada 2016-2017) con el cultivar de soja BRS 388 RR, el 24 de octubre de 2017 (temporada 2017-2018) con el cultivar de soja BRS 388 RR y el 22 de octubre de 2018 (temporada 2018-2019) con el cultivar de soja BRS 1001 IPRO. Se utilizó una distancia entre hileras de 0,45 m para ambos cultivares, y se utilizaron 15,1 y 14,5 semillas por metro lineal para BRS 388RR y BRS 1001 IPRO, respectivamente.

Durante la temporada agrícola 2016-2017, el estudio se llevó a cabo con un diseño experimental en bloques al azar, evaluando seis niveles de daño en las vainas (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%), con cinco réplicas (4 hileras de 6 m cada una). En la etapa de desarrollo R4 (Fehr y otros, 1971) Se registró el número total de vainas en las dos hileras centrales de cada réplica y, posteriormente, se calculó el número de vainas dañadas según cada tratamiento. Las vainas dañadas se seleccionaron aleatoriamente, con una distribución equitativa de las lesiones en las vainas superior, media e inferior de las plantas. La lesión se realizó en el grano más apical de las vainas seleccionadas, perforando completamente la vaina y el grano con un taladro manual de 4 mm (Bosch).[®], Belo Horizonte, MG, Brasil). Cuando las larvas de lepidópteros se alimentan de vainas de soja inmaduras más pequeñas, es común observar la abscisión completa de la vaina dañada, lo que no ocurre cuando se alimentan de vainas completamente alargadas (Adams y otros, 2015). Por lo tanto, lesionar plantas en la etapa de crecimiento reproductivo R4 nos permite dañar completamente una sola semilla, ya que puede identificarse en las vainas, además de observar el aborto de las vainas debido a la lesión. En la mayoría de los estudios publicados previamente (McAlister y Krobe, 1958; Kincade y otros, 1971; Smith y Bass, 1972; McPherson y Moss, 1989; Adams y otros, 2015) se eliminaron vainas enteras mientras que este estudio tuvo como objetivo comprender la capacidad de la planta para tolerar lesiones en las vainas en etapas reproductivas tempranas.

Durante la temporada de cultivo 2017-2018, el estudio de daño artificial se realizó mediante un diseño experimental factorial 3x4 en bloques aleatorizados con tres niveles de defoliación (0 %, 8,3 % y 16,7 %) y cuatro niveles de daño en las vainas (0 %, 15 %, 20 % y 25 %), con cuatro réplicas (4 hileras de 4 m cada una). Considerando que la ET de defoliación para la soja en etapa reproductiva es del 15 % en Brasil (Batistela y otros, 2012) y que el 25% de daño en las vainas fue el nivel más alto de daño evaluado durante la temporada de cultivo 2016-2017. Al utilizar ambos valores como factores en un análisis factorial, esperábamos comprender bien la interacción entre el daño en las vainas y la defoliación en el campo. Como se describió previamente, las vainas sufrieron daños en la etapa de desarrollo R4. (Fehr y otros, 1971). Al mismo tiempo, se realizó una defoliación artificial retirando manualmente 0, 1/2 o 1/4 del folíolo central de todas las hojas de la planta utilizando tijeras (Gazzoni y Moscardi, 1998), correspondiente a cada nivel de defoliación. Este procedimiento se realizó en todas las hojas de todas las plantas de las filas centrales de cada réplica (Batistela y otros, 2012). Se realizó defoliación de las hojas nuevas a intervalos semanales hasta alcanzar la etapa reproductiva de la planta R7 (Fehr y otros, 1971), ya que se utilizó un cultivar indeterminado (Batistela y otros, 2012). La lesión de vainas se realizó solo una vez durante la etapa reproductiva de la planta R4. Se adoptó la técnica de un solo día para facilitar el procedimiento, ya que no se marcaban las vainas ni se reconocían las nuevas cada semana.

Durante la temporada de cultivo 2018-2019, el estudio se llevó a cabo con un diseño experimental en bloques al azar, probando cuatro niveles de remoción de flores (0%, 25%, 50% y 100%), con cinco réplicas (4 hileras de 4 m cada una). En la etapa de desarrollo R2 (Fehr y otros, 1971) Se registró el número total de flores en las dos filas centrales de cada réplica y se calculó el número de flores a eliminar según cada tratamiento. Posteriormente, se eliminó manualmente el número de flores necesario para cada tratamiento con pinzas. El daño floral se distribuyó aleatoriamente en las plantas, a partes iguales en las copas superior, media e inferior. Se utilizó la etapa reproductiva R2 por ser la que presenta el mayor número de flores (plena floración). (Fehr y otros, 1971) No logramos marcar el crecimiento de las plantas para reconocer nuevas flores cada semana, por lo tanto, la lesión se realizó solo en un día.

A pesar de no simular exactamente el comportamiento de alimentación de los insectos, el estudio es una contribución importante para comprender la tolerancia de la planta de soja a este tipo de estrés.

Para evitar la interferencia de insectos defoliadores, se aplicaron insecticidas semanalmente en las parcelas, utilizando un CO₂ Pulverizador de espalda presurizado (Herbicat[®], Catanduva, SP, Brasil) configurado para un volumen de pulverización de 150 litros ha⁻¹. Adicionalmente, se aplicaron herbicidas y fungicidas cuando fue necesario [dos aplicaciones de herbicidas entre la tercera y sexta semana después de la emergencia de las plantas, y tres aplicaciones de fungicidas en la etapa reproductiva de la planta, comenzando entre R1 y R2 (Fehr y otros, 1971), seguido de aplicaciones adicionales a intervalos de 20 a 30 días]. Estas aplicaciones se realizaron de manera uniforme sobre el área total de todos los tratamientos, incluida el área de control donde las plantas no resultaron dañadas.

En la cosecha, las dos hileras centrales de cada parcela se cosecharon y trillaron manualmente para su evaluación. Se registró el peso y el contenido de humedad de cada muestra (humidímetro G800, Gehaka Agri, São Paulo-SP, Brasil) y se estimó la productividad para una humedad de semilla del 13 %. Además del rendimiento, también se registró el peso de 1000 granos.

2.3. Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos a análisis exploratorio para verificar los supuestos de normalidad de los residuos (Shapiro y Wilk, 1965), homogeneidad de la varianza del tratamiento y aditividad del modelo (Burr y Foster, 1972) para permitir el ANOVA. Cuando se detectaron diferencias significativas, se identificaron mediante la prueba de Tukey con una probabilidad del 5% (SAS, 2009). El aborto de vainas (%) se calculó de la siguiente manera: Aborto de vainas (%) = 100 - (100 x número de vainas dañadas en la cosecha / número de vainas dañadas en R4). Dado que la identificación de las vainas con tinta de pluma no se mantuvo hasta la cosecha, no se midió el aborto de vainas en el tratamiento control.

3. Resultados

3.1. Estudios de alimentación en laboratorio de *Spodoptera eridania*

En el primer experimento de laboratorio, el tercer estadio de *S. eridania* Pudo alimentarse y desarrollarse en vainas de soja (de plantas en etapa R3). Sin embargo, la etapa larval se alargó un 37,7 % (27,4 días) en comparación con las larvas que se alimentaban de hojas (19,9 días). Tabla 1 Se observó una mortalidad del 100% en larvas al analizar vainas de plantas más maduras (estadios R5.1 y R5.5). Al comparar las larvas que se alimentaron de hojas con las que se alimentaron de hojas y vainas, la duración del estadio larvario fue similar en todos los estadios de la planta de soja analizados. Sin embargo, el tiempo (en días) para completar el estadio larvario fue mayor cuando las hojas o las hojas y vainas provenían de estadios de desarrollo de plantas más maduras, en comparación con los estadios de desarrollo de plantas más jóvenes. Tabla 1).

En el segundo experimento, en el que se individualizaron los neonatos en cada tratamiento, se registró una mortalidad del 100% cuando se administraron tanto vainas como vainas. + Se analizaron las flores. Cuando se ofrecieron vainas con hojas, la mortalidad larvaria fue menor y similar a la del tratamiento con dieta artificial (control). Tabla 1).

3.2. Daños artificiales en tejidos vegetales de soja en estudios de campo

En general, las plantas de soja toleraron todos los tipos e intensidades de lesiones evaluados sin reducir el rendimiento (Tablas 2-4). La tolerancia de las plantas incluyó la lesión de vaina más alta probada del 25%, durante la temporada de cultivo 2016/2017 (Tabla 2). Daños en las vainas en combinación con defoliación durante la temporada de cultivo 2017/2018 (Tabla 3) y la eliminación de flores durante la temporada de cultivo 2018/2019 (Tabla 4) también se toleraron sin reducir el rendimiento ni el peso de 1000 semillas. La intensidad de la lesión analizada alcanzó el 25 % de vainas perforadas, junto con el 16,7 % de defoliación en la etapa de desarrollo de la planta R4, o incluso el 100 % de eliminación de flores durante la etapa de desarrollo de la planta R2; las plantas lesionadas tuvieron el mismo rendimiento que las sanas. Tablas 3 y 4).

Número de vainas dañadas por cada 5,4 m² durante la temporada de cultivo de 2016/

Tabla 1

Spodoptera eridania características biológicas (temperatura de 25±2°C; humedad relativa de 70±10% y fotoperiodo luz/oscuridad 14/10 h).

Fuente de alimento de las larvas (etapa de planta)	Experimento 1 (BRS 388 RR) ¹ (Individualizado en cada tratamiento a partir del 3er estadio)		Experimento 2 (BRS 1001 IPRO) (Individualizado en cada tratamiento a partir de neonatos)	
	Larva duración (días)	Mortalidad (%)	Larva duración (días)	Mortalidad (%)
Hojas (R3)	19.9±0,1 días	56.7± 13.1b	19.69± 1.41a ^{nosotros}	43.3±8.8 b
Hojas + Vainas (R3)	19.9±0,1 días	53.4± 12.8b	20.02± 0.87	30.0±2.9 antes de Cristo
Vainas (R3)	27.4±0,2 a	48.5±7.7 b	Todos muertos	100.0± 0.0 a
Hojas + Flores (R3)	No probado	No probado	20.05± 1.12	36.7±8.8 b
Hojas + Vainas + Flores (R3)	No probado	No probado	20.41± 1.22	31.7±7.2 antes de Cristo
Vainas + Flores (R3)	No probado	No probado	Todos muertos	100.0± 0.0 a
Hojas (R5.1)	22.0±0,1 c	43.6± 14.2b	No probado	No probado
Hojas + Vainas (R5.1)	21.7±0,4 c	47.9±4.9 b	No probado	No probado
Vainas (R5.1)	Todos muertos	100.0± 0.0 a	No probado	No probado
Hojas (R5.5)	23.7±0,2 b	21.1±6.2 b	No probado	No probado
Hojas + Vainas (R5.5)	24.5±0,4 b	30.9±1.4 b	No probado	No probado
Vainas (R5.5)	Todos muertos	100.0± 0.0 a	No probado	No probado
Dieta artificial ²	No probado	No probado	16.31± 1.31	5.0±2,9 c
Estadística	CV (%)	1.83	17.46	10.75
	PAG	<0.01	<0.01	0,17
	F	126.81	19.02	1,99
	DFresidual	14	18	10

Medio (±SE) seguidos de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí mediante la prueba de Tukey ($P > 0,05$).^a ^{nosotros} ANOVA no significativo. ¹ Experimento realizado con todas las larvas alimentadas con vainas + hojas del cultivar de soja BRS 388 RR durante el primer y segundo estadio, cuando luego se cambió la dieta a diferentes tejidos vegetales. ² Dieta artificial previamente descrita en la literatura (Greene y otros, 1976).

En 2017, cuando las plantas se encontraban en la etapa de desarrollo R4, la incidencia de lesiones fue mayor en los tratamientos evaluados (15% de daño [25,2] vainas, 20% de daño [326,2] vainas y 25% de daño [388,6] vainas), en comparación con los tratamientos con 5% o 10% de daño [69,8] vainas y 135,2 vainas, respectivamente). Sin embargo, algunas de estas vainas dañadas presentaron abortos. El aborto de vainas desde la etapa R4 hasta la variedad de cosecha.

Tabla 2

Respuesta de la soja a diferentes niveles de daño artificial en las vainas, realizado durante la etapa reproductiva R4, en el grano apical de vainas seleccionadas al azar. Londrina, Paraná, Brasil (S 23°11'11,7"; W 51°10'46,1"), campaña agrícola 2016/2017.

Porcentaje de heridos vainas	R4		Cosecha			
	Número total de vainas/5,4 m ²	Número de vainas lesionadas/ 5,4 m ²	Número total de vainas/5,4 m ²	Aborto en cápsulas (%)	Rendimiento (Kg/ha)	Peso de 1000 semillas (g)
0	1605.6±165.1a ^{nosotros}	0.0±0,0 °C ¹	7572.0±383.2a ^{nosotros}	— ¹	4567.2± 384.5a ^{nosotros}	143.9±3.6a ^{nosotros}
5	1394.4±134.5	69.8±6.7b	7293.0±208.1	28.6±4.6a ^{nosotros}	4130.2±419.2	139.2±4.5
10	1351.2±226.3	135.2±22.6b	8437.8±833.2	33.5±6.0	4888.3±451.5	146.5±3.5
15	1701.4±206.9	255.2±31.0 a	7588.0±198.5	29.3±4.8	4531.5±481.3	143.6±6.2
20	1631.2±193.4	326.2±38,7 a	7079.6±421.4	31.9±4.3	4062.0±476.1	139.1±5.9
25	1554.0±171.0	388.6±42,8 a	7361.4±394.0	29.2±3.3	4061.1±470.1	138.9±5.5
Estadística	CV (%)	23.99	13.57	32.70	11.19	3.91
	PAG	0.63	<0.0001	0.41	0.07	0,18
	F	0,70	60.44	1.06	2.43	1.71
	DFresidual	20	20	20	20	20

Medio (±SE) seguidos de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí mediante la prueba de Tukey ($P > 0,05$) Cultivar de soja BRS 388 RR (grupo de madurez 6.4 y hábito de crecimiento indeterminado; cultivar Roundup Ready). ^a ^{nosotros} ANOVA no significativo ($P > 0,05$). ¹ Parámetro no evaluado.

del 28,6% al 33,5% sin diferencias entre los niveles de lesión (Tabla 2).

En la siguiente temporada de crecimiento (2017/2018), los resultados fueron similares para las vainas lesionadas, así como para las plantas con vainas lesionadas, junto con una defoliación foliar del 16,7%. No se observó interacción entre la defoliación y el daño a las vainas en relación con la capacidad de la planta para tolerar las lesiones. Además, incluso el 25% de daño a las vainas impuesto en la etapa R4 de la planta no resultó en un mayor aborto de vainas (%). El aborto de vainas lesionadas osciló entre el 22,8% y el 29,2% y no varió según la intensidad del daño. (Tabla 3).

Al eliminar las flores durante la temporada de cultivo 2018/2019, las plantas de soja toleraron todos los niveles de daño evaluados (25, 50 y 100 % de eliminación de flores en la etapa de desarrollo R2) sin reducir el rendimiento ni el peso de 1000 semillas. Curiosamente, incluso con una eliminación del 100 % de las flores solo una vez en la etapa R2, las plantas pudieron producir nuevas flores y obtener el mismo rendimiento con el mayor número de vainas por área (5114,2 vainas/3,6 m²).²) (Tabla 4).

4. Discusión

El manejo integrado de plagas en la soja se basa en la premisa de que las plantas de soja pueden tolerar una cierta cantidad de daño sin experimentar una pérdida de rendimiento económicamente relevante (Higley y Pedigo, 1996; Batistela y otros, 2012; Bueno y otros, 2013, 2021). A pesar de la alta tolerancia observada a diferentes factores de estrés, la respuesta de las plantas de soja a las lesiones puede variar según la intensidad de las lesiones, así como las lesiones sufridas en diferentes estructuras de la planta (Higley y Pedigo, 1996). Si bien la tolerancia de las plantas de soja a la defoliación se ha registrado ampliamente en la literatura a lo largo de los años (por ejemplo, Comienzo y Edén, 1965; Semilla de nabo, 1972; Fehr y otros, 1977; Hinson y otros, 1978; Fehr y otros, 1981; Pickle y Caviness, 1984; Hintz y otros, 1991; Higley, 1992; Gazzoni y Moscardi, 1998; Haile y otros, 1998; Junta y otros, 2010; Batistela y otros, 2012; Hayashida y otros, 2021), se ha prestado menos atención a la tolerancia de las plantas de soja a las lesiones en las vainas y las flores.

Las larvas de lepidópteros pueden causar defoliación, que es un daño menor y de menor importancia económica en comparación con el daño causado por las larvas que se alimentan de vainas y flores (Adams y otros, 2015; Reisig y otros, 2017). Por lo tanto, no solo es de gran interés teórico y práctico estudiar la tolerancia de las plantas a las lesiones en las vainas y flores, sino también la capacidad respectiva de las diferentes especies de insectos para dañar dichas estructuras vegetales. Si bien se sabe que *H. zea* se alimentan de todos los tipos de tejidos de plantas de soja (Reisig y otros, 2017) incluyendo vainas y flores (Eckel y otros, 1992a, 1992b), informes de agricultores de *Spodopteros* spp. dañando tanto las vainas como las flores (Bueno y otros, 2018; Conte y otros, 2019) no fueron verificados científicamente. En este estudio, se descubrió que las vainas y flores de soja no eran aptas como alimento para *S. eridania*, porque las larvas que se alimentaron exclusivamente de esas partes de la planta tuvieron mayor mortalidad y tiempos de desarrollo más largos que las que se alimentaron de follaje. Una duración prolongada del período larvario es una acción compensatoria para que una larva se recupere al alimentarse de un

Tabla 3

Respuesta de la soja a diferentes niveles de daño artificial en los folíolos centrales y el grano apical de vainas seleccionadas al azar, durante la etapa reproductiva R4. Londrina, Paraná, Brasil (S 23°-11'11,7"; WO 51°-10'46,1"), temporada de cosecha 2017/2018.

Porcentaje de daño a las plantas		R4		Cosecha			
		Número total de vainas/ 3,6 m ²	Número de vainas lesionadas/ 3,6 m ²	Número total de vainas/ 3,6 m ²	Aborto en cápsulas (%)	Rendimiento (Kg/ha)	Peso de 1000 semillas (g)
Herido vainas	0	2749.9±165.3a nosotros	0.0±0,0 °C ₁	5342.9±109.8a nosotros	— ¹	4616.0± 104.3a nosotros	154.6±2.2a nosotros
	15	3093.7±127.8	464.1±19.2b	5389.8±92.1	22.8±3.2a nosotros	4495.8± 191.3	154.1±2.1
	20	3154.9±146.0	627.5±28.8 a	5478.8±90.0	29.2±3.2	4444.0± 170.7	153.6±2.4
	25	2776.8±163.8	711.0±39,8 a	5475.1±100.6	28.3±2.4	4402.2± 139.4	152.9±1.5
Pérdida de hojas	0	3021.0±154.4a nosotros	451.4±71.8a nosotros	5433.6±93.4a nosotros	22.8±2.9a nosotros	4608.7± 140.9a nosotros	154.7±1.8a nosotros
	8.3	2900.6±113.5	458.3±77.8	5433.5±88.91	32.2±3.1	4543.8± 127.6	154.3±1.9
	16.7	2909.9±140.6	442.3±73.7	5397.8±72.7	25.1±2.6	4316.0± 121.8	152.4±1.6
Estadística	CV (%)	17.05	18.81	5.65	18.14	9.06	4.25
	PAGvainas dañadas	0.12	<0.0001	0.64	0.17	0.61	0.93
	PAGsefoliación	0,75	0.8678	0.93	0.06	0.12	0,58
	PAGvainas dañadas	0,19	0.0834	0.34	0,19	0,17	0.69
	* defoliación						
	Fvainas dañadas	2.10	168.39	0,57	1.93	0.62	0,15
	Fdefoliación	0,28	0.14	0.07	3.28	2.29	0,55
	Fvainas dañadas	1.57	2.07	1.18	1.66	1.63	0.66
	* defoliación						

Medio (±SE) seguidos de la misma letra en la columna (letra mayúscula) no difieren estadísticamente entre sí mediante la prueba de Tukey ($p > 0,05$) en el factor de pérdida de hojas. Cultivar de soja BRS 388 RR (grupo de madurez 6.4 y hábito de crecimiento indeterminado; cultivar Roundup Ready).a nosotrosANOVA no significativo ($P > 0,05$).¹Parámetro no evaluado.

Tabla 4

Respuesta de la soja a diferentes niveles de remoción de flores durante la etapa reproductiva R4. Londrina, Paraná, Brasil (S 23°-11'11,7"; WO 51°-10'46,1"), temporada de cosecha 2018/2019.

Flores eliminadas (%)		R2		Cosecha		
		Número de flores/3,6 m ²	Número de flores retiradas/3,6 m ²	Número total de vainas/3,6 m ²	Rendimiento (Kg/ha)	Peso de 1000 semillas (gramos)
0		3128.4±221.0a nosotros	0.0±0.0 días ₁	4616.4±162,9 b	2856.3±171.8a nosotros	125.9±1.4a nosotros
25		2948.8±168.7	737.4±42,0 °C	5015,8±182,1 a	3084.2±178.9	125.4±2.6
50		2921.6±152.2	1460.8±76.0 b	4933,8±84,2 a	3068.5±109.5	126.0±1.3
100		3136.2±324.0	3136.2±324,0 a	5114,2±103,8 a	2940.3±162.5	124.8±2.4
Estadística	CV (%)	14.53	11,81	4,52	9.17	2.32
	PAG	0.80	<0.0001	0.02	0,53	0.89
	F	0.34	202.10	4.69	0,78	0,21
	DFresidual	12	12	12	12	12

Medio (±SE) seguidos de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí mediante la prueba de Tukey ($P > 0,05$). Cultivar de soja BRS 1001 IPRO (grupo de madurez 6.2 y hábito de crecimiento indeterminado; Bcultivar de soja).a nosotrosANOVA no significativo ($P > 0,05$).

huésped de baja calidad y mejora la capacidad de la larva para alcanzar un mayor peso antes de la pupación (Behmer, 2009). Sin embargo, este mayor tiempo de desarrollo aumenta las tasas de mortalidad de las larvas por factores bióticos y abióticos, lo que se describe en la literatura como “la hipótesis del crecimiento lento y la alta mortalidad” (Chen y Chen, 2018).

En general, *S. eridania* Las larvas se desarrollan más rápido al alimentarse de tejidos vegetales jóvenes y solo pudieron alimentarse y desarrollarse en las vainas en la etapa reproductiva temprana (R3). Esto probablemente se deba a que los tejidos maduros son más difíciles de consumir y aportan menos nutrientes. Coley y otros, 2006 Se ha informado que el rendimiento de los lepidópteros durante la alimentación se ve afectado por las características físicas de la planta y su tejido, como la dureza, el tamaño, la forma y la textura (Slansky Jr. y Rodríguez, 1987; Bruce y otros, 2005; Perkins y otros, 2010). Los tejidos vegetales difieren considerablemente entre las etapas R3 y R5.5 de las plantas. Además, las larvas recién nacidas tienen mandíbulas rudimentarias, lo que puede limitar su capacidad para alimentarse de alimentos más duros. Lincoln y otros, 1993). Además, un mayor grosor cuticular y la presencia de tricomas pueden afectar negativamente la alimentación de pequeños insectos, principalmente en el primer estadio, al reducir su capacidad de movimiento (Gastón y Reavey, 1991; Vendramin y Guzzo, 2009). Esto probablemente

explica la mayor mortalidad de los neonatos, cuando se los prueba en vainas, en comparación con las larvas del tercer estadio, que sobrevivieron a la alimentación en vainas en una etapa temprana de desarrollo.

Es importante considerar que los herbívoros enfrentan muchos desafíos con respecto a la selección de la dieta, ya que las hojas tienen una variedad de defensas químicas y físicas y son muy bajas en proteínas en comparación con las semillas o las frutas. Mattson, 1980 El contenido de carbohidratos y proteínas es importante para el desarrollo de los insectos y puede variar según el tejido huésped de la planta y su etapa fenológica. Las hojas más jóvenes generalmente presentan mayores concentraciones de proteínas. Mattson, 1980; Lincoln y otros, 1993). Las vainas más jóvenes pueden ofrecer mayores concentraciones de carbohidratos (Liu y otros, 2004). Esto podría explicar las observaciones de campo reportadas por los productores de que *Espodopteros* spp. puede eventualmente causar daño a las vainas de soja (Bueno y otros, 2018).

A pesar de que los resultados de nuestra investigación indican que *S. eridania* No es un alimentador común de vainas y flores, los resultados de tolerancia de las plantas, especialmente con respecto a las lesiones en las vainas, también pueden considerarse importantes, con la precaución necesaria, para otros alimentadores de vainas, como diferentes especies del género. *Espodopteros* u otras especies de lepidópteros como *H. zea* Diferentes plagas

Las especies pueden causar daños a la misma estructura vegetal con diferente intensidad. A pesar de estas posibles diferencias, esta investigación ilustra un paso preliminar importante para determinar el EIL y la ET de los insectos que se alimentan de las vainas y flores de la soja.

Ni el 25% de daño a las vainas ni la eliminación del 100% de las flores redujeron el número de vainas en la cosecha, y los rendimientos resultantes fueron casi idénticos al control (sin daño). Al igual que en nuestro estudio, Smith y Bass (1972) No se reportó una reducción significativa del rendimiento de la soja con una remoción de vainas de hasta el 80% cuando se lesionó en R4 en el cultivar de soja 'Bragg'. Es importante destacar que, en ambos estudios, la soja sufrió lesiones en etapas reproductivas tempranas. Las etapas reproductivas tempranas de la soja son menos susceptibles a la pérdida de rendimiento causada por lesiones en las vainas en comparación con las etapas posteriores, especialmente con niveles de lesión bajos a moderados. La compensación por la pérdida de fruto en etapas reproductivas posteriores debería ser menor y requerir más tiempo en comparación con la pérdida de fruto que ocurre durante las etapas reproductivas tempranas. Thomas y otros, 1974; Adams y otros, 2015 Si bien es cierto que nuestra lesión de un solo día en las vainas no simuló perfectamente la alimentación natural de los insectos, se ha utilizado en la literatura y ha demostrado ser útil para comprender mejor la tolerancia de las plantas a las lesiones, ya que permite un mejor control de la intensidad de las lesiones en comparación con la infestación natural de insectos. La alimentación natural de los insectos ocurriría a lo largo de un periodo más progresivo en comparación con una lesión de vaina discreta, como se realizó en este estudio. Sin embargo, este estudio de lesiones de un solo día permite determinar la tolerancia de las plantas o la reducción del rendimiento debido a la lesión en una etapa de desarrollo determinada.

El número de vainas producidas por una planta de soja suele estar directamente relacionado con el número de flores producidas y la proporción de flores que se convierten en vainas. Por lo tanto, se espera que el rendimiento esté relacionado con el número de flores (Domínguez y Hume, 1978) o inversamente relacionada con el porcentaje total de abortos de flores y vainas (Brevedan y otros, 1978; Heitholt y otros, 1986). Sin embargo, las plantas de soja normalmente abortan entre el 30% y el 85% de los brotes florales que producen (Swen 1933; van Schaik y Probst 1958, Weibold et al., 1981). El aborto no solo es común en las flores de soja, sino también en las vainas de soja (Adams y otros, 2015; Reisig y otros, 2017). Ciertamente, el aborto de tejidos reproductivos de las plantas es mayor durante épocas de estrés vegetal, lo que puede ser causado por insectos (Dybing y otros, 1986; Egli 2005). Sin embargo, las plantas de soja tienen la capacidad de compensar si las vainas o flores son dañadas por plagas. Por lo tanto, la contribución de una flor o vaina individual al rendimiento total es desconocida y probablemente muy variable. Adams y otros, 2015; Reisig y otros, 2017). Además, podría producirse una sobrecompensación. Hicks y Pendleton (1969) Se observó que la eliminación de todos los brotes florales provocó un aumento significativo en el rendimiento de la soja en comparación con el control debido a la sobrecompensación del daño. Esto podría hacer que la relación entre el rendimiento y el daño sea aún más variable y compleja.

En general, la falta de reducción del rendimiento registrada en este estudio indica que el 25 % de daño en las vainas está por debajo del EIL para *Spodoptera eridania* Manejo, al menos en una etapa reproductiva temprana de la planta (R3-R4), y no se debe establecer una ET por debajo de este porcentaje. Además, la eliminación de flores en la etapa reproductiva R2 por *S. eridania* No se debe activar el manejo, ya que no se observó reducción en el rendimiento, incluso con el 100% de eliminación de flores. Es importante mencionar que la alimentación por insectos se considera una de las causas del retraso en la maduración de la soja, pero está más relacionada con los ataques de chinches hediondas. Harbach y otros, 2016). En este contexto, no se observó ninguna maduración retrasada en nuestros ensayos a pesar del nivel de daño simulado en las plantas.

Además, la ausencia de interacción entre la defoliación y el daño a las vainas indica que la ET general (Batistela y otros, 2012; Hayashida y otros, 2021) de 15% de defoliación durante la etapa reproductiva de la planta no necesita ajustarse para *Bt* Soja cultivada en Sudamérica. Sin embargo, es importante reconocer que no se observó una respuesta en el rendimiento con una defoliación de hasta el 25% en el presente estudio, lo que sugiere que la ET de defoliación del 15% es demasiado conservadora, especialmente considerando que la mayoría de los muestreadores de soja suelen sobreestimar los niveles de defoliación, lo que conlleva la aplicación innecesaria de insecticidas. Wilhelm y otros, 2000; Silva y otros, 2019). Los cultivares de soja indeterminados tienen frecuencia

producción de nuevas hojas, flores y vainas, lo que confiere a las plantas una capacidad compensatoria, incluso ante altos niveles de daño causado por insectos defoliadores (Hayashida y otros, 2021).

A pesar de cierta cautela requerida hacia los resultados aquí informados, debido a la etapa reproductiva temprana de la soja y las lesiones discretas en las vainas y flores utilizadas en nuestros ensayos, es importante mencionar que este es el primer estudio que informa el impacto de las lesiones en las plantas de soja por *Espodopteros* spp. mediante simulación de daño a flores y vainas. Por lo tanto, la ausencia de reducción del rendimiento a pesar del daño a las vainas con y sin defoliación sugiere que la ET del 25% de las vainas dañadas es totalmente suficiente para prevenir la pérdida de rendimiento. Estudios futuros deberían investigar las diferencias en el rendimiento entre cultivares de crecimiento determinante e indeterminado, evaluar el daño realizado durante un periodo prolongado para simular mejor la alimentación de los insectos, y también evaluar etapas reproductivas posteriores de la soja y diferentes cultivares de soja. El rendimiento de la soja está directamente relacionado con la capacidad de la copa para interceptar la luz después de la defoliación, lo que resulta en diferencias significativas en la ET entre cultivares. Haile y otros, 1998; Stacke y otros, 2018).

Los resultados que aquí se reportan también son importantes para mitigar el uso excesivo de insecticidas, especialmente para el control de *Espodopteros* especies en *Bt* La soja, que constituye uno de los mayores desafíos para una producción de soja más sustentable en América del Sur (Bueno y otros, 2018, 2021). Actualmente, la aplicación de insecticidas, sin considerar la ET, está provocando un desequilibrio ambiental, permitiendo aumentos poblacionales de plagas secundarias (Bueno y otros, 2013). Este estudio indicó claramente que no hubo impacto en el rendimiento debido a la intensidad de las lesiones simuladas en las vainas y las flores. Además, con base en los resultados de laboratorio, la capacidad de *S. eridania* Se espera que el daño a las vainas de soja se restrinja a las primeras etapas reproductivas de la soja (R3) y a los estadios larvarios posteriores (a partir del tercer estadio).

5. Conclusiones

Larva *Spodoptera eridania* Tuvieron un mejor desarrollo al alimentarse de hojas de soja. Si bien las larvas pueden alimentarse de las vainas de soja, su alimentación se limita a las larvas más viejas (a partir del tercer estadio) y a las primeras etapas reproductivas de la planta (estadio R3). La tolerancia de la planta de soja a las lesiones en las vainas y las flores es alta, incluso en la combinación de lesiones en las vainas y defoliación. Por lo tanto, una ET para *Spodoptera eridania* La ET del 25% de las vainas dañadas, así como la ET general de defoliación del 15% en la etapa reproductiva de la soja, son apropiadas y no se requiere ajuste de ninguna de las ET. Simulación de la eliminación de flores mediante *Spodoptera eridania* La alimentación no causó daños incluso cuando se eliminó el 100 % de las flores durante un solo evento en la etapa de desarrollo de la planta R2. Este resultado podría limitarse a cultivares de soja con hábito de crecimiento indeterminado, que pueden seguir produciendo nuevas flores y vainas para compensar las pérdidas previas.

Declaración de intereses en conflicto

Los autores declaran que no tienen ningún interés financiero en competencia conocido ni relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo presentado en este artículo.

Expresiones de gratitud

Este estudio fue financiado en parte por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (subvenciones CNPq 11470 y 302645/2018-7) y por la Fundación CAPES (88887.374211/2019-00). Este trabajo fue parcialmente financiado por el Proyecto Hatch, número de acceso 1019561, del Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura del USDA y la FAPED (proyecto 697).

Referencias

- Adams, BP, Catchot, AL, Cook, DR, Gore, J., Musser, FR, Irby, JT, Golden, BR El Impacto del daño simulado por el gusano cogollero del maíz (Lepidoptera: Noctuidae) en soja indeterminada J. Econ. Entomol. 108, 1072-1078.

- Andrews, G., Daves, C., Koger, T., Reed, J., Burdine, B., Dodds, D., Larson, E., Robbins, J., Catchot, A., Gore, J., Musser, F., Smith, J., Cook, D., Jackson, R., McKibben, P., 2009. Winters, S., Guías de control de insectos para algodón, soja, maíz, sorgo, trigo, batata y pastos, vol. 2471. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi, Publicación, pág. 64.
- Batistela, MJ, Bueno, AF, Nishikawa, MAN, Bueno, RCOF, Hidalgo, G., Silva, L., Corbo, E., Silva, RB, 2012. Reevaluación de los umbrales de consumo de láminas foliares para la toma de decisiones de MIP en soja de ciclo corto mediante defoliación artificial. *Crop Protect.* 32, 7–11.
- Begun, A., Eden, W.G., 1965. Influencia de la defoliación en el rendimiento y la calidad de la soja. *J. Econ. Entomol.* 58, 591–592.
- Behmer, S.T., 2009. Regulación de nutrientes en insectos herbívoros. *Annu. Rev. Entomol.* 54, 165–187.
- Bernardi, O., Sorgatto, RJ, Barbosa, AD, Domingues, FA, Dourado, PM, Carvalho, R. A., Martinielli, S., Head, GP, Omoto, C., 2014. Baja susceptibilidad de *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* y *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a soja genéticamente modificada que expresa la proteína Cry1Ac. *Crop Protect.* 58, 33–40. Board, J.E., Kumudini, S., Omelian, J., Prior, E., Kahlon, C.S., 2010. Respuesta de rendimiento de Soja a la defoliación parcial y total durante el período de llenado de la semilla. *Crop Sci.* 50, 703–712.
- Bortoli, L.C., Bertin, A., Efron, CFS, Botton, M., 2012. Biología y tabla de vida de fertilidad de *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) sobre fresa y vid. *Rev. Bras. Frutic.* 34, 1068–1073.
- Brevedan, RE, Egli, DB, Leggett, JE, 1978. Influencia de la nutrición con N en flores y vainas abortó y rendimiento de la soja. *Agron. J.* 70, 81–84.
- Bruce, TJA, Wadhams, LJ, Woodcock, CM, 2005. Ubicación del hospedador de insectos: un volátil Situación. *Tendencias Plant Sci.* 10, 269–274.
- Bueno, AF, Justus, CM, Pasini, A., 2018. Diferencias en el manejo. *Cultivos grandes.* Culturas 234, 22–25, 2018.
- Bueno, AF, Panizzi, AR, Hunt, TE, Dourado, PM, Pitta, RM, Gonçalves, J., 2021. Desafíos para la adopción del manejo integrado de plagas (MIP): el ejemplo de la soja. *Neotrop. Entomol.* 50, 5–20.
- Bueno, AF, Paula-Moraes, SV, Gazzoni, DL, Pomari, AF, 2013. Umbrales económicos Manejo integrado de plagas en soja: conceptos antiguos, adopción actual y adecuación. *Neotrop. Entomol.* 42, 439–447.
- Bueno, RCOF, Bueno, AF, Moscardi, F., Parra, JRP, Hoffmann-Campo, CB, 2011. Consumo de follaje de soja por larvas de lepidópteros: base para el desarrollo de umbrales económicos para múltiples especies en la toma de decisiones sobre el manejo de plagas. *Pest Manag. Sci.* 67, 170–174.
- Burr, JW, Foster, LA, 1972. Una prueba de igualdad de varianzas, Serie Mimeo N°282. Universidad de Purdue, West Lafayette, pág. 26.
- Capinera, JL, 2005. Gusano cogollero del sur, *Spodoptera eridania* (Cramer) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Universidad de Florida. Pub. No. EENY-106.
- Chen, K.W., Chen, Y., 2018. Insectos de crecimiento lento y alta mortalidad: un metanálisis para insectos. *Insect Sci.* 25, 337–351.
- Coley, PD, Bateman, ML, Kursar, TA, 2006. Los efectos de la calidad de la planta en la oruga Crecimiento y defensa contra enemigos naturales. *Oikos* 115, 219–228.
- Conte, O., Oliveira, FT, Harger, N., Corrêa-Ferreira, BS, Roggia, S., Prando, AM, Possamai, EJ, Reis, EA, Marx, EF, 2019. Resultados del Manejo Integrado de Plagas de la Soja en la cosecha 2018/19 en Paraná. *Embrapa Soja, Londrina*, pág. 63 (Documentos 416).
- Domínguez, C., Hume, DJ, 1978. Floración, aborto y rendimiento de maduración temprana. Soja a tres densidades. *Agron. J.* 70, 801–805.
- Dybing, C.D., Ghiasi, H., Paech, C., 1986. Caracterización bioquímica del ovario de soja Crecimiento desde la antesis hasta la abscisión de los ovarios abortados. *Plant Physiol.* 81, 1069–1074.
- Eckel, CS, Bradley, JR, Van Duyn, JW, 1992a. Crecimiento y desarrollo de la soja Alteraciones causadas por la alimentación de *Helicoverpa zea* (Boddie). *Agron. J.* 84, 813–820.
- Eckel, CS, Bradley, JR, Van Duyn, JW, 1992b. Reducciones en el rendimiento de la soja y Calidad de la alimentación floral por el gusano cogollero. *Agron. J.* 84, 402–409.
- Edwards, O., Singh, K.B., 2006. Resistencia a las plagas de insectos: ¿qué tienen para ofrecer las verduras? *Euphytica* 147, 273–285.
- Egli, DB, 2005. Floración, cuajado de vainas y éxito reproductivo en soja. *J. Agron. Crop Sci.* 191, 283–291.
- EPPO, 2019. EPPO A1 Lista de plagas recomendadas para su regulación como plagas cuarentenarias. Organización Europea y Mediterránea para la Protección de las Plantas (EPPO). https://www.eppo.int/ACTIVIDADES/cuarentena_vegetal/Lista_A1 (Consultado el 16 de septiembre de 2021).
- EPPO, 2020. *Spodoptera frugiperda* detectada en el territorio norte de Australia. y la Organización Europea de Protección de las Plantas (OEPP). <https://gd.eppo.int/reporting/article-6749>. (Consultado el 16 de septiembre de 2021).
- Fehr, WR, Caviness, CE, Burmood, DT, Pennington, JS, 1971. Etapa de desarrollo descripciones de soja, *Glycine Max*(L.) Merrill. *Crop Sci.* 11, 929–931. Fehr, WR, Caviness, CE, Vorst, JJ, 1977. Respuesta de indeterminados y determinados Cultivos de soja a la defoliación y al corte de media planta. *Crop Sci.* 17, 913–917.
- Fehr, WR, Lawrence, BK, Thompson, TA, 1981. Etapa crítica del desarrollo de Defoliación de la soja. *Crop Sci.* 21, 259–262.
- Ganiger, PC, Yeshwanth, HM, Muralimohan, K., Vinay, N., Kumar, ARV, Chandrashekar, K., 2018. Aparición de la nueva plaga invasora, el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), en los campos de maíz de Karnataka. *India Curr. Sci.* 115, 621–623.
- Gaston, K.J., Reavey, D., 1991. Valladares G, Cambios en el hábito alimentario de las orugas crecer. *Ecol. Entomol.* 16, 339–344.
- Gazzoni, DL, Moscardi, F., 1998. Efecto de los niveles de defoliación en la recuperación del área foliar, en Rendimiento y características agronómicas de la soja. *Búsqueda. Agropecu. Brasil.* 33, 411–424.
- Goergen, G., Kumar, PL, Sankung, SB, Togola, A., Tamò, M., 2016. Primer informe de brotes del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidópteros, Noctuidae), una nueva plaga exótica invasora en África occidental y central. *PLoS One* 11 (10), e0165632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>.
- Greene, GL, Leppla, NC, Dickerson, WA, 1976. Oruga del frijol terciopelo: una crianza Procedimiento y dieta artificial. *J. Econ. Entomol.* 69, 487–488.
- Haile, FJ, Higley, LG, Specht, JE, Spomer, SM, 1998. Morfología de las hojas de soja y Tolerancia a la defoliación. *Agron. J.* 90, 353–362.
- Harbach, C.J., Allen, T.W., Bowen, C.R., Davis, J.A., Hill, C.B., Leitman, M., Leonard, B. R., Mueller, DS, Padgett, GB, Phillips, XA, Shneider, RW, Sikora, EJ, Singh, A. K., Hartman, G.L., 2016. Senescencia tardía en soja: terminología, actualización de la investigación y resultados de encuestas a productores. *Plant Health Prog.* 17, 76–83.
- Hayashida, R., Godoy, CV, Hoback, WW, Bueno, AF, 2021. ¿Son los umbrales económicos ¿Son las decisiones de MIP las mismas para cultivos de soja con bajo IAF en Brasil? *Pest Manag. Sci.* 77, 1256–1261.
- Heatherly, LG, 1999. Sistema de producción temprana de soja (SPS). En: Heatherly, LG, Hodges, H.F. (Eds.), *Producción de soja en el Medio Sur*. CRC Press, Nueva York, NY.
- Heitholt, JJ, Egli, DB, Leggett, JE, 1986. Características del aborto reproductivo en soja. *Crop Sci.* 26, 589–595.
- Herbert, D. A., Hull, C., Day, E., 2003. Biología y manejo del gusano cogollero del maíz en Soja. Extensión Cooperativa de Virginia, Blacksburg, VA, págs. 444–770. Hicks, DR, Pendleton, JW, 1969. Efecto de la eliminación de yemas florales en el rendimiento de soja. *Crop Sci.* 9, 435–437.
- Higley, LG, 1992. Nuevos conocimientos sobre la defoliación de la soja y sus implicaciones para Manejo de plagas. En: Copping, LG, et al. (Eds.), *Manejo de plagas en soja*. Elsevier Sci. Publ., Londres, págs. 56–65.
- Higley, LG, Pedigo, LP, 1996. El concepto EIL. En: Higley LG y Pedigo LP, *Economía Umbral para el Manejo Integrado de Plagas*. University of Nebraska Press, Lincoln, NE, págs. 9–21.
- Hinson, K., Nino, R.H., Boote, K.J., 1978. Características de los folíolos eliminados y rendimiento. Respuesta de la soja desfoliada artificialmente. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 37, 104–109.
- Hintz, RW, Beeghly, HH, Fehr, WR, Schneiter, AA, Hicks, DR, 1991. Soja Respuesta al corte de tallos y la defoliación durante el desarrollo vegetativo. *J. Prod. Agric.* 4, 585–589.
- Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), 2021. <https://www.isaaa.org/resources/publications/pocket/document/Doc-Pocket%20K16-2020.pdf>. (Consultado el 16 de septiembre de 2021).
- Kincade, RT, Laster, ML, Hartwig, EE, 1971. Lesión simulada en las vainas de soja. *J. Econ. Entomol.* 64, 984–985.
- Lincoln, DE, Fajer, ED, Johnson, RH, 1993. Interacciones entre plantas, insectos y herbívoros en Entornos con niveles elevados de CO₂. *Tendencias Eco. Evolución.* 8, 64–68.
- Liu, F., Jensen, CR, Andersen, MN, 2004. Efecto del estrés por sequía en los carbohidratos Concentración en hojas y vainas de soja durante el desarrollo reproductivo temprano: su implicación en la alteración del cuajado de vainas. *Cultivo de Campo. Res.* 86, 1–13.
- Mattson, W.J., 1980. Herbivoría en relación con el contenido de nitrógeno de las plantas. *Annu. Rev. Ecol. Sistema* 11, 119–161.
- McAlister, DF, Krober, OA, 1958. Respuesta de la soja a la eliminación de hojas y vainas. *Agron. J.* 50, 674–677.
- McPherson, RM, Moss, TP, 1989. Respuesta de la soja al maíz natural y simulado. Lesión en las vainas causada por gusanos cogolleros (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 82, 1767–1772. Montezano, DG, Sosa-Gómez, DR, Paula-Moraes, SV, Roque-Specht, VF, Fronza, E., Barros, NM, Specht, A., 2015. Desarrollo inmaduro de *Spodoptera dolichos* (fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotrop. Entomol.* 45, 22–27. Montezano, DG, Specht, A., Sosa-Gómez, DR, Roque-Specht, VF, Barros, NM, 2014. Etapas inmaduras de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae): parámetros de desarrollo y plantas hospedantes. *J. Insect Sci.* 14, 1–11.
- Montezano, DG, Specht, A., Sosa-Gómez, DR, Roque-Specht, VF, Barros, NM, 2013. Potencial biótico y parámetros reproductivos de *Spodoptera eridania* (Stoll) (Lepidoptera, Noctuidae) en el laboratorio. *Rev. Bras. Entomol.* 57, 340–346.
- Montezano, DG, Specht, A., Sosa-Gómez, DR, Roque-Specht, VF, Barros, NM, Paula-Moraes, SV, Peterson, JA, Hunt, TE, 2019. Parámetros de desarrollo de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en etapas inmaduras bajo condiciones controladas y estandarizadas. *J. Agric. Sci.* 11, 76–89. Oerke, EC, 2006. Pérdidas de cultivos por plagas. *J. Agric. Sci.* 144, 31.
- Parra, JRP, Coelho Jr., A., Cuervo-Rugno, JB, García, AG, Moral, RA, Specht, A., Dourado Neto, D., 2021. Especies importantes de plagas de la *Espodopteros* complejo: biología, requerimientos térmicos y zonificación ecológica. *J. Pest. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01365-4>.
- Pedigo, LP, Hutchins, SH, Higley, LG, 1986. Niveles de daño económico en teoría y práctica. *Annu. Rev. Entomol.* 31, 341–368.
- Perkins, LE, Cribb, BW, Hanan, J., Zalucki, MP, 2010. El movimiento y distribución de *Helicoverpa armigera* (Las larvas de Hubner en plantas de guisante se ven afectadas por la oviposición y la floración. *Bull. Entomol. Res.* 100, 591–598.
- Pickle, CS, Caviness, CE, 1984. Reducción del rendimiento por defoliación y corte de plantas Soja determinada y semideterminada. *Agron. J.* 76, 474–476. Pogue, GM, 2002. Una revisión mundial del género *Espodopteros* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). *Mem. Am. Entomol. Soc. Filadelfia* 43, 1–202.
- Reisig, D., Suits, R., Burrack, H., Bachele, J., Dunphy, J.E., 2017. ¿La florivoría por ¿*Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) causa pérdida de rendimiento en la soja? *J. Econ. Entomol.* 110, 464–470.
- Santos, KB, Meneguim, AM, dos Santos, WJ, Neves, PMOJ, dos Santos, RB, 2010. Caracterización de los daños *Spodoptera eridania* (Cramer) y *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) a estructuras de algodón. *Neotrop. Entomol.* 39, 626–631.
- SAS Institute, 2009. Guía del usuario de SAS: Estadística, versión 8e. SAS Institute, Cary, NC.
- Shapiro, SS, Wilk, MB, 1965. Una prueba de análisis de varianza para normalidad (completa muestras). *Biometrika* 52, 591–611.

- Silva, DM, Bueno, AF, Andrade, K., Stecca, CS, Neves, PMOJ, Oliveira, MCN, 2017. Biología de *Spodoptera eridaniay* *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae) en diferentes plantas hospedantes. Fla. Entomol. 100, 752–760.
- Silva, LA, Bressan, PO, Diogo Nunes Gonçalves, DN, Freitas, DM, Machado, BB, Gonçalves, WN, 2019. Estimación de la defoliación foliar de soja mediante redes neuronales convolucionales e imágenes sintéticas. Computer. Electron. Agric. 156, 360–368. Slansky Jr., F., Rodriguez, J.G., 1987. Ecología nutricional de insectos, ácaros, arañas y Invertebrados relacionados: una visión general. En: Slansky Jr, F., Rodriguez, JG (Eds.), Ecología nutricional de insectos, ácaros, arañas e invertebrados relacionados. J. Wiley, Nueva York, págs. 1–69.
- Smith, RH, Bass, MH, 1972. Relación entre la eliminación artificial de vainas y el rendimiento de la soja. J. Econ. Entomol. 65, 606–608.
- Spark, soja BIP, 2021. *Genere decisiones más inteligentes*, Valinhos, SP, Brasil, 2021. <http://spark-ie.com.br>.
- Stacke, RF, Arnemann, JA, Rogers, J., Stacke, RS, Strahl, TT, Perini, CR, Dossin, M. F., Pozebon, H., Cavallin, LA, Guedes, JVC, 2018. Evaluación de daños de *Helicoverpa armigera* (Lepidópteros: Noctuidae) en etapas reproductivas de la soja. Crop Protect. 112, 10–17.
- Stern, V., Smith, R., Van Den Bosch, R., Hagen, K., 1959. El concepto de control integrado. Hilgardia 29, 81–100.
- Swen, M.S.D., 1933. Factores que afectan la caída de las flores en la soja. Doctorado, Universidad de Champaign de Illinois, Illinois.
- Tay, WT, Gordon, KHJ, 2019. Globalización: conocimientos genómicos sobre las invasiones de insectos. Opinión actual. Insect Sci. 31, 123–130.
- Tepa-Yotto, GT, Gouwakinnou, GN, Fagbohoun, JR, Tamò, M., Sæthre, M.-G., 2021. Exploración del horizonte para evaluar el potencial bioclimático de las especies exóticas *Spodoptera eridaniay* sus parasitoides tras la detección de plagas en África Occidental y Central. Pest Manag. Sci. 77, 4437–4446.
- Thomas, GD, Ignoffo, CM, Biever, KD, Smith, DB, 1974. Influencia de la defoliación y Efecto del desgrane sobre el rendimiento de la soja. J. Econ. Entomol. 67, 683–685.
- Turnipseed, SG, 1972. Respuesta de la soja a las pérdidas de follaje en Carolina del Sur. J. Econ. Entomol. 65, 224–229.
- van Schaik, PH, Probst, AH, 1958. Efectos de algunos factores ambientales en las flores. Producción y eficiencia reproductiva en soja. Agron. J. 50, 192–197. Vendramim, JD, Guzzo, EC, 2009. Resistencia de las plantas y bioecología y nutrición de Insectos, págs. 1055–1106. En: Panizzi, AR, Parra, JRP, Org. (Eds.), Bioecología y nutrición de insectos: bases para el manejo integrado de plagas. Brasília, Embrapa, pág. 1164.
- Wilhelm, WW, Ruwe, K., K., Schlemmer, MR, 2000. Comparación de tres áreas foliares Medidores de índice en un dosel de maíz. Crop Sci. 40, 1179–1183.