

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE DEFOLIACIÓN MECÁNICA Y CAUSADOS
POR *Rachiplusia nu* EN EL RENDIMIENTO DE SOJA**

por

Guillermo BEASLEY LOMAZZI

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2024**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Silvana Abbate

Director/a:

Lic. Biol. (PhD.) Ximena Cibils

Tribunal:

Lic. Biol. (Dra.) Gabriela Murúa

Ing. Agr. (Dr.) Sebastián Mazzilli

Fecha: 9 de diciembre de 2024

Estudiante:

Guillermo Daniel Beasley Lomazzi

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron y apoyaron durante este recorrido académico.

A Silvana, por su dedicación y guía como tutora de este trabajo final. Su apoyo y generosidad al compartir sus conocimientos marcaron una diferencia enorme en mi formación, por lo que siempre le estaré agradecido. A Ximena, quien como cotutora contribuyó con su experiencia y valiosos aportes, complementando este proceso de la mejor manera. Gracias a ambas por transformar este trabajo final en una etapa llena de aprendizajes y crecimiento.

A los miembros del tribunal de evaluación de esta tesis, Gabriela y Sebastián, por su disposición a leer este trabajo en una época tan cargada de actividades y realizar sus aportes.

A mis padres, hermana y a mi novia, por estar siempre a mi lado en cada etapa de la carrera, brindándome su incondicional apoyo, amor y paciencia.

A Melanie, Agustina y Milagros gracias por su valiosa ayuda en el trabajo de campo y en etapas de laboratorio.

Al Ing. Agr. Oscar Bentancur, del Dpto. de Estadística y Cómputos, por su colaboración en el análisis de datos, a Patricia Choca y Carol Guillemín de la Biblioteca EEMAC por su tiempo y disposición. A Maxi Minetto por su disposición el día de la defensa.

A mis amigos de la vida y de la carrera, por compartir tantas experiencias, aprendizajes y momentos inolvidables. Su compañía y amistad hicieron que este trayecto fuera mucho más enriquecedor.

Y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron al logro de este trabajo.

La realización de esta tesis fue posible gracias al apoyo de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) mediante el Fondo María Viñas: Estimación de la tolerancia del cultivo soja a la defoliación por lepidópteros con el objetivo de reducir las aplicaciones de insecticidas y promover un manejo más sustentable (#FMV_3_2022_1_172322).

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 IMPORTANCIA DE SOJA A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL	10
2.2 COMPLEJO DE DEFOLIADORAS EN SOJA.....	10
2.3 <i>Rachiplusia nu</i>	11
2.3.1 Descripción de la especie, biología y tipo de daño.	11
2.4 USO DE INSECTICIDAS, EFECTO EN EL AMBIENTE E IMPACTO SOBRE ENEMIGOS NATURALES.....	12
2.5 SOJA Bt.....	13
2.6 TOLERANCIA DE SOJA A LA DEFOLIACIÓN	13
2.6.1 Diferencia entre defoliación mecánica y natural.	14
2.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS	15
2.7.1 Objetivos específicos.....	15
2.7.2 Hipótesis.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 INSTALACIÓN DEL ENSAYO A CAMPO	16
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO.....	17
3.3 CRÍA DE LARVAS EN LABORATORIO	18
3.4 METODOLOGÍA Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	19
3.4.1 Momentos de defoliación evaluados.....	21
3.5 MEDICIONES	21
3.6 COSECHA.....	22
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DURANTE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO.....	26
4.2 EFECTO DEL ORIGEN DE LA DEFOLIACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO.....	26

4.3 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN V5.....	28
4.4 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN V10.....	29
4.5 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN R5.....	31
5. CONCLUSIONES.....	36
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1 <i>Descripción del procedimiento a campo</i>	18
Tabla 2 Categorías evaluadas según el porcentaje de defoliación logrado.....	23
Tabla 3 <i>Unidades experimentales (n) consideradas para los tratamientos evaluados en el objetivo específico 1</i>	23
Tabla 4 <i>Unidades experimentales (n) consideradas para los tratamientos evaluados en el objetivo específico 2</i>	24
Tabla 5 <i>Rendimiento (gramos/planta) según el momento y tipo de defoliación</i>	27
Tabla 6 Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en V5.....	29
Tabla 7 Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en V10.....	30
Tabla 8 Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en R5.....	33

Figura No.	Página
Figura 1 <i>Instalación del ensayo en el cultivo de soja en EEMAC</i>	17
Figura 2 Larvas de <i>Rachiplusia</i> nu mantenidas con dieta artificial y condiciones controladas en laboratorio.....	19
Figura 3 Larvas de <i>Rachiplusia</i> nu inoculadas en soja dentro de las jaulas de exclusión.20	
Figura 4 Defoliación mecánica efectuada en una planta de soja dentro de la jaula de exclusión.....	20
Figura 5 Escala visual de daño por defoliación	22
Figura 6 Precipitaciones y temperatura media del período evaluado y el promedio histórico (2002-2022)	26
Figura 7 Altura y follaje del cultivo en V10.....	31
Figura 8 Rendimiento en función de las categorías de defoliación en todos los estados fenológicos evaluados	34

RESUMEN

La soja aporta el 60% de la proteína vegetal que se consume en el mundo, siendo el principal cultivo estival sembrado en Uruguay. *Rachiplusia nu* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae) es una especie defoliadora frecuente en el cultivo, cuyos daños podrían repercutir en el rendimiento logrado debido a la reducción del área fotosintéticamente activa. Los objetivos de este trabajo fueron: a) Determinar si el efecto de la defoliación sobre el rendimiento del cultivo de soja varía entre el daño causado por larvas de *R. nu* y el corte mecánico. b) Cuantificar el rendimiento total, el número y peso de granos de plantas con diferentes niveles de defoliación realizadas por larvas de *R. nu* en distintos estados fenológicos. En la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”, se realizó en un cultivo de soja (GÉNESIS 6301) un experimento a campo desde noviembre 2023 a mayo 2024. Siguiendo un diseño completamente al azar, se colocaron jaulas de exclusión en plantas individuales, las cuales alcanzaron diferentes niveles de defoliación generados en distintos estados fenológicos (V5, V10 y R5) mediante infestación de larvas de *R. nu* o corte mecánico. La defoliación lograda se estimó visualmente y se consideraron testigo aquellas plantas que presentaron un máximo de 2% de daño. El origen de la defoliación (larvas o corte mecánico) no tuvo diferencias significativas en el rendimiento dentro de los rangos y momentos evaluados (46-60% en V5, o 21-45% en R5). Estos resultados validarían los umbrales de daño económico establecidos por trabajos previos realizados con cortes mecánicos, sugiriendo que no habría una respuesta específica de la planta frente a la herbivoría o a la simulación de esta mediante corte mecánico. En cuanto a los niveles de defoliación en el estado fenológico de V5, las plantas con un nivel de defoliación mayor al 45% presentaron un rendimiento menor en comparación a las plantas testigo, observando una pérdida de rendimiento del 22%. En V10 las plantas que registraron el máximo nivel de defoliación (80%), no presentaron diferencias de rendimiento con las plantas testigo. En R5, el número de granos fue inferior a partir del rango 10-20% de defoliación, mientras que el rendimiento fue menor a partir del rango 21-45%, en el cual la pérdida de rendimiento fue un 19%. Estos resultados ponen de manifiesto la elevada tolerancia del cultivo de soja cuando las condiciones hídricas no son restrictivas y justifican la necesidad de reducir el uso de insecticidas, promoviendo un manejo integrado y sostenible de plagas en el mismo.

Palabras Clave: lagarta medidora; *Glycine max*; tipo de daño; estado fenológico; manejo sostenible de plagas

ABSTRACT

Soybean provides 60% of the plant-based protein consumed worldwide and is the main summer crop grown in Uruguay. *Rachiplusia nu* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae) is a common defoliating pest in soybean crops, whose damage may affect yield due to the reduction of photosynthetically active leaf area. The objectives of this study were to: a) determine whether the effect of defoliation on soybean yield varies between damage caused by *R. nu* larvae and mechanical defoliation; b) quantify total yield, the number and weight of grains in plants subjected to different levels of defoliation caused by *R. nu* larvae at various phenological stages. A field experiment was conducted from November 2023 to May 2024 at the "Dr. Mario A. Cassinoni" Experimental Station on a soybean crop (GÉNESIS 6301). Following a completely randomized design, exclusion cages were placed on individual soybean plants, which reached different defoliation levels generated at different phenological stages (V5, V10, and R5) by infesting *R. nu* larvae or inflicting mechanical cutting with scissors. The achieved defoliation was visually estimated, and plants with a maximum of 2% defoliation were considered as controls. The origin of the defoliation (larvae or mechanical cutting) did not result in significant differences in yield within the evaluated ranges and timings (46–60% in V5 or 21–45% in R5). These results validate the economic injury thresholds established in previous studies using mechanical cuts, suggesting that there would be no specific response in plant yield to herbivory or its simulation through mechanical cutting. Regarding different levels of defoliation, at the V5 phenological stage, plants with defoliation levels greater than 45% showed reduced yield compared to control plants, having a yield loss of 22%. At V10, plants that experienced the maximum level of defoliation (80%) showed no yield differences compared to controls. At the R5, the number of grains was lower from the 10-20% defoliation range, while yield decreased from the 21-45% range, in which yield loss was 19%. These findings highlight the high tolerance of soybean crops to defoliation under non-restrictive water conditions and justify the need to reduce insecticide, promoting an integrated and sustainable pest management approach.

Keywords: soybean looper; *Glycine max*; damage type; phenological stage; sustainable pest management

1. INTRODUCCIÓN

La soja es el cultivo de verano que mayor área de siembra abarca en Uruguay. Además, es de los cultivos que presenta mayor daño generado por insectos plaga. *Rachiplusia nu* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae) afecta al cultivo durante todo su ciclo fenológico, que, junto a otros lepidópteros defoliadores, al alimentarse de las hojas, reducen la capacidad fotosintética de la planta. Su manejo presenta dificultad por diferentes motivos. Por un lado, *R. nu* tiene resistencia intrínseca a diferentes principios activos. Por otro lado, debido a que prefiere alimentarse en el estrato medio del canopeo, la llegada con insecticidas resulta errática. Por último y más recientemente, se ha registrado en el país poblaciones con tolerancia a la soja Bt, soja genéticamente modificada para la expresión de proteínas insecticidas que incluye a la especie como objetivo de control. Como resultado, se ha observado un aumento en la abundancia de individuos de esta especie en diferentes regiones del país, lo que ha provocado un incremento en el uso de insecticidas en el cultivo de soja. Este aumento en el uso de productos de síntesis química genera efectos no deseados en el medio ambiente y la salud humana, afectando particularmente a organismos no blanco presentes en los agroecosistemas. El cultivo de soja manifiesta una elevada capacidad para compensar el daño generado por la defoliación causada por insectos mediante diferentes mecanismos, como aumento en la tasa fotosintética de las hojas remanentes, el retraso en la senescencia y la aparición de hojas nuevas. La capacidad de compensar el daño varía según el estado fenológico y está influenciada por interacciones específicas entre insecto-planta, lo que determina, que la respuesta a un daño simulado mecánicamente difiera de la respuesta al daño real generado por las larvas. Demostrar la tolerancia del cultivo a la defoliación sería crucial para disminuir el uso de insecticidas en el cultivo, alentando a técnicos y productores a manejar cultivos con mayores porcentajes de daño. El objetivo general de este trabajo fue estimar la tolerancia del cultivo de soja a la defoliación causada por *R. nu*, con el fin de contribuir a la reducción en el uso de insecticidas incrementando la sostenibilidad económica y ambiental de agroecosistemas locales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTANCIA DE SOJA A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL

La producción mundial de granos de soja se ha casi duplicado en los últimos veinte años, registrando un incremento del 93% en el período 2002 al 2022 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022). Esto está relacionado al gran incremento en la demanda mundial debido a que se considera una excelente fuente de proteínas tanto para los animales como para los humanos, y también porque se utilizan para producir otros productos industriales como aceites, biodiésel, lubricantes y tintas (Chang et al., 2015).

El cultivo de soja comenzó a ganar relevancia en Uruguay a partir del aumento en la demanda mundial liderada por China. La suba de los precios internacionales, las inversiones extranjeras en el sector y el paquete tecnológico asociado a este cultivo generaron importantes aumentos en el área sembrada y en el rendimiento de los cultivos en el país (Uruguay XXI, 2022).

La superficie sembrada de soja en la zafra 22/23 se estimó en 1.009.899 hectáreas, significando un 82% del total de área sembrada con cultivos de verano y 54% del total de área sembrada con cultivos de secano en Uruguay (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023). En el contexto de las exportaciones nacionales, desde el 2009 la soja está entre los tres productos principales de exportación junto a la carne bovina y la celulosa. A raíz de ello, Uruguay se ha posicionado como el sexto exportador de soja del mundo (Uruguay XXI, 2022).

Diversos factores tanto abióticos como bióticos pueden afectar al rendimiento de soja, entre estos últimos se destaca el daño generado por los artrópodos plaga, que pueden generar en ciertas ocasiones mermas económicas. Dentro de este filo, los cultivos son afectados principalmente por lepidópteros defoliadores y hemípteros fitófagos (chinchas) (Zerbino, 2002) y en menor medida por trips y araña (Abbate, 2015). Una de las consecuencias de la expansión de la soja en Uruguay ha sido el incremento en el uso y la cantidad de insecticidas (Bruno, 2007) para contrarrestar el daño generado por los insectos fitófagos, generando efectos no deseados sobre el ambiente.

2.2 COMPLEJO DE DEFOLIADORAS EN SOJA

En los cultivos de soja en Uruguay, se encuentran comúnmente diversos lepidópteros, como *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae), *Chrysodeixis includens*

(Lepidoptera: Noctuidae) (Walker), *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) (Hübner), *Helicoverpa armígera* (Lepidoptera: Noctuidae) (Hübner), *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae) (Walker) y *Crociosema aporema* (Lepidoptera: Tortricidae) (Walsingham) (Cibils et al., 2023). Entre las mismas, el complejo de defoliadoras, compuesto principalmente por las medidoras (*R. nu* y *C. includens*) y *A. gemmatalis*, afecta al cultivo durante todo su ciclo y generalmente se presentan en alta densidad de poblaciones. El daño causado por estos insectos justifica en promedio entre dos y tres aplicaciones de insecticidas cada ciclo del cultivo en el país (Fernández et al., 2024).

Dentro de las especies del complejo de defoliadoras, *R. nu* se destaca actualmente debido a que su control presenta dificultad porque las larvas tienen preferencia por ubicarse en el estrato medio del canopy de soja, lo que dificulta la aplicación efectiva de insecticidas al alcanzar el umbral de daño económico (UDE) (Cibils et al., 2023). Además, *R. nu* muestra menor susceptibilidad a ciertos insecticidas en comparación con otras especies defoliadoras y desde la zafra de 2021, se han reportado daños de esta especie aún en soja Bt, tecnología que se emplea en nuestro país desde el año 2012 (Cibils et al., 2023).

2.3 *Rachiplusia nu*

Rachiplusia nu (Lepidoptera: Noctuidae), “lagarta del girasol” o “lagarta medidora”, es una especie polífaga, originaria de América del sur (Decker-Franco et al., 2023). Produce daño en los cultivos de soja, así como en otros cultivos de importancia comercial como girasol, alfalfa, lotus, entre otros, y, en Uruguay, es común en todo el territorio (Chiaravalle, 1996).

2.3.1 Descripción de la especie, biología y tipo de daño.

R. nu presenta un desarrollo holometábolo, con estados de huevo, larva, pupa y adulto, el cual presenta hábito nocturno (Martíarena et al., 2021). Los adultos presentan un primer par de alas de color castaño oscuro con una mancha de color plateado en el tercio inferior; y un segundo par de color ocre. La hembra ovipone entre 300 a 500 huevos aisladamente, en el envés de las hojas (Martíarena et al., 2021). Estos autores también sostienen que al eclosionar las larvas comienzan a desarrollarse alcanzando su tamaño máximo entre 20 a 25 días (35 mm). La cabeza de la larva es de color castaño y el cuerpo de color verde claro con líneas longitudinales blancas; presenta tres pares de patas verdaderas negras y tres pares de falsas patas en la parte posterior del cuerpo. Para desplazarse, la lagarta se arquea como “midiendo” la superficie (Martíarena et al., 2021).

Las larvas de esta especie poseen aparato bucal masticador y se alimentan de las hojas respetando las nervaduras, característica por la cual se puede distinguir la presencia de esta especie en los cultivos (Zerbino & Alzugaray, 1994). Los estadios larvales avanzados son los que provocan la mayor parte del daño, ya que consumen entre el 80-85% del total de follaje ingerido durante todo el desarrollo larval (Martiarena et al., 2021). Una larva de *R. nu* consume durante el periodo larval entre 100 y 110 cm² de hojas de soja (Board et al., 1994). Este daño provoca pérdida de área foliar y como consecuencia de ello reducción en la interceptación de luz y capacidad fotosintética, lo que acorta el período de llenado de granos (Board et al., 1994). Según Ruffinelli (1942), el ciclo completo desde huevo a adulto de esta especie es de 28 a 31 días, pudiendo cumplir varias generaciones en un mismo ciclo del cultivo de soja.

Las infestaciones de *R. nu* en soja pueden iniciarse a partir de mediados de diciembre y alcanzar los máximos niveles en enero y febrero en Argentina (Acosta-Parra et al., 2023; Aragón & Flores, 2006). La primera generación afecta alfalfa y otros cultivos en octubre-noviembre y a partir de diciembre se expanden a girasol y soja (Martiarena et al., 2021).

2.4 USO DE INSECTICIDAS, EFECTO EN EL AMBIENTE E IMPACTO SOBRE ENEMIGOS NATURALES

Las defoliaciones causadas por *R. nu* son motivo de numerosas aplicaciones de insecticidas en los cultivos de soja, cuyos controles resultan en ciertos casos erráticos. Esto, en cierta medida, se debe a la preferencia de las larvas por alojarse en el estrato medio del canopeo y a la tolerancia intrínseca de esta especie a diferentes principios activos del grupo de los piretroides: permetrina, cipermetrina y lambda-cialotrina (Acosta-Parra et al., 2023; Russo et al., 2012). Esto provoca que los productores tiendan a aumentar la dosis de insecticidas utilizadas y, en ciertos casos, opten por activos de mayor espectro de acción, los cuales además presentan mayor toxicidad. El incremento en el uso de insecticidas podría generar efectos negativos sobre la salud humana, los organismos no blanco (enemigos naturales y otros animales) y contaminar los diferentes compartimentos del ambiente (Ansari et al., 2014). De hecho, múltiples evidencias indican que la agricultura es una de las principales causantes de contaminación ambiental, debido al uso de agroquímicos (Altieri & Nicholls, 2020; Tiftonell et al., 2020; West et al., 2014).

La pulverización con insecticidas ha sido durante mucho tiempo una herramienta eficaz en la agricultura, logrando el control de las plagas y por lo tanto salvaguardando el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la gran adaptabilidad de los insectos ha dado

lugar a otra problemática asociada al surgimiento de poblaciones resistentes o tolerantes a diferentes insecticidas (Iftikhar et al., 2024). En este sentido, el aumento en el volumen pulverizado por unidad de área, acompañado de aplicaciones indiscriminadas y repetitivas de principios activos, han llevado al desarrollo de la resistencia a numerosos principios activos por parte de diferentes plagas (Ansari et al., 2014). Como consecuencia de ello, no solo se aumentan los costos de producción y los impactos ambientales, sino que se observan fallas en la efectividad de control (Ansari et al., 2014; Iftikhar et al., 2024).

2.5 SOJA Bt

Tradicionalmente, el control de *R. nu* en los cultivos de soja se basaba exclusivamente en el uso de insecticidas. A partir del 2012 se dispone en el país de variedades de soja Bt (nombre comercial Intacta®) que incluyen a *R. nu* como especie objetivo de control (Burger et al., 2017). La siembra de soja Bt, genéticamente modificada con expresión de proteínas insecticidas (Cry1Ac, evento MON 87701) de *Bacillus thuringiensis* para el control de insectos plaga ha sido creciente en la agricultura mundial (Burger et al., 2017), ocupando en Uruguay aproximadamente el 20% del área total sembrada con dicho cultivo (Abbate, 2022).

Durante la temporada 20/21, se registraron en Brasil, la presencia de larvas de lepidópteros alimentándose de soja Bt y se evidenció que *R. nu* era una de las especies que la dañaba (Horikoshi et al., 2021). Estos autores informan la primera evidencia de desarrollo de resistencia en poblaciones de esta especie, sugiriendo una disminución genética en la susceptibilidad a la proteína Cry1Ac. Otros investigadores registraron larvas de *R. nu* alimentándose de soja Bt en 12 localidades diferentes de Brasil, y constataron alto consumo foliar y baja mortalidad cuando las larvas fueron alimentadas con hojas de soja con el evento Cry1Ac en laboratorio (Nardon et al., 2021). En Uruguay, durante la zafra 21/22, se detectó la sobrevivencia de las larvas de poblaciones *Rachiplusia nu* a esta tecnología, recolectadas en distintas regiones del país (Cibils et al., 2023).

2.6 TOLERANCIA DE SOJA A LA DEFOLIACIÓN

La soja presenta diversos mecanismos de compensación a la defoliación, evitando la reducción de su capacidad de intercepción de luz. Algunos de ellos son el incremento de tasa fotosintética de las hojas remanentes, el retraso de la senescencia de las hojas y la aparición de hojas nuevas (Raza et al., 2021). Estos autores destacan que defoliaciones ligeras (10-15%) podría incluso aumentar el número de vainas y granos, incrementando el

rendimiento final del cultivo. La capacidad de este cultivo de compensar el daño por defoliaciones, disminuye hacia estados fenológicos avanzados. En el estado fenológico de inicio de formación de semillas (R5), la planta logra su máxima altura, número de nudos y altura foliar, por lo que cualquier daño que afecte a partir de ese período, provocaría efectos marcados en el rendimiento debido a la imposibilidad de producir hojas nuevas (Szwarc & Vitti, 2017).

2.6.1 Diferencia entre defoliación mecánica y natural.

Los mecanismos de respuesta de las plantas a un daño varían según el origen del mismo, ya que los tejidos vegetales, por ejemplo, serían capaces de reconocer y discriminar entre un daño continuo sostenido por insectos defoliadores y un único evento producido por una herida mecánica (Mithöfer et al., 2005; Waterman et al., 2019). Esta podría ser una de las limitantes de varios de los UDE regionales, que son valores de referencia utilizados para determinar el momento del control químico, los cuales se calculan en base a cortes mecánicos.

La desventaja del daño mecánico utilizado para simular la defoliación real es que no activaría los mecanismos de respuesta específicos de la planta frente a la herbivoría. Estos mecanismos específicos incluyen la estimulación mecánica, las heridas causadas por los insectos y la posterior introducción de compuestos específicos de la saliva, que podrían ser el resultado de la coevolución entre las especies (Waterman et al., 2019). Debido a la diferencia inherente entre la herbivoría real y la defoliación artificial, los experimentos que utilizan simulaciones podrían no generar la misma respuesta que se observaría con una herbivoría verdadera (Waterman et al., 2019).

Estudios realizados simulando mecánicamente diferentes porcentajes de defoliación (0, 10, 20, 30, 40, 66 y 100) en diferentes estados fenológicos del cultivo, obtuvieron reducciones de rendimiento que oscilaron entre 5 y 80% (Álvarez, 2015; Bedino, 2013; Szwarc et al., 2018; Szwarc & Vitti, 2017; Thoreau, 2014). La tendencia observada fue que las mayores pérdidas de rendimiento resultaron en aquellos tratamientos que recibieron mayores niveles de defoliación en los estados reproductivos más avanzados (Álvarez, 2015; Bedino, 2013; Szwarc et al., 2018; Szwarc & Vitti, 2017; Thoreau, 2014). Debido a esto, a nivel de la región de América del Sur, los UDE establecidos para el control de lepidópteros defoliadores en soja, presentan gran disparidad (Acosta-Parra et al., 2023; Aragón & Flores, 2006; Bueno et al., 2013; Perotti & Gamundi, 2007). Ante la limitada información disponible generada a partir de defoliaciones reales causadas por *R. nu*, los

resultados de esta tesis aportarán información nacional para la actualización de los criterios y las decisiones de control. Se pretende contribuir a la reducción del uso de insecticidas y promover la sostenibilidad de agroecosistemas nacionales.

2.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS

2.7.1 Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Comparar la respuesta del cultivo de soja en términos de rendimiento a la defoliación causada por larvas de *Rachiplusia nu* en comparación con la defoliación mecánica.

Objetivo específico 2: Evaluar el efecto de diferentes niveles de defoliación generados por larvas de *Rachiplusia nu* en distintos estados fenológicos sobre el rendimiento del cultivo de soja y sus componentes: número y peso de granos.

2.7.2 Hipótesis

Hipótesis asociada al objetivo específico 1: La defoliación causada por larvas de *Rachiplusia nu* permite una mejor respuesta de la planta al daño, mostrando un rendimiento superior en comparación con el corte mecánico, debido a las respuestas específicas que la planta desarrolla frente a la herbivoría.

Hipótesis asociada al objetivo específico 2: Los diferentes niveles de defoliación impactan en el rendimiento de manera variable. La soja muestra menor tolerancia a la defoliación durante su fase reproductiva en comparación con la fase vegetativa, y se anticipan diferencias en el rendimiento a partir de porcentajes de defoliación más bajos que en etapas vegetativas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 INSTALACIÓN DEL ENSAYO A CAMPO

El experimento se instaló en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, Paysandú. Se realizó entre noviembre de 2023 y mayo de 2024 sobre un cultivo de soja, en el cual se delimitó un área de 30 m de largo por 24 m de ancho. La siembra se realizó el 20 de noviembre de 2023, con una densidad de 25 semillas por metro lineal, a una profundidad de 3 cm y un distanciamiento entre hileras de 0,5 m. La variedad sembrada fue GÉNESIS 6301, variedad de soja de grupo de madurez VI corto, resistente al herbicida glifosato, de muy alto potencial de rendimiento y hábito de crecimiento indeterminado (Ceretta et al., 2021). La fecha de emergencia del cultivo fue el 26 de noviembre del 2023. Se utilizó la escala de Fehr et al. (1971) para describir el desarrollo fenológico del cultivo.

Luego de la emergencia del cultivo, se instalaron jaulas de exclusión, en plantas individuales seleccionadas y distanciadas equitativamente. Las jaulas de exclusión fueron construidas con una estructura de malla de alambre de 1,20 m de alto por 1 m de ancho. Las mismas fueron recubiertas con una funda confeccionada con malla antiáfido blanca que en su extremo inferior tenían un borde de cuerina con precintos para ser ajustada en el momento de ser colocada. La tela presentaba en su extremo superior un cierre para abrir la jaula al momento de las inoculaciones o cortes mecánicos según el tratamiento correspondiente detallado a continuación. El cometido de las jaulas de exclusión fue impedir el ingreso de insectos durante la realización del experimento.

Las jaulas fueron colocadas a una distancia de 2,5 m entre planta y planta, cada tres surcos y cuando el cultivo se encontraba en el estado fenológico V1. Al momento de colocarlas, se ralearon plantas cercanas para que dentro de cada jaula se contara con una única planta de soja ubicada en el centro de la misma (Figura 1). Se verificó que cada planta estuviera sana y sin presencia de malezas en el interior, de lo contrario se procedió a quitarlas de manera manual. A cada una de las plantas seleccionadas para el ensayo, se le colocó a un costado una estaca de madera con el número de planta y tratamiento correspondiente para identificarlas fácilmente.

Figura 1

Instalación del ensayo en el cultivo de soja en EEMAC



Nota. a) vista aérea del ensayo a campo b) planta individual de soja dentro de una jaula de exclusión.

El manejo agronómico siguió las prácticas de manejo comercial en relación al uso de herbicidas. Dado el nivel de fósforo de suelo, no fue necesario el agregado de fertilizantes. No fue necesario el empleo de fungicidas. Se realizaron aplicaciones de insecticidas en el área general para controlar focos de arañuela y chinche en momentos puntuales en los cuales las larvas no se encontraban en las jaulas. Durante la estación de crecimiento del cultivo se registraron diariamente los datos de precipitación y temperatura media utilizando los datos obtenidos en la casilla meteorológica ubicada en la EEMAC.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo los objetivos específicos y con el fin de poner a prueba las hipótesis se siguió un diseño completamente al azar, evaluando un total de 144 unidades experimentales, considerando 12 procedimientos y 12 repeticiones de cada uno (Tabla 1). La unidad experimental correspondió a una planta de soja ubicada dentro de la jaula de exclusión. Los diferentes procedimientos variaron en cuanto al origen de la defoliación (larvas o mecánico), el momento de defoliación (V5, V10 y R5), y el número de larvas inoculadas (una, dos, cuatro y ocho). Se consideraron testigo aquellas plantas que no fueron ni inoculadas con larvas ni dañadas mecánicamente.

Tabla 1*Descripción del procedimiento a campo*

Procedimiento	Descripción	Repeticiones
1	Testigo sin defoliación	12
2	Una larva en V5	12
3	Dos larvas en V5	12
4	Dos larvas en V10	12
5	Cuatro larvas en V10	12
6	Cuatro larvas en R5	12
7	Ocho larvas en R5	12
8	50% defoliación mecánica en V5	12
9	80% defoliación mecánica en V5	12
10	50% defoliación mecánica en V10	12
11	80% defoliación mecánica en V10	12
12	35% defoliación mecánica en R5	12
Unidades experimentales totales		144

3.3 CRÍA DE LARVAS EN LABORATORIO

Para llevar a cabo la defoliación real, se utilizaron individuos provenientes de la cría de *Rachiplusia nu* mantenida en condiciones controladas ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$, $60\pm 5\%$ de humedad relativa, y a 14 horas de luz) en el laboratorio de entomología de la EEMAC. La cría fue iniciada a partir de adultos colectados en la trampa de luz de la Estación.

Los adultos fueron colocados en recipientes de plástico transparentes cubiertos con nylon film y telas de voile en el interior (sitio de oviposición) y alimentados con una solución conformada a base de miel y agua. Los huevos se traspasaban a recipientes de plástico de menor tamaño cubiertos con nylon film y permanecían allí hasta la eclosión. Cuando las larvas alcanzaban el tamaño adecuado, eran individualizadas en tubos de ensayo de vidrio de 50 ml y mantenidas con dieta artificial (Figura 2). Al alcanzar el estado de pupa se traspasaban a cajas de cría, donde se mantenían con humedad hasta la emergencia del adulto.

Figura 2

Larvas de Rachiplusia nu mantenidas con dieta artificial y condiciones controladas en laboratorio



3.4 METODOLOGÍA Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

La inoculación de larvas o el corte mecánico se realizó en tres diferentes momentos fenológicos: V5, V10 y R5 (Tabla 1). Se utilizaron larvas obtenidas de la cría que se encontraban en los estadios L3-L4. La cantidad de larvas utilizadas en cada tratamiento surgió de una estimación en ensayos de laboratorio la cual determinó que una larva de *R. nu*, en su tercer estadio larval (L3), consume una hoja trifoliada completa en una semana (X. Cibils, comunicación personal, 5 de setiembre, 2024).

Previo a la inoculación de las larvas en las plantas, las mismas fueron sometidas a un ayuno de 24 horas. Al momento de la inoculación, se abrieron los cierres de las fundas de cada jaula y se colocaron las larvas correspondientes según Tabla 1 cuidadosamente sobre los folíolos de la planta (Figura 3). En todos los momentos de inoculación las larvas permanecieron dentro de las jaulas durante una semana, en la cual se monitoreaba sobrevivencia y de lo contrario, dentro de las primeras 24 horas se repusieron con larvas de la cría, en condiciones de ayuno.

Figura 3

Larvas de Rachiplusia nu inoculadas en soja dentro de las jaulas de exclusión.



La defoliación mecánica consistió en cortar con tijeras parte de cada folíolo vegetal procurando alcanzar el porcentaje asignado para cada procedimiento (Tabla 1). Por ejemplo, cuando la defoliación correspondía a un 50%, se cortaban todos los folíolos presentes en la planta a la mitad (Figura 4). Se siguió este mismo criterio para todos los porcentajes de defoliación mecánica estipulados, realizando el corte mecánico en el mismo momento en el cual se inoculaban las larvas en los procedimientos correspondientes.

Figura 4

Defoliación mecánica efectuada en una planta de soja dentro de la jaula de exclusión.



3.4.1 Momentos de defoliación evaluados

Primer momento

Se llevó a cabo el 20 de diciembre del 2023, cuando el cultivo se encontraba en estado fenológico vegetativo correspondiente a V5. La inoculación se realizó en los procedimientos 2 (una larva) y 3 (dos larvas). El corte mecánico se efectuó en las plantas de los procedimientos 8 (50% de defoliación) y 9 (80% de defoliación).

Segundo momento

Se realizó el 8 de enero del 2024, cuando el cultivo estaba en estado fenológico vegetativo correspondiente a V10. La inoculación se efectuó en los procedimientos 4 (2 larvas) y 5 (4 larvas). El corte mecánico se realizó en los procedimientos 10 (50% defoliación mecánica) y 11 (80% defoliación mecánica).

Tercer momento

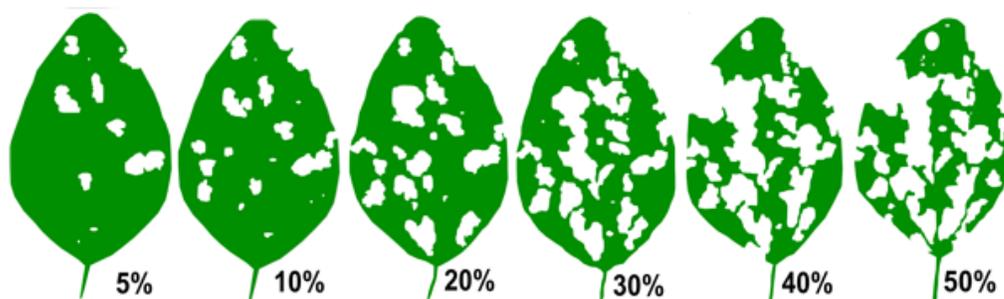
El 7 de marzo se realizó la última inoculación y defoliación mecánica, con el cultivo en el estado reproductivo de R5. Se colocaron larvas en los procedimientos 6 (4 larvas) y 7 (8 larvas). El corte mecánico se realizó en las plantas del procedimiento 12 (35% defoliación mecánica).

3.5 MEDICIONES

Para cada momento de inoculación/corte se estimó defoliación previa y se tomaron fotos desde un plano cenital de cada planta. Pasados los siete días, se retiraron las larvas y se estimó visualmente la defoliación realmente lograda. El procedimiento testigo (1) no fue sometido a cortes mecánicos ni inoculaciones de larvas. Para estimar defoliación se utilizó la escala visual de daño por defoliación de la Universidad de Nebraska-Lincoln (Figura 5). Para cada folíolo de la planta se estimaba el porcentaje de daño y se realizaba un promedio de todos los folíolos de la planta ponderado por el tamaño de cada uno. El 6 de marzo, cuando el cultivo se encontraba en estado fenológico R5, se midió la altura de todas las plantas.

Figura 5

Escala visual de daño por defoliación



Nota. Tomado de Ohnesorg & Hunt (2016).

3.6 COSECHA

Se llevó a cabo el 2 de mayo del 2024 cuando las plantas habían alcanzado la madurez fisiológica. Se cortó cada planta con tijera de podar desde la base del tallo principal, utilizando la misma jaula como “bolsa de cosecha” y se mantuvo la estaca junto a la planta. Finalizada la cosecha, se trasladaron todas las plantas hacia un invernáculo de la EEMAC. Cada planta individual fue colocada en una bolsa de arpillera junto a su etiqueta correspondiente (número de jaula y procedimiento) para ser secadas en estufa durante 48 horas. Posteriormente, se procedió con la trilla manual de cada planta, registrando número de granos total y peso de los mismos.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los tratamientos que fueron inoculados con larvas lograron una gama de porcentajes de defoliación muy variable incluso dentro de cada procedimiento. Por este motivo, para el análisis de los resultados los tratamientos evaluados se establecieron agrupando los rangos de defoliación efectivamente lograda en cada momento fenológico. Se establecieron seis categorías de defoliación (CD), con al menos cuatro datos en cada una, lo que permitió un análisis estadístico más preciso de los datos observados (Tabla 2). La categoría de defoliación 1 correspondió al tratamiento testigo, en el cual las plantas presentaron entre cero a 2% de defoliación máxima en algún momento del ciclo, las cuales se consideraron despreciables y debido a eventos no controlados. Se descartaron los datos obtenidos en plantas que presentaron defoliaciones fuera de los momentos de inoculación estipulada, probablemente asociados a la entrada no deseada de algún insecto fitófago a las jaulas.

Tabla 2

Categorías evaluadas según el porcentaje de defoliación logrado

Categoría de defoliación	Rango de porcentajes de defoliación (%)
1	0 - 2
2	3 - 9
3	10 - 20
4	21 - 45
5	46 - 60
6	61 - 80

Para comparar la respuesta del cultivo de soja en rendimiento, a la defoliación causada por larvas de *Rachiplusia nu* con la defoliación mecánica, se compararon las defoliaciones ocurridas por ambos orígenes de la categoría 5 (46-60%) en el estado fenológico V5 y de la categoría 4 (21-45 %) en el estado fenológico R5. Se seleccionó este set de datos con el objetivo de tener una muestra balanceada en cuanto al número de unidades experimentales evaluadas de cada tratamiento (Tabla 3). Se evaluó el rendimiento en función del tipo de daño analizando cada estado fenológico por separado mediante un modelo lineal utilizando el software estadístico RStudio.

Tabla 3

Unidades experimentales (n) consideradas para los tratamientos evaluados en el objetivo específico 1

Estado fenológico	Categoría de defoliación	Tipo de defoliación	n
V5	5 (46 a 60%)	<i>Rachiplusia nu</i>	10
		Mecánica	10
R5	4 (21 a 45%)	<i>Rachiplusia nu</i>	9
		Mecánica	9

El efecto de diferentes niveles de defoliación generados por *R. nu* en distintos estados fenológicos, se estudió sobre el rendimiento total y sus componentes: número de granos por planta y peso de los mismos. En los estados fenológicos vegetativos (V5, V10)

se lograron defoliaciones hasta la categoría 6, mientras que en el estado reproductivo de R5 la categoría máxima de defoliación alcanzada fue la categoría 4 (Tabla 4). Se utilizó el software estadístico RStudio adoptando un modelo lineal y se realizaron comparaciones post hoc utilizando el test de Tukey (Tukey, 1949) con un nivel de significancia del 5%, para evaluar diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 4

Unidades experimentales (n) consideradas para los tratamientos evaluados en el objetivo específico 2

Estado fenológico	Categoría de defoliación	n
V5	2 (3 a 9%)	4
	3 (10 a 20%)	6
	4 (21 a 45%)	9
	5 (46 a 60%)	11
	6 (61 a 80%)	9
V10	2 (3 a 9%)	12
	3 (10 a 20%)	4
	4 (21 a 45%)	7
	5 (46 a 60%)	11
	6 (61 a 80%)	9
R5	2 (3 a 9%)	13
	3 (10 a 20%)	6
	4 (21 a 45%)	9
Testigo	1	13

El modelo estadístico teórico utilizado para el análisis de los resultados fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : variable aleatoria observable

μ : parámetro, media general

τ_i : efecto relativo del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} : variable aleatoria no observable

Para ambos objetivos específicos, la variable aleatoria observada fue el rendimiento (gramos/planta), y en el caso del objetivo específico dos se consideró también el número total de granos por planta y el peso de los mismos. Estas variables de respuesta presentaron distribución normal y cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianzas. Los tratamientos variaron en función del análisis: para el objetivo específico 1 z_i correspondió con el i -ésimo tipo de defoliación evaluada (mecánica y causada por larvas), mientras que para el objetivo específico 2 z_i correspondió al efecto de la i -ésima categoría de defoliación (1-6), en cada uno de los tres estados fenológicos evaluados (V5, V10 y R5); ϵ_{ij} es el error experimental.

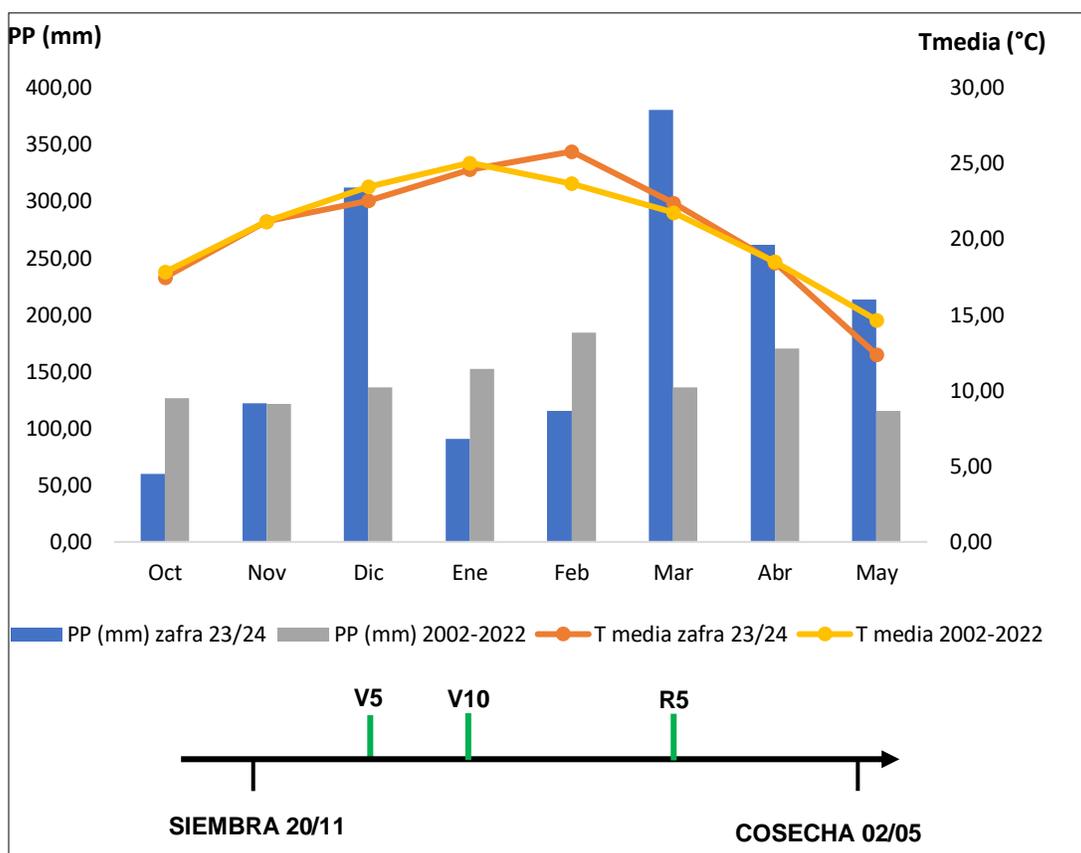
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DURANTE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO.

De acuerdo a los datos registrados por la casilla meteorológica de la EEMAC, la disponibilidad de agua no fue una limitante para el cultivo de soja en evaluación, ya que la misma estuvo por encima del promedio de los últimos veinte años y cubriendo los requerimientos durante todo el ciclo (Giménez, 2017). La temperatura media también se mantuvo dentro de los rangos óptimos reportados para la especie (Kantolic et al., 2003) por lo que tuvo condiciones favorables para su desarrollo y crecimiento (Figura 6).

Figura 6

Precipitaciones y temperatura media del período evaluado y el promedio histórico (2002-2022)



4.2 EFECTO DEL ORIGEN DE LA DEFOLIACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO.

No se registraron diferencias significativas en el rendimiento asociadas al origen de la defoliación (larvas/mecánico) dentro de las categorías evaluadas en V5 ($p=0,50$) y R5

($p=0,68$) (Tabla 5, Test de Tukey $p<0,05$). Estos resultados indican que al menos para variedades de crecimiento indeterminado y dentro de los rangos de defoliación en los dos momentos evaluados, la hipótesis planteada debe ser rechazada. La similitud en el rendimiento alcanzado entre plantas defoliadas por larvas y por tijera podrían indicar que el daño causado por *R. nu* no induciría una respuesta fisiológica asociada a algún mecanismo de tolerancia específico que determine una mejor performance de la planta en comparación a un corte mecánico.

Tabla 5

Rendimiento (gramos/planta) según el momento y tipo de defoliación

Estado fenológico	Categoría de defoliación	Tipo de defoliación	
		<i>Rachiplusia nu</i> ($\bar{x} \pm sd$)	Mecánica ($\bar{x} \pm sd$)
V5	5 (46 a 60%)	38,03 \pm 7,4 a	35,83 \pm 7,7 a
R5	4 (21 a 45%)	38,4 \pm 6,8 a	37,03 \pm 7,3 a

Nota. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$).

Ambas formas de defoliación en cada momento puntual parecen afectar de manera similar al cultivo, sin distinguir el origen del daño o sugiriendo que los mecanismos de compensación del rendimiento se activan de manera general ante cualquier tipo de defoliación. Este resultado permitiría validar los umbrales de daño regionales establecidos para larvas defoliadoras en el cultivo de soja basados a partir de estudios realizados simulando diferentes porcentajes de defoliación mediante cortes mecánicos realizados con tijera (Álvarez, 2015; Aragón & Flores, 2006; Bedino, 2013; Fernandes et al., 2022; Fontoura et al., 2006; Iannone, 2015; Nasca et al., 2000; Satorre et al., 2003; Szwarc et al., 2018; Szwarc & Vitti, 2017; Thoreau, 2014). Los trabajos realizados con corte mecánico presentan varias ventajas asociadas al ahorro en los costos asociados con la cría y el mantenimiento de las larvas de *R. nu*, y la certeza de llegar a los porcentajes de defoliación deseados. Además, no solo optimiza recursos, sino que también simplifica los procedimientos, ya que se abre un abanico de posibilidades al momento de establecer ensayos evaluando defoliaciones mayores, las cuales son difíciles de lograr porque las larvas se escapan, mueren o no logran las defoliaciones estipuladas.

Se ha reportado que las plantas tienen receptores específicos de las enzimas de la saliva de ciertas especies de larvas defoliadoras. La activación de estas vías metabólicas, desencadenarían mecanismos de compensación al daño que serían mayores a los generados por un daño mecánico (Mithöfer et al., 2005; Waterman et al., 2019). Otros autores plantean que la respuesta específica a la herbivoría implicaría un mayor costo energético en los mecanismos de compensación, lo que podría resultar en rendimientos similares o incluso inferiores en comparación con defoliaciones mecánicas (Belsky, 1986; Schwachtje & Baldwin, 2008). Los resultados de este trabajo deberían ser complementados por otras investigaciones en las cuales se exploren los mecanismos fisiológicos involucrados en la compensación del daño en el cultivo de soja. Se necesita más investigación para determinar si lo que acontece es que no existe tal respuesta adaptativa a la defoliación causada por *R. nu*, o, por otro lado, que esta efectivamente exista pero que implica altos costos energéticos y por lo tanto no tiene diferencias en comparación a la defoliación mecánica.

4.3 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN V5.

Cuando las defoliaciones se realizaron en el momento en el que las plantas presentaron 5 nudos completamente desarrollados (V5), se observa que recién a partir de la categoría de defoliación 5 (46-60%), tanto el rendimiento ($p=0,005$) como el número de granos ($p=0,003$) fue significativamente menor en comparación con las plantas testigo (menos de 2% de defoliación) (Tabla 6, Test de Tukey $p<0,05$). Esto es muy similar a lo reportado por Nasca et al. (1999), quienes afirman que desde V5 hasta el final de la etapa vegetativa el rendimiento de soja disminuye significativamente recién a partir del 50% de las hojas defoliadas. En contraste, Aragón y Flores (2006) y Satorre et al. (2003) sostienen que la soja puede tolerar generalmente un 25 a 35% de defoliación en etapas vegetativas sin pérdida de rendimiento, sugiriendo ese valor de tolerancia para toda la etapa vegetativa y para todos los cultivares de soja. Iannone (2015) reportó también un 30% como valor umbral, pero este autor lo propuso como criterio de decisión cuando el cultivo se encuentra en buenas condiciones hídricas y para cultivares pertenecientes al grupo de madurez VI. Los resultados obtenidos en el presente trabajo realizado en el litoral norte de Uruguay confirman que, ante buenas condiciones de disponibilidad hídrica, el cultivo de soja tiene una gran capacidad de tolerar el daño de defoliación, pudiendo perder aproximadamente la mitad de su superficie foliar, sin ver afectado su rendimiento. Estos resultados pondrían de

manifiesto que los bajos valores utilizados en la actualidad para decidir una aplicación deberían ser reconsiderados por los productores y asesores.

Tabla 6

Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en V5

Categoría de defoliación	N° granos (n/planta, $\bar{x}\pm sd$)	Peso/grano (g, $\bar{x}\pm sd$)	Rendimiento (g/planta, $\bar{x}\pm sd$)
1 (0-2%)	341 \pm 66,97 a	0,136 \pm 0,018 a	45,84 \pm 5,59 a
2 (3-9%)	360 \pm 96,64 ab	0,132 \pm 0,024 a	46,61 \pm 10,70 ab
3 (10-20%)	293 \pm 66,38 ab	0,142 \pm 0,0082 a	41,34 \pm 7,69 ab
4 (21-45%)	267 \pm 50,90 ab	0,151 \pm 0,011 a	40,33 \pm 6,86 ab
5 (46-60%)	245 \pm 61,73 b	0,147 \pm 0,015 a	35,59 \pm 6,95 b
6 (61-80%)	253 \pm 61,73 b	0,136 \pm 0,0094 a	35,02 \pm 9,39 b

Nota. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente (Test de Tukey, $p < 0,05$). R^2 Rend=0,28 R^2 N°granos=0,31 R^2 Peso=0,18

4.4 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN V10.

Cuando las plantas habían desarrollado diez nudos (V10), ninguna de las categorías de defoliación evaluadas (máximo 80%), presentaron diferencias estadísticas en el rendimiento o en sus componentes, en comparación con las plantas testigo (Tabla 7, Test de Tukey $p < 0,05$). Estos resultados indicarían que, en condiciones de buena disponibilidad hídrica, las variedades de crecimiento indeterminado admitirían como mínimo hasta un 80% de defoliación en este momento del cultivo para las condiciones evaluadas. Con estos resultados no es posible determinar si por encima de este porcentaje de daño se afecta o no al rendimiento.

Tabla 7

Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en V10

Categoría de defoliación	N° granos (n/planta, $\bar{x}\pm sd$)	Peso/grano (g, $\bar{x}\pm sd$)	Rendimiento (g/planta, $\bar{x}\pm sd$)
1 (0-2%)	341 ± 66,97 ab	0,136 ± 0,018 a	45,84 ± 5,59 ab
2 (3-9%)	275 ± 64,92 ab	0,152 ± 0,022 a	41,43 ± 9,09 ab
3 (10-20%)	367 ± 59,67 a	0,145 ± 0,0063 a	53 ± 7,98 a
4 (21-45%)	278 ± 64,21 ab	0,147 ± 0,011 a	40,75 ± 10,27 ab
5 (46-60%)	260 ± 45,50 b	0,145 ± 0,016 a	37,67 ± 7,61 b
6 (61-80%)	268 ± 39,66 ab	0,147 ± 0,0079 a	39,52 ± 6,20 ab

Nota. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$).

R^2 Rend=0,24 R^2 N°granos=0,31 R^2 Peso=0,11

Es importante considerar que las condiciones climáticas en la que se desarrolló el presente estudio, permitieron altas tasas de crecimiento y por lo tanto las plantas desarrollaron una elevada biomasa aérea, por lo cual, si bien se defolió un 80% de la planta, el follaje remanente podría haber sido capaz de seguir captando el máximo de radiación posible. Herbert et al. (1992) afirmaron que el rendimiento no se ve afectado por la defoliación en sí misma sino por el área foliar remanente luego de esa defoliación. Aunque el área foliar remanente no fue medida, se podría considerar que fue elevada debido a los valores de la altura de planta alcanzados en R5 (1,21m ± 0,13m) y el gran desarrollo de follaje observado (Figura 7). Estudios realizados por Nasca (2000) demostraron una mayor tolerancia de la soja a la defoliación hacia el final del período vegetativo, cuando el cultivo ya alcanzó una considerada biomasa aérea.

Los resultados obtenidos en este trabajo, no serían extrapolables a condiciones de crecimiento con déficit hídrico, en las cuales la capacidad de compensación del daño sería limitada, ya que la planta cerraría sus estomas en respuesta al estrés para evitar la pérdida de agua. En estas condiciones el daño foliar no solo afectaría la capacidad fotosintética de la planta sino incrementaría la pérdida de agua de la misma. Es importante también resaltar que las características de la variedad utilizada en este trabajo: hábito de crecimiento indeterminado y grupo de madurez VI corto, le otorgan una gran plasticidad, explicando probablemente los elevados porcentajes de defoliación tolerados sin generar mermas de rendimiento. Es de esperar que las variedades de ciclo corto o de crecimiento determinado

presenten menor tolerancia, tal como se refleja en los umbrales de daño propuestos por Perotti y Gamundi (2007).

La tendencia observada en la categoría 3, indica un rendimiento mayor (aunque no significativo) en comparación a otras categorías superiores o inferiores. Esto podría estar explicado porque ante condiciones de óptimo crecimiento durante el período vegetativo, el cultivo invierte una elevada cantidad de biomasa en la producción foliar, provocando un descenso en la cantidad y calidad de la luz interceptada en los estratos inferiores, reduciendo la cantidad de vainas fijadas en los nudos inferiores y el número de granos de las mismas, limitando por fuente el rendimiento alcanzado (Borrás et al, 2004). Una defoliación moderada en estas condiciones incrementaría la cantidad y calidad de la luz interceptada aumentando los rendimientos (Raza et al., 2021).

Figura 7

Altura y follaje del cultivo en V10



4.5 EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN EN R5

Los resultados obtenidos en jaulas que fueron defoliadas en el estado reproductivo de inicio de formación de semilla (R5) señalan que el número de granos fue significativamente menor en comparación con las jaulas testigo ($p=0,004$), a partir de la categoría 3 (10-20%), mientras que las diferencias significativas en rendimiento total se observan a partir de la categoría 4 ($p=0,009$; 21-45%) (Tabla 8, Test de Tukey $p<0,05$).

Estos resultados indicarían que en el rango del 10 al 20% de defoliación existiría una compensación mediante mayor peso de granos, que se observa como tendencia (aunque no estadística en el nivel de significancia usado). Esto coincide con la literatura que menciona la menor tolerancia a la defoliación en este estado fenológico, al tratarse del período crítico de determinación de rendimiento del cultivo, en el cual finaliza la aparición de nudos y la expansión foliar (Toledo, 2021).

Estos resultados obtenidos en el período reproductivo, permiten aceptar una de las hipótesis del objetivo específico 2, en la cual se planteó que, en este estado fenológico, se observarían diferencias en rendimiento ante porcentajes de defoliación más bajos que en los otros estados fenológicos. Por otro lado, también se confirmó, tal como planteaba la hipótesis, que existe un rango en el cual el menor número de granos causados por la defoliación sería compensado por un incremento en el peso de los mismos, en condiciones climáticas no limitantes. Fontoura et al. (2006) también reportaron que R5 es el estadio más crítico para la pérdida de área foliar.

Bedino (2013) obtuvo diferencias significativas en rendimiento a partir de 10% de defoliación en un cultivar de grupo de madurez V y de hábito de crecimiento indeterminado. Fernandes et al. (2022) evaluaron la defoliación en un cultivar GMVI de crecimiento indeterminado (como el de este trabajo) y obtuvieron que en este estado fenológico el umbral de defoliación debería ser 15%. Iannone (2015) propuso un valor umbral similar, de 15 a 20% de defoliación en R5 en grupos de madurez VI. Tanto Ohnesorg y Hunt (2015), como Álvarez (2015) también coinciden, sosteniendo que el valor umbral de defoliación que se debería utilizar en este estadio sería del 20%. Szwarc et al. (2018) y Szwarc y Vitti (2017) reportaron umbrales mayores al 30% de defoliación en este estadio, pero evaluaron cultivares de grupo de madurez 7 largos e indeterminados. Por lo tanto, el porcentaje de defoliación umbral obtenido en este trabajo es similar a los de otros autores que evaluaron cultivares parecidos, el mismo hábito de crecimiento y en condiciones de bienestar hídrico, y destaca la importancia de que los umbrales deben ser establecidos en base a su ciclo ontogénico, hábito de crecimiento y condición ambiental.

Tabla 8

Número de granos, peso de grano y rendimiento según categoría de defoliación en R5

Categoría de defoliación	N° granos (n/planta, $\bar{x} \pm sd$)	Peso/grano (g, $\bar{x} \pm sd$)	Rendimiento (g/planta, $\bar{x} \pm sd$)
1 (0-2%)	341 \pm 66,97 a	0,136 \pm 0,018 a	45,84 \pm 5,59 a
2 (3-9%)	313 \pm 61,50 ab	0,143 \pm 0,016 a	44,22 \pm 7,32 ab
3 (10-20%)	261 \pm 33,64 b	0,148 \pm 0,009 a	38,69 \pm 4,89 ab
4 (21-45%)	254 \pm 53,33 b	0,147 \pm 0,021 a	37,03 \pm 7,26 b

Nota. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$). R^2 Rend=0,25 R^2 N°granos=0,29 R^2 Peso=0,07

En el presente ensayo, los rendimientos promedios obtenidos por las plantas en evaluación fueron superiores a los que se obtendrían en un cultivo comercial, probablemente asociado a una mayor disponibilidad de recursos que dispuso cada planta debido al raleo de plantas realizado para poder colocar las jaulas al inicio del ensayo. La mayor disponibilidad de recursos ocurrió por igual en todas las unidades experimentales evaluadas, lo que garantiza que las comparaciones entre las diferentes categorías de defoliación evaluadas sean válidas.

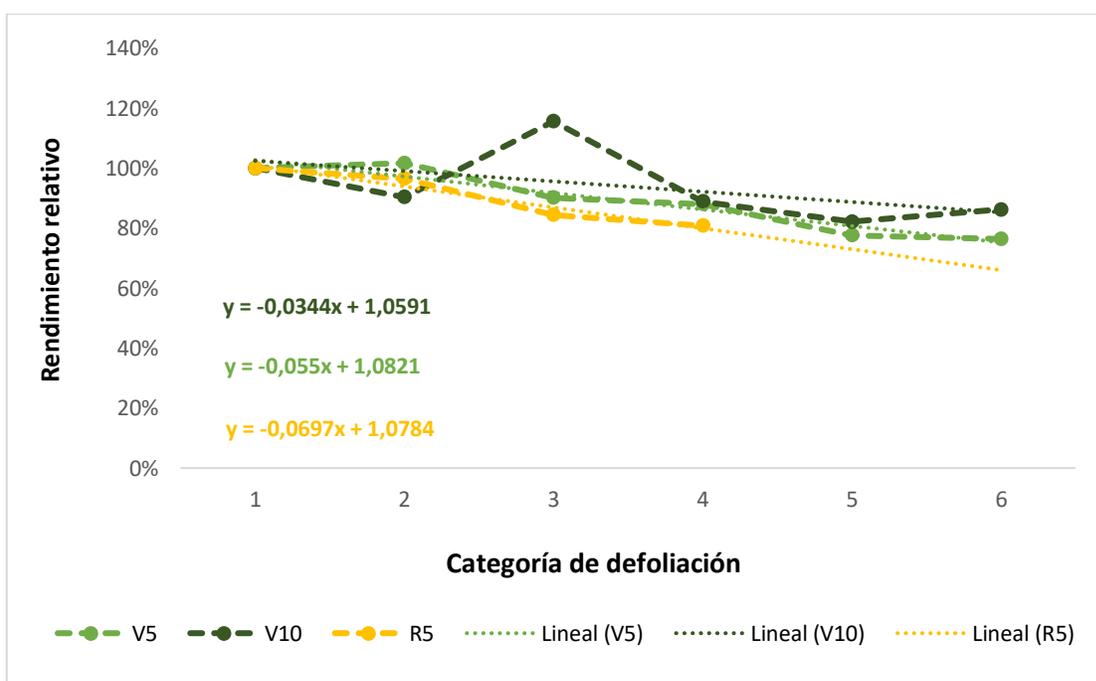
Los resultados obtenidos indican una disminución en el rendimiento a medida que se incrementó el nivel de defoliación en todos los estados fenológicos evaluados (Figura 8), con un elevado ajuste en V5 y R5. En V10 el ajuste con una ecuación lineal es bajo debido a un alto valor de rendimiento obtenido en la categoría de defoliación 3. Esto podría estar explicado por algún efecto confundido (alguna unidad experimental afectada por algún factor externo). Por otro lado, podría estar relacionado al hecho que, ante buenas condiciones de crecimiento, una defoliación moderada del canopeo, podría reducir la abundancia foliar y mejorar el rendimiento de la soja, al minimizar los efectos adversos del sombreado mutuo y aumentar la translocación de materia seca a las partes reproductivas de los estratos inferiores de las plantas (Raza et al., 2021).

Referido a otra de las hipótesis planteadas asociadas al objetivo específico 2, las diferentes respuestas encontradas entre niveles de defoliación mostraron la capacidad de las plantas en tolerar una determinada pérdida de área foliar sin pérdida de rendimiento en cada uno de los estados fenológicos evaluados. La soja muestra una notable capacidad de compensación en las etapas vegetativas tempranas (V5 y V10) ante defoliaciones leves a moderadas. Particularmente en V10 puede tolerar defoliaciones muy altas, cuando la

biomasa aérea foliar supera el índice de área foliar crítico de la especie (en el cual se intercepta el máximo porcentaje de la radiación incidente). Es decir, el área foliar remanente luego de la defoliación juega un papel importante en esta compensación y se observó hacia el fin de la etapa vegetativa, lo que pone en duda los umbrales genéricos para toda la etapa vegetativa. Sin embargo, las defoliaciones severas en V5 y moderadas que ocurren en fases reproductivas avanzadas (R5) resultan en mayores pérdidas de rendimiento, como era de esperar, debido a la limitada capacidad de la planta para compensar el daño, mediante la emisión de nuevas hojas.

Figura 8

Rendimiento en función de las categorías de defoliación en todos los estados fenológicos evaluados



La existencia de determinado rango de defoliaciones que no afectan negativamente al rendimiento, es un resultado que puede contribuir a la disminución de aplicaciones en los cultivos de soja, ya que, en nuestro país, tanto técnicos como productores, aún con UDE elevados en general no tienen tolerancia a ver sus cultivos dañados y ante defoliaciones bajas ya deciden aplicaciones de insecticidas. A escala comercial, es muy común que los criterios para realizar aplicaciones de insecticidas sean subjetivos de percepción de los agricultores, se utilicen aplicaciones programadas en calendario o aprovechen otras operaciones agrícolas como aplicaciones de herbicidas y/o fungicidas. Fomentar estos

resultados en actividades de extensión es crucial para disminuir la frecuencia de aplicaciones, así como pulverizaciones erróneas e innecesarias. Es un aporte más a la información de valores umbrales ya existentes, con la que cada productor, técnico o persona que esté a cargo de las decisiones de un establecimiento agropecuario puede contar. En este trabajo nos centramos en estudiar el efecto de la defoliación, pero es importante tener en cuenta que los umbrales de daño que se utilizan para decidir la necesidad de control químico, consideran no solo la defoliación, sino también la presencia de un determinado número de larvas vivas. La constatación de la presencia de larvas vivas en el cultivo es crucial para asegurarse que el daño observado no es viejo, y que las larvas continúan alimentándose de las hojas y no están controladas por algún regulador natural (hongos entomopatógenos, parasitoides o predadores).

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas del presente trabajo deben asociarse a las condiciones en las cuales se llevó adelante el mismo, dado que las mismas podrían condicionar la respuesta de la planta de soja a la defoliación. En este sentido, las condiciones hídricas no fueron limitantes para el crecimiento del cultivo y se utilizó una variedad de hábito de crecimiento indeterminado (ciclo de madurez VI corto), sembrada el 20 de noviembre, en Paysandú.

Ante dichas condiciones, el rendimiento de las plantas que tuvieron defoliación causada por larvas de *Rachiplusia nu* no presentó diferencias significativas con las plantas que fueron defoliadas de forma mecánica, utilizando tijera. Estos resultados indicarían que dentro de los rangos de defoliación evaluados, no existe una respuesta diferencial a la herbivoría que se traduzca en un mayor o menor rendimiento obtenido (ya sea por mecanismos de compensación específicos o por un coste energético adicional). La importancia de esta información generada a nivel nacional, radica en que los mismos permitirían validar los resultados obtenidos por estudios realizados mediante corte mecánicos a partir de los cuales se han sugerido diferentes umbrales de daño para definir aplicaciones en nuestra región. La mayor simplicidad de las evaluaciones mecánicas permitiría ampliar el estudio ante una gran y contrastante gama de condiciones.

Los resultados obtenidos reafirman la información generada en otros países de la región que determinan que el cultivo de soja es muy tolerante a la defoliación. La gran capacidad de compensación de la planta de soja, se maximiza hacia el final de la etapa vegetativa y se reduce en estados reproductivos. La capacidad de compensación de la defoliación es dependiente de las condiciones ambientales y en este caso no fueron una limitante. La información obtenida de este trabajo podría establecer umbrales de daño económico locales para el cultivo de soja en dichas condiciones, teniendo siempre en cuenta que además de la defoliación debe registrarse el número de larvas vivas (que no fue objeto de estudio en este trabajo). De acuerdo a los datos obtenidos, en V5 se podría aceptar hasta 45% defoliación; en V10 se podría aceptar como mínimo hasta 80% y en R5 se podría tolerar hasta un 20%. Estos resultados se obtuvieron en condiciones de óptimo crecimiento con una variedad de gran plasticidad debido al hábito de crecimiento indeterminado y su ciclo de madurez. Futuros estudios deberían realizarse en condiciones de déficit hídrico utilizando variedades de ciclo corto y de hábito de crecimiento determinado.

Estos hallazgos ponen en evidencia la elevada tolerancia del cultivo de soja cuando las condiciones hídricas no son limitantes para su crecimiento y justifican la necesidad de reducir el uso de insecticidas, promoviendo un manejo integrado y sostenible de plagas en los agroecosistemas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbate, S. (2015). *Eficacia de insecticidas en el control de Pentatómidos plaga en soja e impacto sobre organismos benéficos* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28100>
- Abbate, S. (2022). *Factores locales y de paisaje determinantes de la abundancia y riqueza de insectos plaga y artrópodos predadores en soja Bt y no Bt* [Disertación doctoral]. Universidad de la República.
- Acosta-Parra, L. G., Barrionuevo, M. J., Beccacece, H. M., Casmuz, A. S., Chalup, A. E., Drewniak, M. E., Fichetti, P. del C., Murúa, M. G., San Blas, G., & Vera, M. A. (2023). Orugas de lepidópteros de importancia agrícola en Argentina. En L. E. Claps, S. A. Roig-Juñent, & J. J. Morrone (Eds.), *Biodiversidad de artrópodos argentinos* (pp. 8-127). INSUE UNT.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47(5), 881-898.
<https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>
- Álvarez, F. (2015). *Incidencia de la defoliación artificial sobre el rendimiento del cultivo de soja (Glycine max (L.) Merrill)* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Ansari, M. S., Moraiet, M. A., & Ahmad, S. (2014). Insecticides: Impact on the environment and human health. En A. Malik, E. Grohmann, & R. Akhtar (Eds.), *Environmental deterioration and human health: Natural and anthropogenic determinants* (pp. 99-123). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_6
- Aragón, J., & Flores, F. (2006). *Control integrado de plagas en soja en el sudeste de Córdoba*. Agrositio. <https://www.agrositio.com.ar/noticia/105878-control-integrado-de-plagas-en-soja-en-el-sudeste-de-cordoba.html>
- Bedino, F. (2013). *Efecto de la defoliación artificial sobre el rendimiento y sus componentes en un cultivar de soja de ciclo intermedio* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Belsky, A. J. (1986). Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *The American Naturalist*, 127(6), 870-892. <https://www.jstor.org/stable/2461421>
- Board, J. E., Wier, A. T., & Boethel, D. J. (1994). Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling. *Agronomy Journal*, 86(6), 1074-1079.
<https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600060027x>
- Borrás, L., Slafer, G. A., & Otegui, M. E. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. *Field Crop Research*, 86(2-3), 131-146.

- Bruno, A. (2007). *Plaguicidas usados en el cultivo de soja: Evolución de su uso y estimación de su impacto ambiental*. RAP-AL. https://www.rapaluruway.org/sitio_1/agrotoxicos/Uruguay/Plaguicidas_soja.ppt
- Bueno, A. F., Paula-Moraes, S. V., Gazzoni, D. L., & Pomari, A. F. (2013). Economic thresholds in soybean-integrated pest management: Old concepts, current adoption, and adequacy. *Neotropical Entomology*, 42(5), 439-447. <https://doi.org/10.1007/s13744-013-0167-8>
- Burger, M., Bajsa, N., Evia, V., Artía, P., Bandeira, E., Taroco, L., Rosano, L., Rama, P., Franco Fraguas, L., Toledo, S., Galeano, P., Galván, G., Cauci, A., Martínez Debat, C., Oyhantçabal, G., & Barcia, M. (2017). *Cultivos transgénicos en Uruguay: Aportes para la comprensión de un tema complejo*. Universidad de la República. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32798>
- Ceretta, S., Sastre, M., Montaña, M., Rossi, C., Stewart, S., & Castro, B. (2021). Nuevas variedades de soja-INIA: GÉNESIS 6301 Y GÉNESIS 5401. *Revista INIA*, (66), 78-81. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16012/1/Revista-INIA-66-Setiembre-2021-19.pdf>
- Chang, W. S., Lee, H. I., & Hungria, M. (2015). Soybean production in the Americas. En B. Lugtenberg (Ed.), *Principles of plant-microbe interactions: Microbes for sustainable agriculture* (pp. 393-400). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3_41
- Chiaravalle, W. (1996). *Rachiplusia nu* (Gueneé) "lagarta del girasol". En C. Bentancourt & I. Scatoni (Eds.), *Lepidópteros de importancia económica: Reconocimiento, biología y daños de las plagas agrícolas y forestales* (pp. 99-106). Universidad de la República; Hemisferio Sur.
- Cibils, X., González, A., Pessio, M., Calistro, P., Rossi, C., Chiaravalle, W., Abbate, S., & Baráibar, N. (2023). Crónica del daño de la lagarta medidora (*Rachiplusia nu*) en soja Intacta®. *Revista INIA*, (72), 53-58. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17042/1/Revista-INIA-72-marzo-2023-15.pdf>
- Decker-Franco, C., San Blas, G., Balbi, E. I., Fichetti, P., Puebla, A. F., Toledo, A. V., & Arneodo, J. D. (2023). Genetic diversity of the polyphagous pest *Rachiplusia nu* across crops and locations in the Argentine Pampas. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 171(11), 887-895.
- Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmood, D. T., & Pennington, J. S. (1971). Stage of development descriptions for soybeans: *Glycine Max* (L.) Merrill. *Crop Science*, 11(6), 929-931.
- Fernandes, E. T., Ávila, C. J., & da Silva, I. F. (2022). Effects of different levels of artificial defoliation on the vegetative and reproductive stages of soybean. *EntomoBrasilis*, 15, Artículo e991. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v15.e991>
- Fernández, E., Mazzilli, S. R., Rava, C., Borges, M., Ferraro, B., & Lanfranco, B. (2024). *El complejo oleaginoso en Uruguay: Análisis de la zafra 2023/24 y perspectivas*. INIA.

- Fontoura, T. B., Costa, J. A., & Daros, E. (2006). Efeitos de níveis e épocas de desfolhamento sobre o rendimento e os componentes do rendimento de grãos da soja. *Scientia Agraria*, 7(1-2), 49-54.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99516263007>
- Giménez, L. (2017). *Deficiencias hídricas en distintas etapas fenológicas de maíz y soja y evaluación del modelo Aquacrop* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29819>
- Herbert, D. A., Mack, T. P., Backman, P. A., & Rodríguez-Kabana, R. (1992). Validation of a model for estimating leaf-feeding by insects in soybean. *Crop Protection*, 11(1), 27-34. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(92\)90075-G](https://doi.org/10.1016/0261-2194(92)90075-G)
- Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Godoy, D. N., Semeão, A. A., Willse, A., Corazza, G. O., Ruthes, E., Fernandes, D. de S., Sosa-Gómez, D. R., Bueno, A. de F., Omoto, C., Berger, G. U., Corrêa, A. S., Martinelli, S., Dourado, P. M., & Head, G. (2021). Resistance status of lepidopteran soybean pests following large-scale use of MON 87701 × MON 89788 soybean in Brazil. *Scientific Reports*, 11(1), Artículo e21323. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00770-0>
- Iannone, N. (2015). *Sistema de alertas de plagas*. Agroconsultas.
https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=566
- Iftikhar, R., Bin Zahid, M. T., Jamil, M., Ehsan, M., & Latif, A. (2024). Insecticide resistance in agricultural pests: Challenges and solutions. *Trends in Biotechnology and Plant Sciences*, 2(1), 36-41. <https://doi.org/10.62460/tbps/2024.015>
- Kantolic, A., Giménez, P., & de la Fuente, E. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En E. Satorre, R. Benech Arnold, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. Otegui, & R. Savin (Eds.), *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo* (pp. 165-201). Universidad de Buenos Aires.
- Martiarena, D., Carmona, D., Tulli, M. C., & López, R. (2021). Manejo de la resistencia y control biológico natural de *Rachiplusia nu* en soja RR2 (Bt). *Visión Rural*, 27(136), 20-24.
- Mithöfer, A., Wanner, G., & Boland, W. (2005). Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves: II. Continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory-related volatile emission. *Plant Physiology*, 137(3), 1160-1168. <https://doi.org/10.1104/pp.104.054460>
- Nardon, A. C., Mathioni, S. M., dos Santos, L. V., & Rosa, D. D. (2021). Primeiro registro de *Rachiplusia nu* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae) sobrevivendo em soja Bt no Brasil. *Entomological Communications*, 3, Artículo ec03028.
<https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec03028>

- Nasca, A. J. (2000). Niveles de daño económico para insectos defoliadores que afectan a la soja en Tucumán, Argentina. En Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, *Anales* (Vol. 54, pp. 12-35).
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/29589>
- Nasca, A. J., Frascarolo, D., Lemme, M. C., & Lazaro, H. O. (1999). Relaciones rendimiento-defoliación soja. *Mercosoja*, 99.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Encuesta agrícola: Invierno 2023*. MGAP.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-10/Publicaci%C3%B3n%20Encuesta%20agricola%202023.pdf>
- Ohnesorg, W. J., & Hunt, T. E. (2015, 6 de mayo). *Managing soybean defoliators*. University of Nebraska-Lincoln.
<https://extensionpubs.unl.edu/publication/g2259/2015/pdf/view/g2259-2015.pdf>
- Ohnesorg, W. J., & Hunt, T. (2016, 13 de julio). *Soybean defoliation worksheet*. University of Nebraska-Lincoln. <https://cropwatch.unl.edu/2016/soybean-defoliation-worksheet>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Cultivos y productos de ganadería* [Registro de base de datos]. FAOstat.
<https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Perotti, E., & Gamundi, J. C. (2007). Evaluación del daño provocado por lepidópteros defoliadores en cultivares de soja determinados e indeterminados (GM III, IV, V) con diferentes espaciamientos entre líneas de siembra. *Para Mejorar la Producción*, 36, 119-125.
<https://extensionpubs.unl.edu/publication/g2259/2015/pdf/view/g2259-2015.pdf>
- Raza, M. A., Gul, H., Yang, F., Ahmed, M., & Yang, W. (2021). Growth rate, dry matter accumulation, and partitioning in soybean (*Glycine max* L.) in response to defoliation under high-rainfall conditions. *Plants*, 10(8), Artículo e1497.
<https://doi.org/10.3390/plants10081497>
- Ruffinelli, A. (1942). La oruga del girasol y sus parásitos naturales. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos*, 14(4), 29-35.
- Russo, R., Gamundi, J. C., & Alzogaray, R. A. (2012). Evaluation of pyrethroids toxicity in a laboratory strain and a field population of *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae) using two bioassay techniques. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 71(1-2), 115-123.
- Satorre, E., Benech Arnold, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M., & Savin, R. (2003). *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. Universidad de Buenos Aires.
- Schwachtje, J., & Baldwin, I. T. (2008). Why does herbivore attack reconfigure primary metabolism? *Plant Physiology*, 146(3), 845-851.
<https://doi.org/10.1104/pp.107.112490>

- Szwarc, D., & Vitti, D. (2017). Umbrales de defoliación en soja: Ajustes para la región. *Voces y Ecos*, 38, 26-28.
- Szwarc, D., Zuil, S., Vitti, D., & Almada, M. (2018). Efecto de la defoliación en el rendimiento de soja. *Voces y Ecos*, 40, 30-33.
- Thoreau, J. (2014). *Efecto de la defoliación artificial sobre el rendimiento y sus componentes en un cultivar de soja de ciclo largo* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Tittonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L. A., Dogliotti, S., Olf, H., & Jobbagy, E. G. (2020). Agroecology in large scale farming: A research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, e584605. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.584605>
- Toledo, R. (2021). *Ecofisiología y rendimiento de soja (Glycine max)*. Universidad Nacional de Córdoba. <https://ansenuza.ffyh.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086.1/1383/Ecofisiología%20del%20cultivo%20de%20soja.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *International Biometric Society*, 5(2), 99-114.
- Uruguay XXI. (2022). *Informe anual de comercio exterior de Uruguay 2022*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-anual-de-comercio-exterior-de-uruguay-2022/>
- Waterman, J. M., Cazzonelli, C. I., Hartley, S. E., & Johnson, S. N. (2019). Simulated herbivory: The key to disentangling plant defense responses. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(5), 447-458. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.008>
- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., Ray, D. K., & Siebert, S. (2014). Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194), 325-328. <https://doi.org/10.1126/science.1246067>
- Zerbino, S. (2002). *Plagas en soja*. INIA <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9151/1/INIA-SAD.2002.-no.297-p.31-41-Zerbino.pdf>
- Zerbino, S., & Alzugaray, R. (1994). Plagas. En A. Giménez & E. Restaino (Eds.), *Girasol y soja: Algunos aspectos tecnológicos de producción para el litoral oeste de Uruguay* (pp. 119-142). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8680/1/BD-47-p.119-142.pdf>