

Germinación y emergencia de nabón (*Raphanus sativus* L.): implicancias para su manejo

Vercellino, R.B.; Hernández, F.; Pandolfo, C. y Presotto, A.

Departamento de Agronomía, CERZOS, Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET, Bahía Blanca, Argentina
rbvercellino@cerzos-conicet.gob.ar

Citar como: Vercellino et al. (2023) Germinación y emergencia de nabón (*Raphanus sativus* L.): implicancias para su manejo. Malezas 9, 4-15

RESUMEN

La germinación y emergencia son estadios críticos en las malezas anuales, por lo que su comprensión es esencial para el desarrollo de estrategias de manejo a largo plazo. Aquí investigamos el efecto de la temperatura, la luz, el pericarpio y el almacenamiento en seco sobre la dormición y la germinación, y el efecto de la profundidad y el riego sobre la emergencia de plántulas en la maleza *Raphanus sativus* L. (nabón). Las semillas recién cosechadas no mostraron dormición primaria. Sin embargo, la luz y la presencia del pericarpio redujeron la germinación, especialmente a bajas temperaturas. La emergencia fue mayor a partir de semillas sin pericarpio que con pericarpio, y de semillas enterradas hasta 12 cm que sobre la superficie. Además, la ventana de emergencia de semillas sin pericarpio ocurrió al inicio del experimento, mientras que la ventana de emergencia de semillas dentro de silicuas fue más tardía y amplia. El riego no alteró la emergencia a partir de semillas sin pericarpio, pero incrementó la emergencia a partir de semillas dentro de las silicuas. En

conclusión, la luz y el pericarpio tienen el potencial de inducir dormición, extendiendo la germinación y emergencia durante un período más prolongado, lo que dificulta el manejo de nabón.

Palabras clave: maleza, brasicáceas, dormición, rábano feral

ABSTRACT

Germination and emergence are critical life stages for annual plants and so their understanding is key for managing weed populations. Here, we conducted experiments to investigate the effect of temperature, light, pericarp and dry storage on dormancy and germination, and the effect of depth and irrigation on seedling emergence in the weed *Raphanus sativus* L. (weedy radish). Fresh seeds were non-dormant, but light and the pericarp reduced germination, especially under low temperatures. Seedling emergence was higher from isolated seeds than from seeds inside pods, and from seeds buried up to 12 cm than from seeds on the soil surface. In addition, seedling emergence



from isolated seeds occurred at the beginning of the experiment; however, seedling emergence from seeds inside pods was delayed and dispersed. Irrigation did not alter seedling emergence from isolated seeds, but increased seedling emergence from seeds inside pods. In conclusion, light and pericarp have the potential to induce dormancy, spreading the timing of germination and emergence over a more extended period, hindering the management of weedy radish.

Keywords: Weed, Brassicaceae, dormancy, feral radish

INTRODUCCIÓN

El momento de germinación y emergencia puede determinar las condiciones ambientales experimentadas por las plantas por el resto de sus vidas y, en consecuencia, el éxito de una maleza en un agroecosistema (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Darmency *et al.*, 2017; Batlla *et al.*, 2020). La dinámica de germinación y emergencia esta modulada por varios factores ambientales, por ejemplo, temperatura, luz/oscuridad, humedad, y también por aspectos físicos y/o fisiológicos de las semillas y/o sus coberturas (Baskin & Baskin, 2014). La luz es una de las principales señales ambientales que interviene en la germinación y muchas especies de malezas han mostrado respuestas diferenciales a luz y oscuridad (Batlla & Benech-Arnold, 2014). Se ha sugerido que el control lumínico sobre la germinación desempeña un rol ecológico clave en condiciones de campo, debido a la posibilidad de sensar cuándo o bajo qué condiciones la germinación debería ocurrir, y su efecto puede interactuar con la temperatura causando variación en su respuesta (Batlla & Benech-Arnold, 2014). Además, el sistema y la profundidad de labranza tienen efectos sobre la distribución vertical de los propágulos en el suelo, y sus efectos sobre la emergencia es altamente dependiente de la especie de maleza en cuestión (Chauhan & Johnson, 2010).

Raphanus sativus L. (nabón) es una maleza invasora en zonas templadas de América (Vercellino *et al.*, 2023), que ha desarrollado resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima acetohidroxiácido sintasa (AHAS,

también conocida como acetolactato sintetasa (ALS)) en Brasil, Chile y Argentina (Vercellino *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2021; Heap, 2023). En la Argentina, se la considera maleza problemática desde hace más de 80 años y actualmente está presente en al menos 20 provincias (Ibarra, 1937; Pandolfo *et al.*, 2018). Puede encontrarse en ambientes ruderales como banquinas, bordes de los caminos, y en lotes agrícolas. Es una de las principales malezas en cultivos de cereales, oleaginosas y algunos cultivos hortícolas y forrajeros (Pandolfo *et al.*, 2018; Vercellino *et al.*, 2021, 2023). En la Argentina, las poblaciones resistentes a herbicidas inhibidores de AHAS están presentes en el sur de la provincia de Buenos Aires, y en las provincias de Salta, Tucumán y Entre Ríos (AAPRESID, 2021).

Sus frutos, botánicamente denominados silicuas, son largos, cilíndricos, pluriseminados, esponjosos, secos e indehiscentes (Vercellino *et al.*, 2019). En la especie silvestre emparentada *R. raphanistrum*, los mecanismos que regulan la germinación han sido ampliamente estudiados. Las semillas sin pericarpio de *R. raphanistrum* recién cosechadas presentan dormición, que se reduce con el almacenamiento en seco (Malik *et al.*, 2010). La luz inhibe parcialmente la germinación de las semillas, y su efecto es mayor a bajas temperaturas (Malik *et al.*, 2010). Además, el pericarpio puede prevenir o retrasar la germinación, ampliando el período de emergencia conduciendo a una emergencia escalonada o dispersa en el tiempo (Cousens *et al.*, 2010). La falta de información sobre la dormición, germinación y emergencia en nabón limita el desarrollo y la implementación de estrategias de manejo a largo plazo (Darmency *et al.*, 2017)

Basados en nuestras observaciones y en estudios realizados en otras especies de *Brassicaceae* con silicuas indehiscentes (Malik *et al.*, 2010; Cousens *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2015; Lu *et al.*, 2017), se hipotetizó que la germinación es afectada por las condiciones ambientales (temperatura, luz/oscuridad) y la presencia del pericarpio (*i.e.*, tejidos del fruto), y que estos requerimientos se reducen durante la post-maduración y, además, que la emergencia de plántulas es afectada por la profundidad de las semillas/

silicuas y el contenido de humedad. Estos efectos pueden contribuir a la dispersión de la germinación y emergencia de plántulas en el tiempo. Para probar estas hipótesis, se realizaron estudios cuyos objetivos fueron: (1) evaluar la germinación de las semillas sin pericarpio y dentro de silicuas intactas en condiciones contrastantes de temperatura, luz y tiempos de madurez post-cosecha, y (2) estudiar la dinámica de emergencia en condiciones contrastantes de humedad y profundidad. Finalmente, se discuten las implicancias de nuestros resultados y se proveen algunas recomendaciones generales para el manejo de nabón en la Región Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

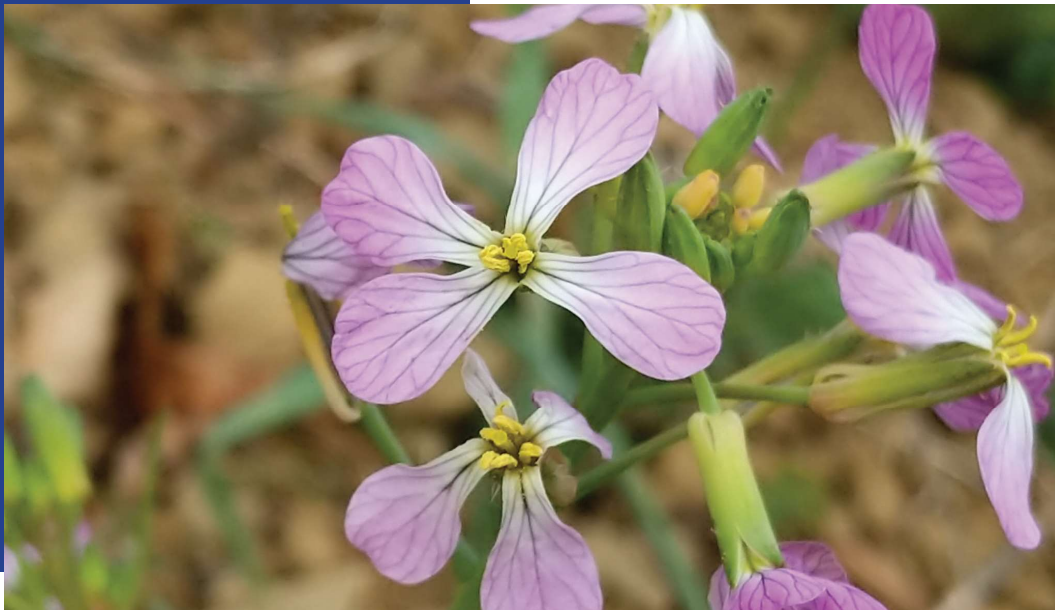
Material vegetal

Se recolectaron silicuas maduras de al menos 20 individuos en cuatro poblaciones de nabón en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La recolección se realizó en las cercanías a Coronel Pringles (37° 49' S, 61° 05' O, PRI), Villalonga (39° 55' S, 62° 30' O, VIL), Pieres (38° 24' S, 58° 35' O, PIE) y Balcarce (37° 35' S, 58° 31' O, BAL). Las semillas se multiplicaron en jardín común en el campo experimental del Dpto. de Agronomía de la Universidad Nacional de Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina (38° 41' 38" S, 62° 14' 53" O) con la finalidad de minimizar los efectos maternos y ambientales. Para evitar la contaminación por polen, la producción de semilla de cada población se realizó en carpas construidas con malla antiáfidos, y la polinización se generó mediante el agregado de núcleos de abejas (*Apis mellifera*). A la madurez, las silicuas se recolectaron, una porción de ellas se trilló, y tanto las semillas sin pericarpio como las silicuas intactas se almacenaron en bolsas de papel madera a temperatura ambiente, con menos de 10% de humedad, hasta el comienzo de los experimentos. Experimentos preliminares no mostraron diferencias en la germinación entre las poblaciones; por lo tanto, para los experimentos generalmente se utilizó la población BAL, dependiendo de la disponibilidad de semillas/silicuas.

Experimento 1. Germinación

Este experimento se realizó para evaluar la respuesta de la germinación a luz/oscuridad, temperatura y la presencia del pericarpio, y la variación de estas respuestas durante la post-maduración. El diseño del experimento fue completamente aleatorizado. Los tratamientos fueron combinaciones de períodos de almacenamiento (cinco), regímenes de temperatura (tres), regímenes de luz (dos) y presencia de pericarpio (dos, semillas sin pericarpio y silicuas intactas). Las condiciones de almacenamiento en laboratorio (~20-25°C, <30 % humedad) fueron 0 (<dos días después de la cosecha), 2, 6, 12 y 30 meses, los tres regímenes de temperaturas alternos fueron 14/4, 21/9 y 28/14 °C, en condiciones de luz/oscuridad (12/12 h) o en oscuridad constante, durante 15 días. Para cada combinación de tratamiento, se incubaron cuatro réplicas de treinta semillas sin pericarpio o cinco silicuas intactas sobre dos capas de papel de filtro humedecido con 10 ml de agua destilada en cajas de Petri. Los regímenes de temperatura utilizados en este estudio representan la temperatura promedio en invierno, otoño-primavera y verano en el sur de la provincia de Buenos Aires. La luz se proporcionó mediante lámparas fluorescentes (Philips TL-D 36w/54 765; espectro 380-690 nm) ($60 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y la oscuridad constante se logró envolviendo las cajas de Petri con doble capa de papel aluminio. La germinación en la condición de luz se evaluó periódicamente (a intervalos de 2-3 días) durante 15 días y las semillas germinadas se removieron en cada recuento. En la condición de oscuridad, las semillas germinadas se contaron únicamente al finalizar el experimento, después de 15 días, con la finalidad de no exponer las semillas/silicuas a la luz. Al final del experimento, se realizó la apertura de las silicuas y se contaron las semillas germinadas y no germinadas. Se realizó una prueba de viabilidad a las semillas no germinadas utilizando una solución de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio al 1% (p/v). Debido a que la prueba de tetrazolio en las semillas no germinadas mostró >99% de semillas viables, las semillas no germinadas se consideraron vivas.

Experimento 2. Emergencia a diferentes profundidades



Con la finalidad de evaluar el efecto de la profundidad sobre la emergencia de nabón, se realizó un experimento con un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones. Los tratamientos fueron una combinación de presencia de pericarpio (semillas sin pericarpio y silicuas intactas) y profundidad de siembra (0, 1, 4, 8, 12 y 16 cm de profundidad de suelo). Las seis réplicas consistieron en veinticinco semillas sin pericarpio o cinco silicuas intactas para cada profundidad, en macetas plásticas (18 cm diámetro x 24 cm alto) rellenas con un suelo arenoso-franco con 1,1 % de materia orgánica y pH 7,7 (suelo típico en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires). Las macetas se colocaron en invernáculo a 20–25 °C en condiciones de luz natural y riego automático diario. Las plántulas emergidas se contaron y removieron periódicamente (a intervalos de 3–4 días) durante 85 días, luego de no detectar emergencia en ningún tratamiento durante 15 días corridos. Para cada tratamiento, se calculó la proporción de plántulas emergidas como la relación entre el total de plántulas emergidas al finalizar el experimento y el total de semillas sembradas. Para determinar el porcentaje de emergencia a partir de silicuas intactas, se trillaron seis réplicas de diez silicuas, se contaron sus semillas y se promediaron para usarlas como control.

Experimento 3. Patrón de emergencia bajo dos condiciones hídricas

Para investigar el patrón de emergencia, se realizó un experimento con un diseño en bloques completamente aleatorizados con seis repeticiones en macetas a la intemperie a temperatura ambiente. Los tratamientos fueron combinaciones de semillas sin pericarpio y silicuas intactas, bajo dos condiciones hídricas contrastantes, con riego y en secano. A principios de febrero de 2018 (a un mes de la cosecha) se sembraron 50 semillas sin pericarpio o 10 silicuas intactas a 0,5 cm de profundidad en macetas plásticas de 10 litros rellenas con el mismo suelo utilizado en el experimento previo. En el tratamiento con riego, el suelo se regó hasta capacidad de campo cada 3 – 4 días a través de todo el experimento, mientras que en el tratamiento en secano (*i.e.*, sin riego) el agua fue provista únicamente mediante precipitaciones. La emergencia de las plántulas se monitoreó a intervalos de 7 días durante un año. Los datos de temperaturas mínimas y máximas, y precipitaciones se obtuvieron de una estación meteorológica (Davis Vantage Pro 2) ubicada en el CCT-Bahía Blanca (CERZOS-CONICET) (38° 39' 60" S, 62° 13' 58" O). Para cada tratamiento, la proporción de plántulas emergidas se calculó como se indicó para el experimento previo.

Análisis estadístico

Los datos de germinación y emergencia se analizaron utilizando modelos lineales generalizados (GLM) basados en la estima-

EL CAMPO EN SU MEJOR VERSIÓN

SpeedAgro
The Greener Standard

ción de máxima verosimilitud restringida (REML) con PROC GLIMMIX en SAS. Para el Experimento 1, se ajustó un modelo binomial con función de enlace *logit* y la germinación como variable de respuesta (semilla germinada y no germinada). El modelo incluyó cuatro efectos fijos: temperatura, luz, pericarpio (semillas sin pericarpio y silicuas intactas) y tiempo de almacenamiento, y todas sus interacciones.

Debido a que la distribución de la proporción de la emergencia no fue normal, los datos se ajustaron con dos modelos usando la distribución Beta (Bolker *et al.*, 2009). Para el Experimento 2, el modelo incluyó dos efectos fijos: pericarpio y profundidad, y su interacción. Mientras que para el Experimento 3, se evaluaron los datos de emergencia en cinco momentos posteriores al comienzo del experimento (1, 3, 6, 9 y 12 meses) y para cada uno de ellos el modelo incluyó dos efectos fijos: condición hídrica (con o sin riego) y pericarpio, y su interacción. El efecto bloque fue considerado aleatorio. Se compararon las medias mediante el test de Tukey-Kramer para determinar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar la germinación en condiciones controladas, se encontraron efectos significativos de temperatura ($P < 0.0001$), luz

($P < 0.0001$), pericarpio ($P < 0.0001$), e interacción luz por pericarpio ($P = 0.0002$), mientras que el efecto de tiempo del almacenamiento, y el resto de las interacciones dobles, triples y la interacción cuádruple no fueron significativos ($P > 0,20$). Las semillas sin pericarpio en condiciones de oscuridad germinaron $>90\%$ desde el inicio del experimento (*i.e.*, tiempo cero) (Figura 1), sugiriendo que las semillas de nabón no poseen dormición primaria, o es prácticamente imperceptible en el rango térmico explorado. Sin embargo, la exposición a la luz redujo significativamente la germinación de las semillas, tanto sin pericarpio como dentro de las silicuas, especialmente a menores temperaturas (Figura 1). Este efecto inhibitorio de la luz sobre la germinación del nabón, denominado fotoinhibición de la germinación (Pons, 2000), podría indicar que las semillas ubicadas sobre la superficie del suelo (bajo exposición a la luz) podrían mantenerse sin germinar hasta ser enterradas (oscuridad constante), especialmente en invierno cuando las temperaturas son menores. Cualquier mecanismo que incremente el entierro de las semillas podría resultar en aumento de la germinación, sincronización en la emergencia y en plántulas fácilmente controlables (Lu *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2015).

La presencia del pericarpio también redujo fuertemente la germinación de nabón, aun-

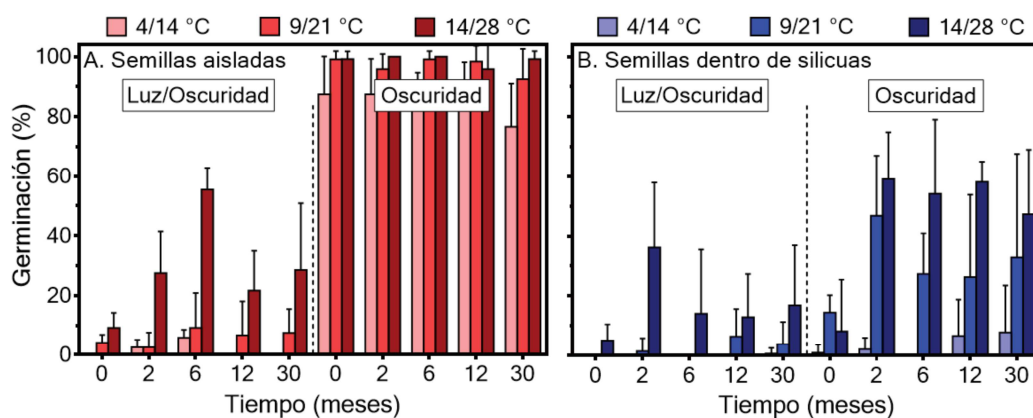


Figura 1. Germinación acumulada (media ± 95 % de intervalo de confianza) de (A) semillas sin pericarpio y (B) dentro de silicuas intactas de *R. sativus* (nabón) incubadas en condiciones de luz/oscuridad (12/12 h) y oscuridad constante, a tres temperaturas alternas (4/14, 9/21 y 14/28 °C) y cinco momentos de almacenamiento en seco (0, 2, 6, 12 y 30 meses).

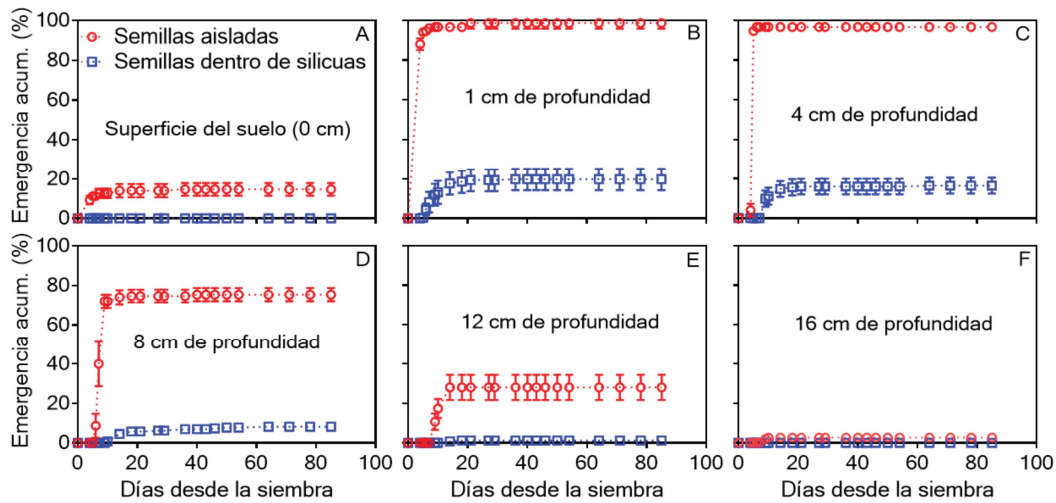


Figura 2. Dinámica de emergencia acumulada de plántulas de *Raphanus sativus* (nabón) a partir de semillas sin pericarpio (rojo) y silicuas intactas (azul), enterradas a 0 (A), 1 (B), 4 (C), 8 (D), 12 (E) y 16 (F) cm de profundidad de suelo. Las barras verticales indican los valores medios \pm 1 SE.

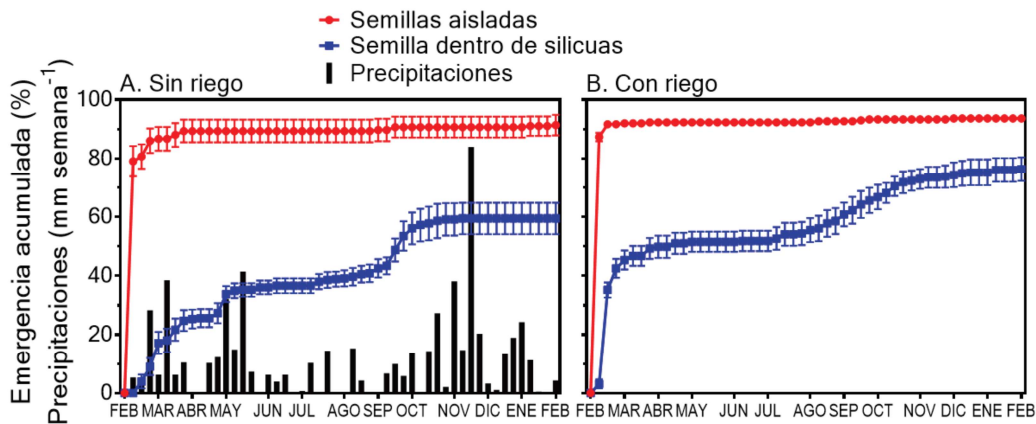


Figura 3. Dinámica de emergencia acumulada de plántulas de *Raphanus sativus* (nabón) a partir de semillas sin pericarpio y silicuas intactas enterradas a 0,5 cm de profundidad bajo dos condiciones hídricas, sin (A) y con (B) riego, durante un año (feb-2018 a feb-2019). Las barras verticales indican los valores medios \pm 1 SE.

que ello fue menos evidente bajo exposición a la luz (Figura 1), posiblemente debido a la interacción con el efecto de fotoinhibición descrito previamente. En general, el pericarpio juega un rol fundamental en la dormición de las semillas en muchas especies de malezas, tanto en brassicáceas (Cousens *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2015; Lu *et al.*, 2017; Sperber *et al.*, 2017) como en otras familias (Presotto *et al.*, 2014). En nabón, la presencia del pericarpio podría ser una estrategia para dispersar la germinación de las

semillas en el tiempo, evitando la emergencia de plántulas de manera concentrada, las cuales podrían ser fácilmente controladas, tanto por agentes antrópicos (*e.g.*, herbicidas, control mecánico) como ambientales (*e.g.*, heladas, sequía). Cualquier mecanismo que incremente la ruptura de las silicuas podría desencadenar la germinación, especialmente si estos mecanismos también proceden al entierro de las semillas generando condición de oscuridad.

Al evaluar la germinación y emergencia a partir de semillas/silicuas colocadas a profundidades crecientes observamos diferencias significativas de pericarpio ($P < 0.0001$), profundidad ($P < 0.0001$) e interacción entre pericarpio y profundidad ($P < 0.0001$). Tanto la germinación de las semillas sin pericarpio como dentro de las silicuas, sobre la superficie se redujo considerablemente, con valores de germinación $<18\%$ en las semillas sin pericarpio y $<2\%$ en las semillas dentro de las silicuas (Figura 2A), en concordancia con el efecto de fotoinhibición de la germinación descrito en el experimento previo (Figura 1). Contrariamente, la emergencia a partir de semillas sin pericarpio enterradas a 1 cm fue $>95\%$, indicando que el entierro de las semillas a tan solo un cm fue suficiente para generar la condición de oscuridad constante y desencadenar la germinación y la emergencia (Figura 2B). La emergencia a partir de silicuas enterradas se redujo sustancialmente, con valores $<20\%$ de emergencia (Figura 2), de acuerdo con los resultados del experimento en cámara de germinación.



Figura S2. Emergencia de nabón (*Raphanus sativus*) en la línea de siembra de maíz a causa de la ruptura de las silicuas y entierro de las semillas provocado por la cuchilla de corte de la sembradora.

La emergencia de plántulas de *R. sativus* es el resultado de los procesos de germinación y elongación del hipocótilo. Debido a ello, la profundidad a la que se encuentren las semillas afecta la emergencia, por ejemplo, no se detectó emergencia de *Lolium perenne* cuando las semillas estuvieron enterradas a 6 cm o más (Javaid *et al.*, 2022). En nabón, la emergencia de plántulas se redujo al incrementar la profundidad de siembra de 1 a 16 cm, donde la emergencia fue $<1\%$, y este efecto fue mayor en las semillas dentro de las silicuas intactas (Figura 2). En esta especie, el entierro de las semillas/silicuas hasta 12 cm podría promover la emergencia respecto a las semillas/silicuas ubicadas sobre la superficie del suelo.

Estos resultados sugieren que la ruptura del pericarpio y la liberación de las semillas debido a cualquier agente natural y/o antrópico, por ejemplo, labores de labranza y siembra, escarificación de las silicuas mediante su pasaje a través del sistema de trilla de las cosechadoras, el paso de vehículos y animales y/o agrietamiento del suelo, podrían promover la germinación y sincronización de la



Figura S3. Emergencia de nabón (*Raphanus sativus*) en posterioridad a la ruptura de las silicuas y entierro de las semillas provocado por labranza mecánica.



Figura S1. Semillas sin pericarpio (A) y silicuas intactas (B) de nabón (*Raphanus sativus*).

emergencia de nabón (Chauhan & Johnson, 2010; Lu *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2015). De hecho, en condiciones de campo, es común observar la emergencia de nabón en las líneas de siembra de los cultivos, especialmente sobre cultivos como girasol o maíz donde la distancia entre plantas dentro de la hilera es mayor, o luego de las labores de labranza (Vercellino, observación personal).

Cuando se estudió la dinámica de emergencia a la intemperie bajo dos condiciones hídricas, se observó interacción entre condición hídrica y pericarpio ($P < 0,05$) en todos los momentos evaluados. Por lo tanto, se evaluó la diferencia entre ambientes hídricos para semillas sin pericarpio y silicuas intactas. Las precipitaciones durante el año del experimento acumularon 592 mm, repartidas de la siguiente manera: aproximadamente 25 % en otoño (152 mm), 11 % en invierno (65 mm), 39 % en primavera (229 mm) y el 25 % restante en verano, dividido con 89 mm entre febrero y 20 de marzo de 2018, y 58 mm entre 21 de diciembre de 2018 y enero de 2019, respectivamente.

La emergencia a partir de semillas sin pericarpio fue $>90\%$ al inicio del experimento, sin diferencias entre ambientes ($P > 0,22$), de acuerdo con resultados previos que evidenciaron la ausencia de dormición primaria

en las semillas de nabón. La presencia del pericarpio redujo y prolongó la emergencia de nabón en ambas condiciones hídricas. En general, la emergencia a partir de silicuas intactas estuvo concentrada principalmente en otoño y primavera; sin embargo, el incremento en la disponibilidad hídrica asociada al riego aumentó la emergencia ($P < 0,03$) (Figura 3). Ello podría estar asociado a que en ambientes con mayor disponibilidad hídrica, el agua adicional podría acelerar la degradación fúngica de los tejidos del fruto y/o ablandar las capas duras lignificadas del endocarpio, reduciendo la resistencia mecánica del pericarpio a la germinación e incrementando la emergencia (Cousens *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2015; Sperber *et al.*, 2017). Por ejemplo, los frutos indehiscentes de *Diptychocarpus strictus* comenzaron a ablandarse y las semillas a germinar en condiciones de campo en la segunda primavera después de la dispersión, pero el debilitamiento del pericarpio y la germinación continuaron durante al menos dos años (Lu *et al.*, 2015). Finalmente, cuando las semillas estuvieron dentro de las silicuas, aproximadamente 25% y 40% de las semillas en condiciones de riego y secano, respectivamente, permanecieron en el banco de semillas sin germinar o muertas después de un año (Figura 3).

IMPLICANCIAS Y RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL MANEJO

En la Argentina, el sistema de labranza cero comenzó a crecer a partir de 1982, y menos de dos décadas después superó el 90 % del área agrícola (www.aapresid.org.ar). Durante ese período, el nabón fue una de las malezas que mostró los mayores incrementos en su incidencia en el sudeste bonaerense, una de las principales áreas de cultivo de cereales de invierno (Scursoni *et al.*, 2014). La proliferación de las poblaciones nabón bajo el sistema labranza cero podría estar vinculada a que las semillas permanecen dentro de las silicuas indehiscentes sin germinar sobre la superficie del suelo hasta que las condiciones ambientales favorecen el entierro, la descomposición/degradación de los tejidos del fruto, y/o hasta que la ruptura de las silicuas y entierro de semillas a través de labores de siembra o tránsito de maquinaria, o cualquier otro agente natural o antrópico favorece la germinación y emergencia.

Bajo este escenario, el patrón de emergencia podría ser sumamente amplio. Debido a la gran capacidad de interferencia del nabón sobre cultivos de invierno (Vercellino *et al.*, 2021), la siembra en lotes libres de nabón (al igual que libres de otras especies de malezas) sería una práctica fundamental para minimizar su impacto sobre los cultivos. La utilización de herbicidas residuales en pre-siembra-preemergencia podría ser una práctica recomendada para evitar la interferencia de nabón provocada por las emergencias en los primeros estadios del cultivo. Estos herbicidas también ayudarían a controlar las emergencias que podrían ocurrir como consecuencia de la labor siembra, debido a la ruptura de silicuas y entierro de semillas por la cuchilla de la sembradora y/o el tránsito de la maquinaria. Además, la destrucción de las semillas durante la cosecha podría ser una herramienta clave para el manejo de nabón, aprovechando que las silicuas indehiscentes permanecen un tiempo adheridas a la planta madre (Snow & Campbell, 2005). Esta herramienta permitiría reducir la reincorporación de semillas al banco de semillas y ha funcionado en la especie maleza emparentada *R. raphanistrum* (Walsh & Powles, 2014; Walsh *et al.*, 2018).

Por otro lado, la rotación con cultivos de verano, *e.g.*, girasol o maíz, podría ser otra práctica recomendable para el manejo de esta especie, debido a que los picos de emergencia más grandes fueron detectados durante el otoño y principios de primavera (Figura 3 y 4). En estos cultivos, la mayor parte de las emergencias de nabón ocurrirían durante el barbecho, donde la posibilidad de prácticas de manejo será menos restrictiva. Además, si bien el nabón suele estar presente en los cultivos de verano (Pandolfo *et al.*, 2018; Vercellino *et al.*, 2018), el efecto de interferencia sobre ellos es menor (Vercellino *et al.*, 2021). Finalmente, el control mecánico desencadenaría la emergencia de nabón debido a la liberación de las semillas de las cubiertas del fruto y el entierro de las mismas; por lo tanto, no sería recomendable su uso como única alternativa de control debido a que podría generar una problemática aún mayor, especialmente aquellos implementos mecánicos de labores poco profundas, por ejemplo, pie de pato, o rastras diamantes, romboidales o multipropósito de reciente difusión.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a estos resultados, la exposición a la luz y la presencia del pericarpio afectan la dinámica de germinación y emergencia en las poblaciones de nabón. Los requerimientos de oscuridad para la germinación podrían resultar en la formación de un banco de semillas superficial, y las semillas podrían eventualmente germinar cuando son incorporadas en el suelo. El pericarpio tendría el potencial de distribuir la germinación de una cohorte durante un período de tiempo prolongado y/o de retrasar la emergencia de las plántulas hasta la siguiente o subsiguiente estación de crecimiento después de la maduración de las semillas en la planta madre, resultando en la formación de un banco de semillas persistente en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto ANPCYT-PICT 2017-0473. Agradecemos al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por una beca a RBV. «

Bibliografía

- ASOCIACIÓN ARGENTINA DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA, AAPRESID (2021) Red de manejo de plagas. En línea. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem-malezas/mapa-malezas/> (Último acceso: 5 de abril de 2023).
- BASKIN CC & BASKIN JM (2014) Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, 2nd edn. Elsevier/Academic Press, San Diego. Oxford, UK.
- BATLLA D & BENECH-ARNOLD RL (2014) Weed seed germination and the light environment: Implications for weed management. *Weed Biology and Management* 14: 77–87.
- BATLLA D, GHERSA CM & BENECH-ARNOLD RL (2020) Dormancy, a critical trait for weed success in crop production systems. *Pest Management Science* 76: 1189–1194.
- BOLKER BM, BROOKS ME, CLARK CJ, GEANGE SW, POULSEN JR, STEVENS MHH et al. (2009) Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 127–135.
- CHAUHAN BS & JOHNSON DE (2010) The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. *Advances in Agronomy* 105: 221–262.
- COSTA LO, CECHIN J, RIZZARDI MA, MARTIN SL, SAUDER CA, ADEGAS FS et al. (2021) Target-site resistance and cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides in radish and wild radish biotypes from Brazil. *Agronomy Journal* 113: 236–249.
- COUSENS RD, YOUNG KR & TADAYON A (2010) The role of the persistent fruit wall in seed water regulation in *Raphanus raphanistrum* (Brassicaceae). *Annals of Botany* 105: 101–108.
- DARMENCY H, COLBACH N & LE CORRE V (2017) Relationship between weed dormancy and herbicide rotations: implications in resistance evolution. *Pest Management Science* 73: 1994–1999.
- FINCH-SAVAGE WE & LEUBNER-METZGER G (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171: 501–523.
- HEAP I (2023) The international survey of herbicide resistant weeds. En línea. Disponible en: www.weed-science.org (Último acceso: 5 de abril de 2023).
- IBARRA F (1937) Malezas más comunes del trigo y del lino. *Almanaque del Ministerio de Agricultura.*: 405–410.
- JAVAID MM, MAHMOOD A, ALSHAYA DS, ALKAHTANI MDF, WAHEED H, WASAYA A et al. (2022) Influence of environmental factors on seed germination and seedling characteristics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Scientific Reports* 12: 9522.
- LU JJ, TAN DY, BASKIN JM & BASKIN CC (2015) Post-release fates of seeds in dehiscent and indehiscent siliques of the diaspore heteromorphic species *Diptychocarpus strictus* (Brassicaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17: 255–262.
- LU JJ, TAN DY, BASKIN CC & BASKIN JM (2017) Role of indehiscent pericarp in formation of soil seed bank in five cold desert Brassicaceae species. *Plant Ecology* 218: 1187–1200.
- MALIK MS, NORSWORTHY JK, RILEY MB & BRIDGES W (2010) Temperature and light requirements for wild radish (*Raphanus raphanistrum*) germination over a 12-month period following maturation. *Weed Science* 58: 136–140.
- PANDOLFO CE, PRESOTTO A & CANTAMUTTO M (2018) *Raphanus sativus* L. - *Raphanus raphanistrum* L. En: *Malezas e Invasoras de la Argentina*. pp. 625–636.
- PONS TL (2000) Seed responses to light, en Fenner, M. (ed), *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities* (2nd edition). Wallingford: CAB International. pp. 237–260
- PRESOTTO A, POVERENE M & CANTAMUTTO M (2014) Seed dormancy and hybridization effect of the invasive species, *Helianthus annuus*. *Annals of Applied Biology* 164: 373–383.
- SCURSONI JA, GIGÓN R, MARTÍN AN, VIGNA M, LEGUIZAMÓN ES, ISTILART C et al. (2014) Changes in weed communities of spring wheat crops of Buenos Aires province of Argentina. *Weed Science* 62: 51–62.
- SNOW AA & CAMPBELL LG. (2005). Can feral radishes become weeds?, in *Crop Fertility and Volunteerism: A Threat to Food Security in the Transgenic Era?*, ed. by Gressel J. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, pp.193-208
- SPERBER K, STEINBRECHER T, GRAEBER K, SCHERER G, CLAUSING S, WIEGAND N et al. (2017) Fruit fracture biomechanics and the release of *Lepidium didymum* pericarp-imposed mechanical dormancy by fungi. *Nature Communications* 8: 1868.
- VERCELLINO RB, HERNÁNDEZ F, PANDOLFO C, URETA MS & PRESOTTO A (2023) Agricultural weeds: The contribution of domesticated species to the origin and evolution of feral weeds. *Pest Management Science* 79: 922–934.
- VERCELLINO RB, PANDOLFO CE, BRECCIA G, CANTAMUTTO M & PRESOTTO A (2018) AHAS Trp574Leu substitution in *Raphanus sativus* L.: screening, enzyme activity and fitness cost. *Pest Management Science* 74: 1600–1607.
- VERCELLINO RB, PANDOLFO CE, CANTAMUTTO M, PRESOTTO A (2021) Interference of feral radish (*Raphanus sativus*) resistant to AHAS-inhibiting herbicides in oilseed rape, wheat and sunflower crops. *International Journal of Pest Management*. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1959081>
- VERCELLINO RB, PANDOLFO CE, CERROTA A, CANTAMUTTO M & PRESOTTO A (2019) The roles of light and pericarp on seed dormancy and germination in feral *Raphanus sativus* (Brassicaceae). *Weed Research* 59: 396–406.
- WALSH MJ, BROSTER JC, SCHWARTZ-LAZARO LM, NORSWORTHY JK, DAVIS AS & TIDEMANN BD et al. (2018) Opportunities and challenges for harvest weed seed control in global cropping systems. *Pest Management Science* 74: 2235–2245.
- WALSH MJ & POWLES SB (2014) High seed retention at maturity of annual weeds infesting crop fields highlights the potential for harvest weed seed control. *Weed Technology* 28: 486–493.
- ZHOU YM, LU JJ, TAN DY, BASKIN CC & BASKIN JM (2015) Seed germination ecology of the cold desert annual *Isatis violascens* (Brassicaceae): Two levels of physiological dormancy and role of the pericarp. *PLoS ONE* 10: e0140983.