

## SENSIBILIDAD DE CULTIVARES DE GIRASOL CON Y SIN TECNOLOGÍA CLEARFIELD A LA PRESENCIA DE RESIDUOS DE DICLOSULAM EN EL SUELO

Ignacio Federico Divita<sup>1\*</sup>; Francisco Bedmar<sup>1</sup>; Valeria Gianelli<sup>1, 2</sup>; Facundo Quiroz<sup>1, 2</sup>; Gloria Monterubbianesi<sup>1</sup>; Sandra Medici<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina

\* E-mail: ignaciodivita@mdp.edu.ar / divita.ignacio@inta.gob.ar

<sup>2</sup> INTA, Estación Experimental Balcarce, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Análisis Fares Taie, Argentina

Recibido: 08/08/2022

Aceptado: 20/10/2022

### RESUMEN

El girasol puede sufrir *carryover* por diclosulam aplicado en soja como antecesor. El objetivo fue evaluar la sensibilidad a campo de híbridos de girasol CL, CL Plus y No CL, a distintas concentraciones de diclosulam en un suelo de Balcarce, y determinar los rangos de tolerancia. Se realizó un experimento en la EEA INTA Balcarce (Argentina) en 2017/2018, donde se evaluaron los cultivares de girasol Paraíso 102 CL (CL), Paraíso 1600 CL Plus (CL Plus) y Syn 3825 (no CL), expuestos a un rango de concentraciones de diclosulam entre 0 y 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de suelo. Se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y calidad y se construyeron regresiones entre estas variables y las concentraciones de diclosulam en el suelo que permitieron estimar el  $EC_{50}$  y  $EC_{10}$  (concentración de herbicida que reduce el valor de una variable en un 50% o un 10%, respectivamente). La sensibilidad del girasol a los residuos de diclosulam, mostró el siguiente patrón para todas las variables evaluadas excepto el número de plantas a emergencia: CL < CL Plus < no CL. La concentración de residuos de diclosulam en el suelo que no redujo significativamente el rendimiento respecto al testigo estuvo comprendida en el rango entre 0 y 0,9  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para no CL y CL Plus. El rendimiento de CL, en cambio, no fue afectado por ninguna concentración. El contenido de materia grasa fue afectado en los tres híbridos, observándose las mayores reducciones (15%) en no CL a concentraciones de 4,6 a 8,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

**Palabras clave:** inhibidores de ALS, tecnología Clearfield, *Helianthus annuus* L.

## SENSITIVITY OF SUNFLOWER CULTIVARS WITH AND WITHOUT CLEARFIELD TECHNOLOGY TO THE PRESENCE OF DICLOSULAM RESIDUES IN THE SOIL

### SUMMARY

Sunflower can suffer carryover by diclosulam applied on soybean predecessor. The objective was to evaluate sensitivity of CL, CL Plus and No CL sunflower hybrids to different soil concentrations of diclosulam under field conditions in Balcarce, and to determine tolerance ranges. The experiment was carried out in the EEA INTA Balcarce (Argentina) in 2017/2018, where Syn 3825 (non-CL), Paraiso 102 CL and Paraiso 1600 CI Plus sunflower cultivars were exposed to a range of soil concentrations of diclosulam between 0 to 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$  of soil. Variables of plant growth, grain yield and grain quality were evaluated and regressions models were developed between variables and soil concentrations of diclosulam to estimate  $EC_{50}$  and  $EC_{10}$  (herbicide concentration which reduces a variable value in a 50 or 10%, respectively). Diclosulam-sensitivity of sunflower cultivars showed the following pattern for most of the variables evaluated, except for the density of plants at emergence: CL < CL Plus < non-CL. Non-significant yield reductions were recorded in non-CL and CL Plus cultivars at 0 and 0,9  $\mu\text{g kg}^{-1}$  of diclosulam in soil. Instead, CL yield was not affected at any concentration. Grain oil content was negatively affected by the herbicide, the larger reduction (15%) was recorded in the non-CL cultivar at soil concentrations of diclosulam of 4,6 to 8,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

**Key words:** carryover, ALS inhibitors, Clearfield technology, *Helianthus annuus* L.

## INTRODUCCIÓN

El diclosulam (N-(2,6-diclorofenil)-5-etoxi-7-fluoro-1,2,4-triazolo [1,5 c] pirimidina-2-sulfonamida) es un herbicida de acción residual perteneciente al grupo químico de las triazolpirimidinas, también conocido como sulfonamidas. El mecanismo de acción de este producto consiste en la inhibición de la enzima acetolactato sintetasa (ALS), lo cual impide la formación de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina en la síntesis de proteínas de las plantas susceptibles (Anzalone, 2007). En la Argentina está registrado para su aplicación en pre-siembra y preemergencia de los cultivos de soja y maní (CASAFE, 2022), siendo empleado para el manejo de malezas adaptadas a sistemas de siembra directa y de difícil control con glifosato como *Coryza sumatrensis* (Retz.) E. Walker (Gianelli *et al.*, 2017).

El diclosulam posee algunas propiedades que le confieren actividad residual. Es un ácido débil (pKa= 4), de baja solubilidad (6,32 mg l<sup>-1</sup>) y bajo valor de coeficiente de adsorción (Koc= 90 ml g<sup>-1</sup>), por lo que presenta reducida adsorción a las partículas del suelo y elevado potencial de lixiviación (GUS= 3,46). Por lo expuesto, el diclosulam presenta una vida media medida en laboratorio entre 33 y 65 días mientras que en el campo el rango varía desde los 20 a los 43 días (Shaner, 2014; Lewis *et al.*, 2016). Sin embargo, estos valores pueden diferir notablemente entre sitios y años (Colquhoun, 2006). En este sentido, cuando las condiciones ambientales son predisponentes, puede persistir más allá de la temporada de crecimiento del cultivo de interés y provocar fitotoxicidad sobre cultivos sucesores y susceptibles, fenómeno conocido como "carryover" (Puricelli, 2016; Gherke *et al.*, 2021).

La actividad microbiana es el principal mecanismo de degradación de diclosulam (Bedmar y Gianelli, 2014), mientras que la fotodescomposición y la volatilización de este compuesto no son significativas (IUPAC, 2022). Debido a que la principal forma de degradación es microbiana, incrementos en la temperatura y contenido de humedad, promueven la degradación y lixiviación de los herbicidas fuera de la zona radicular, reduciendo su biodisponibilidad y persistencia (Bedmar y Gianelli, 2014). Contrariamente, la escasez de precipitaciones, así como temperaturas bajas, suelen prolongar la persistencia del herbicida (Jabusch y Tjeerdema, 2008), incrementando las probabilidades de fitotoxicidad por "carryover". Además de los factores climáticos, edáficos y de manejo, el "carryover", depende también de la especie botánica considerada y de la cantidad de residuos del herbicida

presentes al momento de la siembra. Tal situación se debe, a la diferente selectividad que cada planta posee respecto a la concentración en el suelo de un determinado ingrediente activo (Bedmar y Gianelli, 2014).

El girasol es uno de los cultivos que puede sufrir daños por residualidad de herbicidas aplicados durante ciclos productivos previos (cultivos o barbechos anteriores), a causa de su elevada sensibilidad, especialmente a aquellos ingredientes activos cuyo modo de acción es la inhibición de la enzima acetolactato sintetasa (Dan *et al.*, 2012). En tal sentido, De Souza (2022) documentó que el herbicida diclosulam aplicado en pre-siembra del cultivo de soja, presenta elevado potencial de "carryover" sobre cultivos sucesores en la rotación como el girasol. Para evitar dicha fitotoxicidad, el período de espera para la implantación de girasol luego de la aplicación de diclosulam excede los 365 días (EMBRAPA, 2000; CASAFE, 2022). El girasol es implantado desde el sudeste de la región pampeana (39° S) hasta la región chaqueña (26° S) (Ivancovich y Lavilla, 2016). En 2020, el área cosechada representó alrededor de 1.528.567 ha con una producción aproximada de 3.232.649 t de granos (FAOSTAT, 2022) lo que ubicó a la Argentina como uno de los principales productores y exportadores del mundo. Este es uno de los cultivos oleaginosos más importantes del país cuyo destino principal es la industria aceitera para consumo doméstico (Savin y Sorlino, 2003).

Una de las alternativas o medidas para evitar o reducir estos efectos fitotóxicos es el empleo de cultivares de girasol que toleren la presencia de residuos de diclosulam en el suelo (Mendes *et al.*, 2017). Por ejemplo, la siembra de materiales con tecnología Clearfield (CL), que poseen resistencia al grupo químico de las imidazolinonas (IR) (Bailey y Wilcut, 2003), podría ser una opción factible dado que este grupo de herbicidas presenta un modo de acción similar a diclosulam (Shaner, 2014) y, dependiendo de su mutación de origen, sería probable que toleren otros herbicidas ALS.

En la actualidad, no se dispone de información sobre el comportamiento de cultivares de girasol CL ante residuos de diclosulam en el suelo, lo cual genera incertidumbre en los productores y profesionales sobre su implantación luego de la aplicación en una rotación soja-girasol. Tampoco existe información sobre el umbral de concentración de residuos de diclosulam en el suelo que no produce efectos fitotóxicos en cultivares de girasol. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue evaluar la sensibilidad a campo de híbridos de girasol CL

(Paraíso 102), CL Plus (Paraíso 1600) y no CL (Syn 3825), ante distintas concentraciones de diclosulam en un suelo de Balcarce y determinar los rangos de tolerancia (concentración de residuos).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del sitio de estudio

Durante la campaña 2017/2018, se realizó un experimento a campo, bajo el sistema de labranza convencional y en condiciones de secano, en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Balcarce (latitud 27°45 S, longitud 58° 18 O, altitud 130 m s.n.m.). El suelo del sitio seleccionado se clasifica como Argiudol típico y corresponde a una asociación de las series Mar del Plata (70%) y Balcarce (30%), cuyas propiedades (contenido de materia orgánica, fósforo, nitratos, textura y pH) se determinaron para el perfil 0-10 cm (Cuadro 1). El área bajo estudio no presentaba residuos en el suelo de diclosulam o herbicidas con similar mecanismo de acción u otros potencialmente fitotóxicos para el girasol.

Los datos meteorológicos de temperatura, precipitaciones y evapotranspiración se obtuvieron de la EEA INTA Balcarce y se expresaron por década (período de 10 días) (Figuras 1 y 2). De acuerdo a los mismos, la lámina de lluvia acumulada para el ciclo productivo

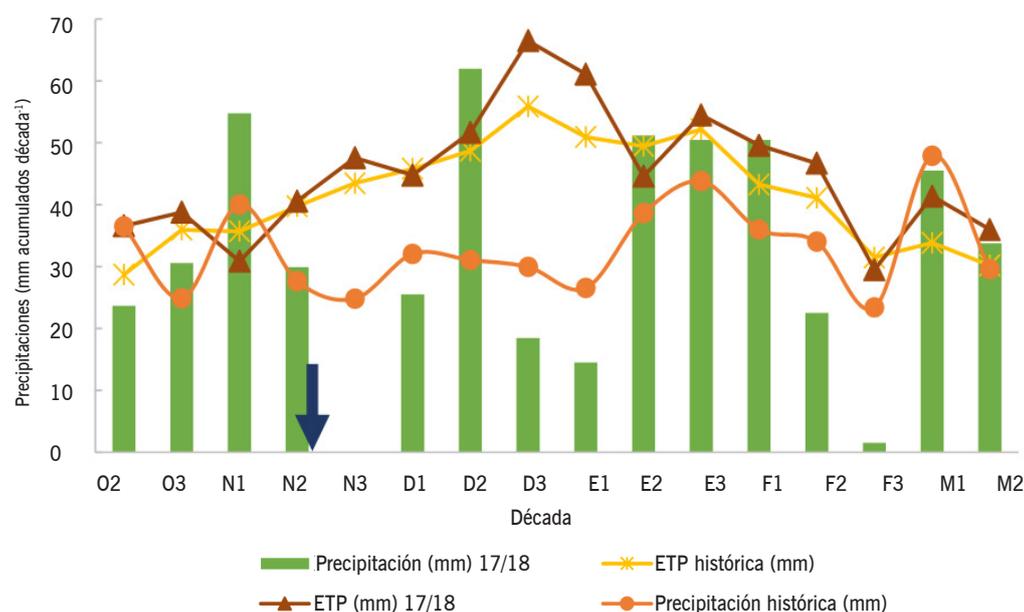
2017/2018 (515 mm), en el período comprendido entre la segunda década de octubre (fecha de aplicación de diclosulam) y la segunda década de marzo (cosecha del cultivo), fue levemente inferior al promedio histórico de los últimos 30 años (527 mm) (Figura 1). Por su parte, la misma tendencia se observó con la temperatura hasta diciembre, si bien a partir de la primera década de ese mes fue mayor en el ciclo productivo 2017/2018 en comparación con el promedio histórico (Figura 2).

### Diseño experimental y tratamientos evaluados

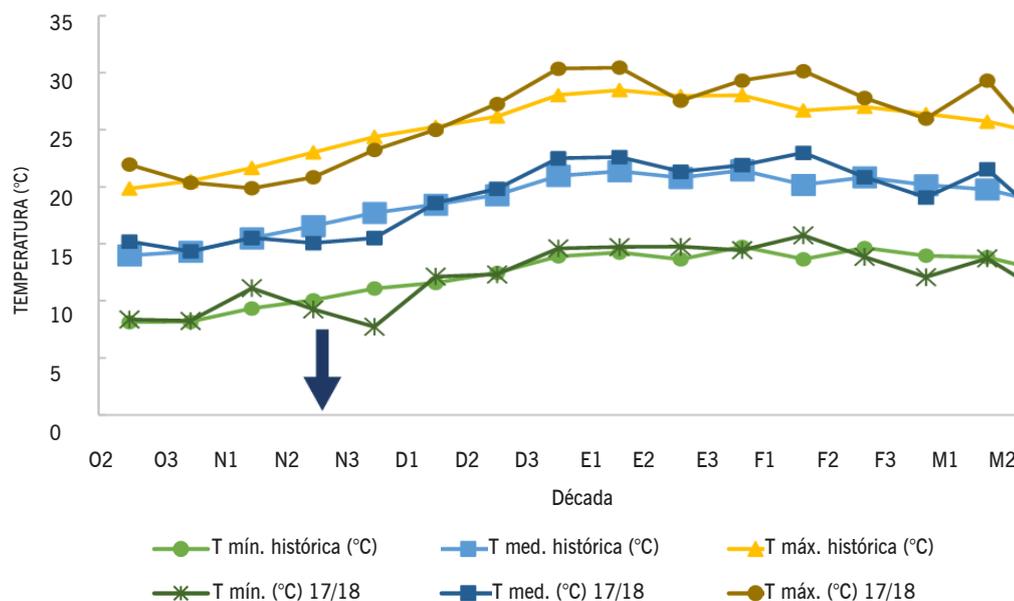
El experimento se realizó en un diseño en bloques divididos (Kuehl, 2001), con tres repeticiones. Así, las parcelas principales estuvieron representadas por cada dosis de diclosulam, mientras que las subparcelas correspondían a los híbridos de girasol sembrados perpendicularmente. Los híbridos de girasol seleccionados para el experimento fueron Paraíso 102 CL (Nidera; "CL") de ciclo intermedio-corto, Paraíso 1600 CL Plus (Nidera; "CL Plus") de ciclo intermedio-largo y Syn 3825 (Syngenta; "no CL") de ciclo intermedio-corto. La siembra de los cultivos se realizó el 22/11/2017. En preemergencia del cultivo (24/11/2017), se aplicó una mezcla de los herbicidas s-metolacloro (1,44 kg i.a. ha<sup>-1</sup>; Dual Gold, EC 96%, Syngenta Agro), fluorecloridona (375 g i.a. ha<sup>-1</sup>;

**Cuadro 1.** Propiedades físicas y químicas del suelo utilizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce (Argentina).

Materia orgánica (%)	pH	Fósforo (ppm)	Nitratos (ppm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
4,8	5,7	48,1	19,8	49,2	29,4	21,4	Franco



**Figura 1.** Precipitación y evapotranspiración potencial (mm) en función del tiempo (décadas) para el ciclo productivo 2017/2018 y el promedio de los últimos 30 años. La flecha azul indica la fecha de siembra.



**Figura 2.** Temperatura máxima, media y mínima en función del tiempo (décadas) para el ciclo productivo 2017/2018 y el promedio de los últimos 30 años. La flecha azul indica la fecha de siembra.

Rainbow, EC 25%, Adama Argentina) y glifosato (1,44 kg e.a. ha<sup>-1</sup>; Panzer Gold, SL 48,0% equivalente ácido -e.a.-, 60,8% sal dimetilamina, Dow AgroSciences).

Los tratamientos aplicados consistieron en ocho dosis del herbicida diclosulam (Spider, WG 84%, Dow Agrosciences Argentina SRL): 25,2; 12,6; 6,3; 3,15; 1,58; 0,79; 0,39 y 0 g de ingrediente activo (i.a.) ha<sup>-1</sup>. Dichas dosis, expresadas en concentración de herbicida respecto del peso del suelo evaluado, equivalen a 22,3; 11,2; 5,6; 2,8; 1,4; 0,7; 0,3 y 0 µg kg<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente. La aplicación se realizó el 18/10/2017 con un equipo pulverizador de mochila manual de presión constante (40 lb pulg<sup>-2</sup>) a base de CO<sub>2</sub>, provisto de pastillas ADI ISO 11001, que arrojó un volumen de 128 l ha<sup>-1</sup>.

## Muestras y determinaciones

### Suelo

Con el fin de determinar la concentración de residuos de diclosulam en el suelo al momento de implantar el cultivo se realizó un muestreo en el experimento un día antes de la siembra (21/11/2017). Para ello, con un muestreador (0-10 cm), se realizaron seis piques en cada una de las parcelas principales representadas por cada dosis del herbicida aplicada previamente (34 días desde la aplicación). El muestreo se realizó luego de que se produjeran precipitaciones que incorporasen al suelo el herbicida aplicado previamente sobre la superficie. Posteriormente, dichas muestras se almacenaron en freezer (-18 °C) para evitar la degradación del diclosulam hasta el análisis de residuos. La determinación de diclosulam en las muestras de suelo se realizó en el

Laboratorio Fares Taie de Mar del Plata, mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC MS/MS), permitiendo un límite de detección de 0,00005 mg kg<sup>-1</sup> y un límite de cuantificación de 0,0001 mg kg<sup>-1</sup>.

### Cultivo

Al inicio se registró la emergencia de las plántulas de los híbridos de girasol en 1,5 m lineales de cuatro hileras de cada subparcela (densidad inicial). Posteriormente, se determinó la altura de las plantas a lo largo del ciclo del cultivo en las siguientes fechas y estadios de acuerdo a la escala fenológica de Schneiter y Miller (1981): 22/12/2017 (cuatro pares de hojas verdaderas "V8"), 02/01/2018 (estado fenológico de estrella "R1"), 15/01/2018 ("R3") y el 02/02/2018 (plena floración "R 5.5"). Para ello, se realizaron seis mediciones por subparcela desde la superficie del suelo hasta el ápice de la planta.

Se determinó la proporción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) por cada cultivar mediante un ceptómetro lineal (Cava-Devices, Buenos Aires, Argentina) en las siguientes fechas: 06/01/2018 (estado fenológico de estrella "R1"), 25/01/2018 ("R5.1"), 02/02/2018 (plena floración "R 5.5") y el 26/02/2018 ("R7"). Para ello, se midió la radiación que atravesó el canopeo (I') y la radiación por encima del mismo (I<sub>0</sub>), entre las 11:00 h y las 13:00 h en días sin nubosidad. En cada momento, se realizaron cinco mediciones por subparcela, atravesando las hileras en forma perpendicular. Para cada medición, la proporción de

radiación interceptada por el cultivo se calculó según la Ecuación 1:

$$RFA_i = 1 - (I' / I_0) \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Alcanzada la madurez fisiológica del cultivo (R9), se cosecharon las plantas de las subparcelas para determinar el rendimiento de cada combinación de cultivar y dosis de herbicida. La humedad de los granos fue obtenida con un humidímetro digital. El rendimiento se expresó de acuerdo a las características comerciales del cultivo para la Argentina, estandarizando su valor al 11% de humedad según lo establecido por las normas de comercialización.

Además del rendimiento, se obtuvo la densidad de plantas a cosecha (densidad final), el número de granos  $m^{-2}$  (NG), el peso de 1000 granos (mg) (Board, 2000) y el contenido de materia grasa mediante un equipo de resonancia magnética nuclear (RMN-Spinlock S.R.L.).

### Análisis estadísticos

Las variables medidas se relativizaron respecto al testigo sin herbicida, considerándose a éste como punto de referencia con valor 100%. Con los datos obtenidos, se construyeron curvas dosis-respuesta de cada variable y cultivar mediante el empleo de modelos de regresión no lineal (log-logísticos), cuya expresión matemática es la siguiente (Seefeldt *et al.*, 1995):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + (X/EC_{50})^b} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

donde, Y corresponde a la respuesta media de la variable medida relativa al testigo (%), para una concentración X del herbicida; C es la respuesta media a muy altas concentraciones; D es la respuesta media sin la presencia del herbicida;  $EC_{50}$  es la concentración del herbicida que reduce un 50% la magnitud de la variable en cuestión cuando C = 0, y b es la pendiente alrededor de la  $EC_{50}$ .

En los casos en que no se logró ajustar este tipo de curvas, se optó por modelos de regresión lineal (con término polinómico de grado uno) o cuadrático (con término de grado dos) de acuerdo con las ecuaciones 3 y 4:

$$Y = a + bx. \quad [\text{Ecuación 3}]$$

donde Y es el valor de la variable relativa (%); a (término independiente) es el valor de la variable relativa correspondiente al testigo sin aplicación; b es el coeficiente lineal o pendiente (cambio de valor de la variable relativa por aumento en una unidad la dosis de aplicación); x es la dosis ( $\mu g$  i.a. $kg^{-1}$ ).

$$Y = a + bx + cx^2 \quad [\text{Ecuación 4}]$$

donde Y, a, b y x, son los mismos términos que en la ecuación lineal mientras que c corresponde al término de la curvatura.

A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas, se calcularon para cada cultivar los estimadores  $EC_{50}$  y  $EC_{10}$ , los cuales representan la concentración requerida para alcanzar el 50% o 10% de reducción en cada variable considerada. Para comparar la tolerancia entre los cultivares, se empleó el parámetro  $EC_{50}$ , mientras que para obtener los rangos de residuos de diclosulam tolerables para los cultivares se utilizó el parámetro  $EC_{10}$  (límite de tolerancia). Además de los análisis de regresión, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la asociación entre las variables del cultivo. En todas las pruebas estadísticas se utilizó un nivel de significancia del 5% y se realizaron los análisis con el programa estadístico R (R Core Team, 2015) empleando el paquete estadístico dcr.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Concentración de diclosulam al momento de siembra

Entre la aplicación del herbicida (18/10/2017) y la siembra de girasol (24/11/2017) transcurrieron 37 días con una precipitación acumulada de 117 mm (Figura 1), la cual permitió una adecuada incorporación del producto a la matriz del suelo. Luego de los análisis, se determinó que la concentración de diclosulam resultante en el suelo a la siembra del cultivo fue entre un 62 y 77% inferior a las concentraciones aplicadas inicialmente. Considerando que, según la metodología de detección, se puede recuperar entre un 87 y 110% de los residuos presentes en el suelo, tal disminución podría deberse a diversas razones. Por una parte, dado que diclosulam es degradado principalmente mediante microorganismos, este tipo de degradación podría explicar en gran medida la reducción ocurrida luego de 37 días de su aplicación. En tal sentido, si bien no se posee información local, la vida media a campo de este herbicida

(DT<sub>50</sub>) es, en promedio, de 20 días con un rango de 14-80 días (Universidad de Hertfordshire, 2022), lo cual explicaría en gran medida la reducción observada. Asimismo, las precipitaciones acumuladas desde la aplicación hasta el momento de la siembra (117 mm; Figura 1), así como las altas temperaturas (Figura 2), podrían haber favorecido la actividad microbiana y por ende la degradación del herbicida. Similares resultados fueron documentados por Murdock y Witt (1998), Bhattacharyya *et al.* (2012) y Ganguly *et al.* (2016) en experimentos con diclosulam y por Wesenbeek *et al.* (1997) con el herbicida cloransulam perteneciente a la misma familia química.

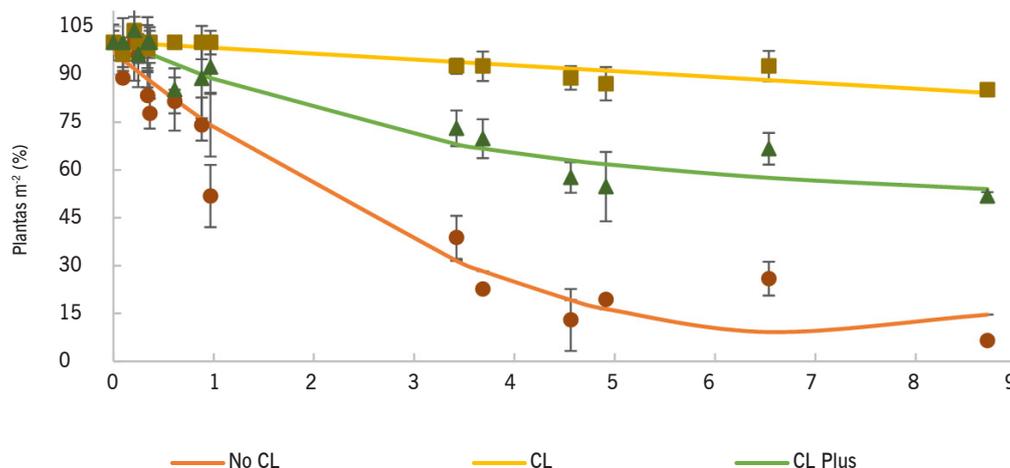
Otro factor que podría explicar la reducción de la concentración inicial de diclosulam es su pérdida por lixiviación, evento que suele producirse cuando ocurre una intensa precipitación luego de la aplicación (Arias-Estévez *et al.*, 2008), condición que se presentó en este experimento (Figura 1). Cabe destacar que diclosulam, por poseer un Koc bajo (90 ml g<sup>-1</sup>), presenta una adsorción débil a las partículas del suelo, de esta manera, gran proporción del mismo quedaría disponible en la solución del suelo (Linde, 1994). Sin embargo, Zabik *et al.* (2001) encontraron que la mayor proporción de diclosulam se encuentra en los primeros 15 cm de profundidad, por lo que sugieren que las pérdidas por lixiviación a mayores profundidades serían despreciables. El muestreo en este ensayo se realizó en los primeros 10 cm de profundidad, por lo que es probable que parte del herbicida hubiese alcanzado mayor profundidad y de esta manera, no se haya podido detectar. Por último, se descartarían las pérdidas por escurrimiento superficial debido a que el relieve del terreno en donde se realizó este trabajo carece de pendiente. Se descartan también las pérdidas por volatilización dado que es un compuesto de baja volatilidad (Universidad de Hertfordshire, 2022), así como las debidas a deriva puesto que la aplicación se realizó extremando los recaudos para evitarla.

### Efecto de los residuos de diclosulam sobre el cultivo

No se encontró fitotoxicidad de diclosulam sobre el número de plántulas emergidas (densidad inicial) en ninguno de los tres cultivares (datos no mostrados). Dichos resultados son coincidentes con Wixson y Shaw (1992), quienes tampoco observaron reducciones de la emergencia en sorgo, algodón, trigo y raigrás, expuestos a residuos en el suelo de imazaquin, herbicida perteneciente a las imidazolinonas, que poseen similar modo de

acción que diclosulam. Los herbicidas de acción residual se absorben por las raíces, desde la solución del suelo. Dado que estos herbicidas inhiben la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada a nivel de los cloroplastos, es probable que no se afecte la germinación ni la emergencia hasta que la planta comience a fotosintetizar, independizándose de la energía acumulada en los cotiledones (Anzalone, 2007). Por tal motivo, gran cantidad de plantas murieron a partir del estadio V1 hasta V4 (según escala de Schneiter y Miller, 1981) en el cultivar no CL. Las regresiones entre la densidad final de plantas y la concentración de diclosulam en el suelo fueron significativas ( $P < 0,05$ ), para cada cultivar (Figura 3). En el caso del CL, el grado de ajuste fue muy bajo ( $R^2 = 0,16$ ) (Cuadro 2). La densidad final en las parcelas sin residuos de diclosulam fue similar entre cultivares, resultando en 7,5 ( $\pm 0,6$ ), 7,4 ( $\pm 0,7$ ) y 7,3 ( $\pm 0,8$ ) plantas m<sup>-2</sup>, para el girasol CL, no CL y CL Plus, respectivamente. El cultivar no CL fue el más sensible, ya que su densidad se redujo 50% con concentraciones de diclosulam 5,9 veces menor a la de CL Plus, mientras que tal reducción no se obtuvo en el CL (Cuadro 2). En este cultivar, el rango de dosis estudiadas, no produjo una reducción del 50% de la densidad final, aunque sí una disminución del 10% (EC<sub>10</sub>) que osciló entre 3,6 y 7,3  $\mu\text{g i.a. kg}^{-1}$  con un 95% de confianza. Por su parte, el girasol no CL presentó reducciones entre 66% y 92% de la densidad final de plantas con concentraciones de diclosulam  $\geq 3,42 \mu\text{g kg}^{-1}$ , mientras que para CL Plus esta variable se redujo entre 27 y 48% para el mismo rango de concentraciones. Para CL se observaron menores pérdidas de plantas (7-15%).

El efecto observado sobre la densidad de plantas del híbrido no CL (Figura 3) coincide con resultados reportados previamente por Brighenti *et al.* (2002) para cultivos de girasol no CL sembrados a los 60 y 90 días después de la aplicación de diclosulam en un cultivo de soja como antecesor. Asimismo, efectos similares se observaron en otros cultivos no CL. Por ejemplo, Prostko y Webster (2015) obtuvieron pérdidas de plantas, rendimiento y síntomas visuales de fitotoxicidad, ante incrementos en los residuos de diclosulam sobre un cultivo de maíz no CL. Estos autores determinaron que luego de una aplicación debían transcurrir al menos cinco vidas medias (43 días) para volver a cultivar maíz de forma segura. Sin embargo, esta ventana temporal podría ser mayor en condiciones de reducida disponibilidad de humedad y bajas temperaturas que retrasen la disipación de diclosulam, por lo que el período para la implantación



**Figura 3.** Curvas dosis-respuesta del efecto de distintas concentraciones de diclosulam (22,3 µg, 11,2, µg, 5,6 µg, 2,8 µg, 1,4 µg, 0,7 µg y 0,3 µg kg<sup>-1</sup> de suelo) sobre la densidad final de plantas relativa al testigo sin herbicida de los cultivos de girasol no CL, CL y CL Plus. Las barras verticales indican el error estándar.

**Cuadro 2.** Concentración de diclosulam en el suelo que redujo 50% (EC<sub>50</sub>) o 10% (EC<sub>10</sub>) la densidad final de plantas para los cultivos de girasol no CL, CL y CL Plus evaluados

Variable	Cultivar	EC <sub>50</sub> (µg i.a.kg <sup>-1</sup> )	EC <sub>10</sub> (µg i.a.kg <sup>-1</sup> )	Parámetros de las regresiones <sup>3</sup>				
				c	b	B	C	R <sup>2</sup>
Densidad final de plantas	no CL	2,28 (2,02 - 2,55) <sup>1</sup>	0,39 (0,35 - 0,44)	44	1,3	--	--	0,53
	CL	- <sup>2</sup>	5,46 (3,59 - 7,33)	--	--	1,8	--	0,16
	CL Plus	13,4 (0-41,06)	0,89 (0,2 - 1,57)	--	--	-25	1,8	0,86

<sup>1</sup> Intervalos de confianza entre paréntesis (95%).

<sup>2</sup> No se alcanzó el valor del parámetro para las dosis estudiadas.

<sup>3</sup> Los parámetros c y b corresponden a regresión log-logística y B y C, a los de las regresiones lineal o cuadrática según corresponda

de girasol podría extenderse. Tal situación fue comprobada por Monquero *et al.* (2013), quienes observaron que la fitotoxicidad de diclosulam sobre girasol fue mayor cuando el contenido de humedad del suelo fue de 60% en comparación a 80% y 100%.

### Altura de las plantas

La altura registrada en cada momento de muestreo corresponde a las plantas que sobrevivieron para cada cultivar (Figura 4). Esto es de gran importancia especialmente en el caso del híbrido no CL, debido a que solo fueron muestreadas aquellas plantas que toleraron los residuos de diclosulam en el suelo a lo largo de su ciclo.

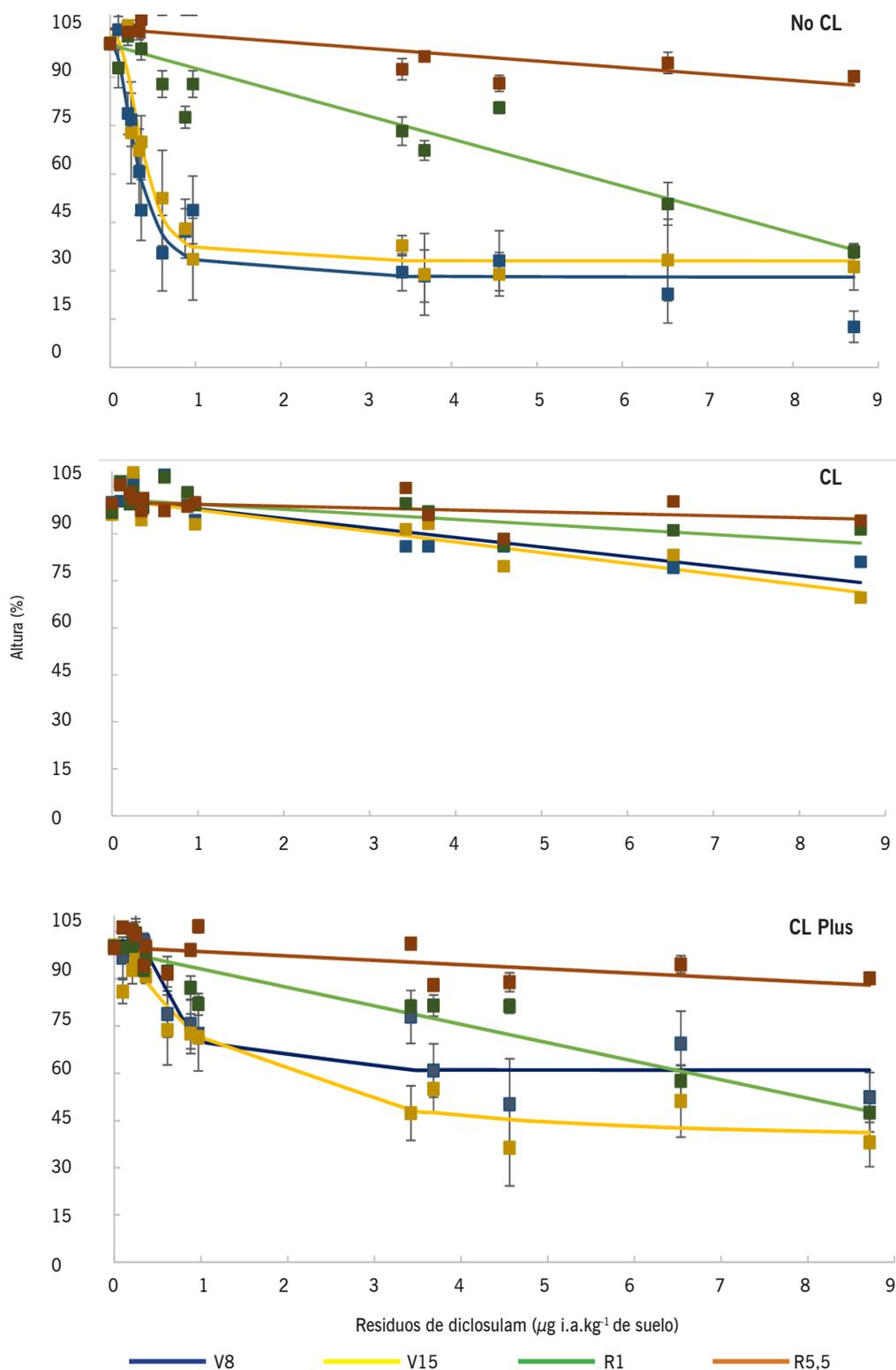
En los primeros estadios del cultivo (V8 y V15), el cultivar no CL fue el más sensible dado que la altura se redujo ≥50% ante concentraciones de diclosulam ≥ 0,36 µg kg<sup>-1</sup> mientras que en el CL Plus, se produjo a ≥ 3,42 µg kg<sup>-1</sup> (Figura 4). El más tolerante fue CL debido a que en el rango citado, solo disminuyó su altura entre 9 y 30%. Sin embargo, a partir de R1 hasta el momento de floración generalizada (R5.5), las plantas sobrevivientes

de los tres cultivares, recuperaron en gran medida la altura en comparación con el testigo, aún con las mayores concentraciones de residuos de diclosulam (Figura 4).

De acuerdo con los valores de EC<sub>50</sub>, el cultivar CL fue el más tolerante a los residuos de diclosulam dentro del rango explorado, no pudiéndose determinar un valor para este estimador en ningún estado fenológico (Cuadro 3). Por su parte, el girasol CL Plus siguió en orden de tolerancia a diclosulam, mientras que el cultivar no CL resultó el más sensible hasta antes de la floración generalizada (R5.5). Por último, al considerar una reducción de altura del 10% (EC<sub>10</sub>), los tres cultivares vieron reducidas sus alturas en todos los estados fenológicos con excepción del CL en R5.5, determinándose al igual que para el EC50 el siguiente orden de sensibilidad: no CL > CL Plus > CL (Cuadro 3).

### Intercepción de radiación

La intercepción de radiación durante las etapas reproductivas de las plantas que sobrevivieron se redujo con el aumento de la concentración de diclosulam en



**Figura 4.** Curvas dosis-respuesta del efecto de distintas concentraciones de diclosulam (22,3; 11,2; 5,6; 2,8; 1,4; 0,7 y 0,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de suelo) sobre la altura de plantas de girasol relativa al testigo sin herbicida para los cultivares CL, CL y CL Plus. La altura se registró a lo largo del ciclo del cultivo (V8, V15, R1 y R5.5). Las barras verticales indican el error estándar.

el suelo en mayor magnitud en el cultivar no CL que en el girasol CL Plus y CL, siendo este último muy poco afectado (Figura 5 y Cuadro 4). En R1, el cultivar no CL resultó el más sensible al mostrar las mayores disminuciones en la RFAi (entre 50% y 74%) con concentraciones de diclosulam en el suelo en el rango de 3,68 a 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Sin embargo, al finalizar el período reproductivo

(R7) dichas reducciones se estabilizaron en valores cercanos al 50% para el mismo rango de concentraciones (Figura 5). Por su parte, la RFAi disminuyó en el cultivar CL Plus con residuos de diclosulam  $\geq 3,42 \mu\text{g kg}^{-1}$ , aunque dichas reducciones fueron inferiores al no CL, oscilando entre 14 y 28%. Por último, el girasol CL, fue el menos afectado por la presencia de diclosulam en

**Cuadro 3.** Concentración de diclosulam en el suelo que redujo 50% ( $EC_{50}$ ) y 10% ( $EC_{10}$ ) la altura en distintos estadios fenológicos (V8, V15, R1 y R5.5) para los cultivos de girasol no CL, CL y CL Plus evaluados.

Estado fenológico	Cultivar	EC50 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	EC10 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	Parámetros de las regresiones <sup>3</sup>				
				c	b	B	C	R <sup>2</sup>
V8	no CL	0,45 (0,26 - 0,63) <sup>1</sup>	0,13 (0,07 - 0,20)	28	2,2	--	--	0,77
	CL	- <sup>2</sup>	3,29 (2,55 - 4,04)	--	--	-3,4	--	0,48
	CL Plus	-	0,51 (0,33 - 0,69)	61	3,7	--	--	0,47
V15	no CL	0,54 (0,36 - 0,73)	0,20 (0,14 - 0,26)	33	2,8	--	--	0,72
	CL	-	2,95 (2,45 - 3,45)	--	--	-3	--	0,34
	CL Plus	2,06 (0,9 - 4,21)	0,29 (0,13 - 0,45)	38	1,1	--	--	0,71
R1	no CL	6,89 (6,18 - 7,61)	1,38 (1,24 - 1,52)	--	--	-7,3	--	0,74
	CL	-	6,27 (4,73 - 7,80)	--	--	-1,6	--	0,31
	CL Plus	8,53 (7,58 - 9,48)	1,71 (1,52 - 1,90)	--	--	-5,9	--	0,69
R5.5	no CL	-	5,17 (3,92 - 6,43)	--	--	-2	--	0,34
	CL	-	-	--	--	-0,6	--	0,1
	CL Plus	-	7,23 (5,19 - 9,27)	--	--	-1,4	--	0,25

<sup>1</sup> Intervalos de confianza entre paréntesis (95%).

<sup>2</sup> No se alcanzó el valor del parámetro para las dosis estudiadas.

<sup>3</sup> Los parámetros c y b corresponden a regresión log-logística y B y C, a los de las regresiones lineal o cuadrática según corresponda.

**Cuadro 4.** Concentración de diclosulam en el suelo que redujo 50% ( $EC_{50}$ ) y 10% ( $EC_{10}$ ) la intercepción de RFA en distintos estadios fenológicos (R1, R5.1, R5.5 y R7) para los cultivos de girasol no CL, CL y CL Plus evaluados.

Estado fenológico	Cultivar	EC50 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	EC10 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	Parámetros de las regresiones <sup>3</sup>				
				c	b	B	C	R <sup>2</sup>
V8	no CL	0,45 (0,26 - 0,63) <sup>1</sup>	0,13 (0,07 - 0,20)	28	2,2	--	--	0,77
	CL	- <sup>2</sup>	3,29 (2,55 - 4,04)	--	--	-3,4	--	0,48
	CL Plus	-	0,51 (0,33 - 0,69)	61	3,7	--	--	0,47
V15	no CL	0,54 (0,36 - 0,73)	0,20 (0,14 - 0,26)	33	2,8	--	--	0,72
	CL	-	2,95 (2,45 - 3,45)	--	--	-3	--	0,34
	CL Plus	2,06 (0,9 - 4,21)	0,29 (0,13 - 0,45)	38	1,1	--	--	0,71
R1	no CL	6,89 (6,18 - 7,61)	1,38 (1,24 - 1,52)	--	--	-7,3	--	0,74
	CL	-	6,27 (4,73 - 7,80)	--	--	-1,6	--	0,31
	CL Plus	8,53 (7,58 - 9,48)	1,71 (1,52 - 1,90)	--	--	-5,9	--	0,69
R5.5	no CL	-	5,17 (3,92 - 6,43)	--	--	-2	--	0,34
	CL	-	-	--	--	-0,6	--	0,1
	CL Plus	-	7,23 (5,19 - 9,27)	--	--	-1,4	--	0,25

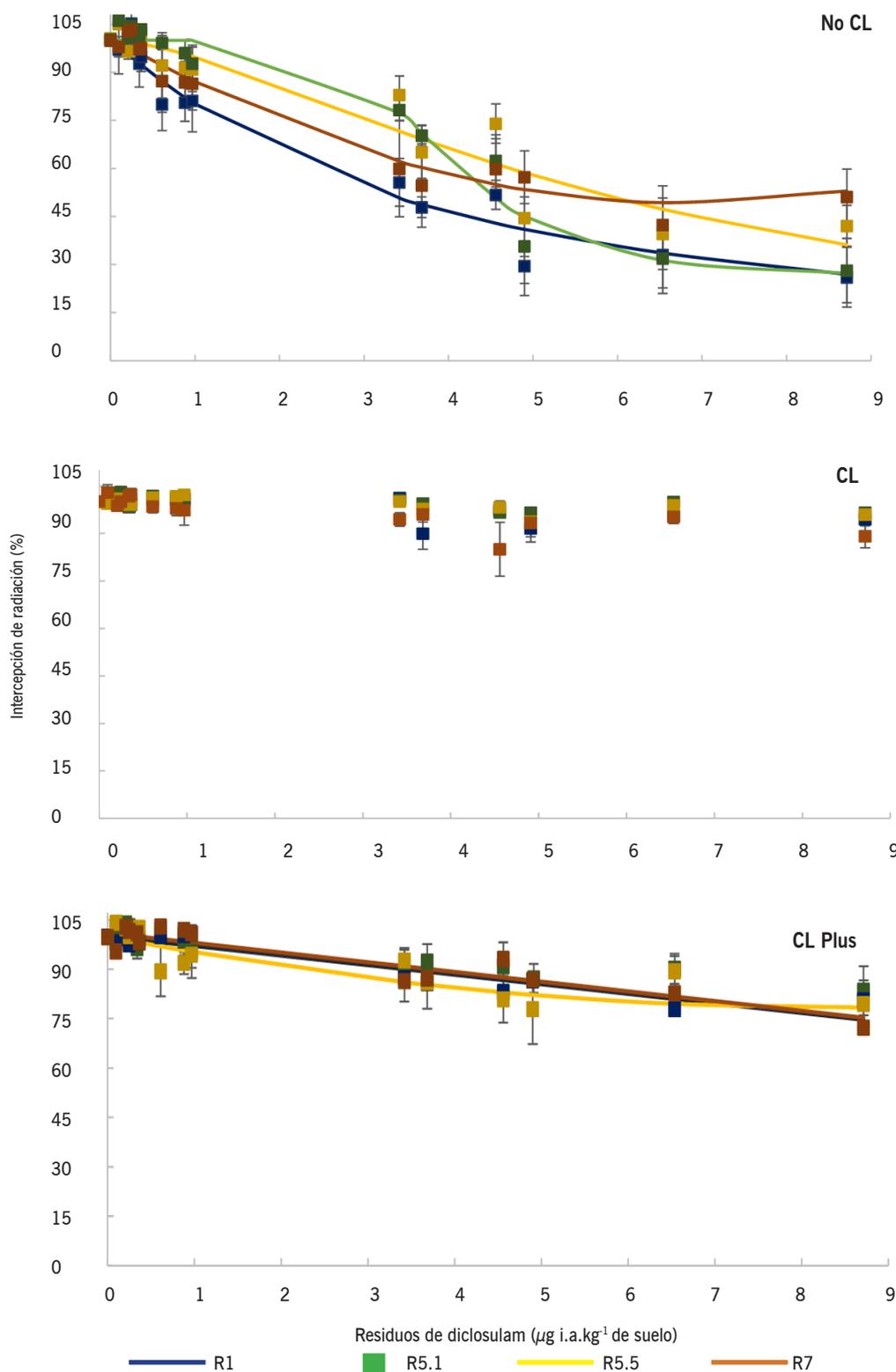
<sup>1</sup> Intervalos de confianza entre paréntesis (95%).

<sup>2</sup> No se alcanzó el valor del parámetro para las dosis estudiadas.

<sup>3</sup> Los parámetros c y b corresponden a regresión log-logística y B y C, a los de las regresiones lineal o cuadrática según corresponda.

el suelo, con disminuciones de la RFAi entre 0-15% con concentraciones de residuos  $\geq 3,42 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Figura 5). De acuerdo a los resultados, el principal factor que incidió

sobre la RFAi fue la disminución de la densidad de plantas que se observó a partir de concentraciones de diclosulam  $\geq 3,42 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Tal situación generó la presencia



**Figura 5.** Curvas dosis-respuesta del efecto de distintas concentraciones de diclosulam (22,3 µg, 11,2, µg, 5,6 µg, 2,8 µg, 1,4 µg, 0,7 µg y 0,3 µg kg<sup>-1</sup> de suelo) sobre la intercepción de radiación (RFaI) relativa al testigo sin herbicida para los cultivares de girasol no CL, CL y CL Plus durante cuatro eventos de la etapa reproductiva (R1, R5.1, R5.5 y R7). Las barras verticales indican el error estándar.

de parches o zonas con distribución irregular o con faltante de plantas, que impidieron una cobertura adecuada y uniforme, principalmente en el cultivar no CL, seguido del CL Plus y, en menor medida, por el CL. De esta manera, la asociación entre la densidad de plantas y la radiación acumulada fue muy elevada en los girasoles no CL ( $r = 0,98$ ;  $P < 0,001$ ) y CL Plus ( $r =$

$0,99$ ;  $P < 0,001$ ), mientras que en el CL fue significativa pero inferior ( $r = 0,83$ ;  $P < 0,05$ ). Cuando se alcanza el 95% de intercepción (IAF crítico), las tasas de crecimiento de los cultivos son máximas (Andrade *et al.*, 2002). En el presente trabajo, las plantas alcanzaron el IAF crítico entre R1 y R5.5; en adelante se produjo una disminución del índice de área foliar (datos no

presentados). Según los resultados, se determinó que, durante el período reproductivo, el cultivar CL mantuvo su intercepción de radiación en aproximadamente un 95%, cuando fue sembrado en suelo con residuos de diclosulam entre 0 y 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Figura 5). El girasol CL Plus sólo mantuvo este nivel de intercepción de la RFA en el rango de concentraciones de 0-0,97  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Por último, el no CL, fue el más afectado, observándose reducciones de la RFAi desde 0,36 hasta 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

### Rendimiento y sus componentes

El rendimiento se ajustó significativamente ( $P < 0,05$ ) a curvas de tipo sigmoidea para el cultivar no CL ( $R^2 = 0,77$ ), y lineal para el CL Plus ( $R^2 = 0,40$ ). En cambio, para el CL el ajuste no fue significativo debido a que el rendimiento no fue afectado por las concentraciones de diclosulam en el rango estudiado (Figura 6). En ausencia de residuos de diclosulam en el suelo, los cultivos no CL, CL y CL Plus alcanzaron rendimientos de 3.596 ( $\pm 425$ ), 3.504 ( $\pm 505$ ) y de 3.020 ( $\pm 307$ )  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. La concentración de residuos de diclosulam en el suelo en la que no se produjo reducción significativa del rendimiento respecto de los tratamientos sin herbicida, estuvo comprendida en el rango entre 0 y 0,9  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para los cultivares no CL y CL Plus, lo cual representa un 3,9% de la concentración de una aplicación recomendada (22,3  $\mu\text{g i.a. kg}^{-1}$ ). Según los ajustes, el cultivar no CL resultó más sensible ya que la reducción del rendimiento fue marcada a partir de 3,42  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , la cual fue cercana al 80% hasta la máxima concentración (8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) mientras que el cultivar CL Plus disminuyó un 5,1% por cada microgramo de diclosulam en el suelo, alcanzando una reducción máxima de 47,1% con la mayor concentración (Figura 6).

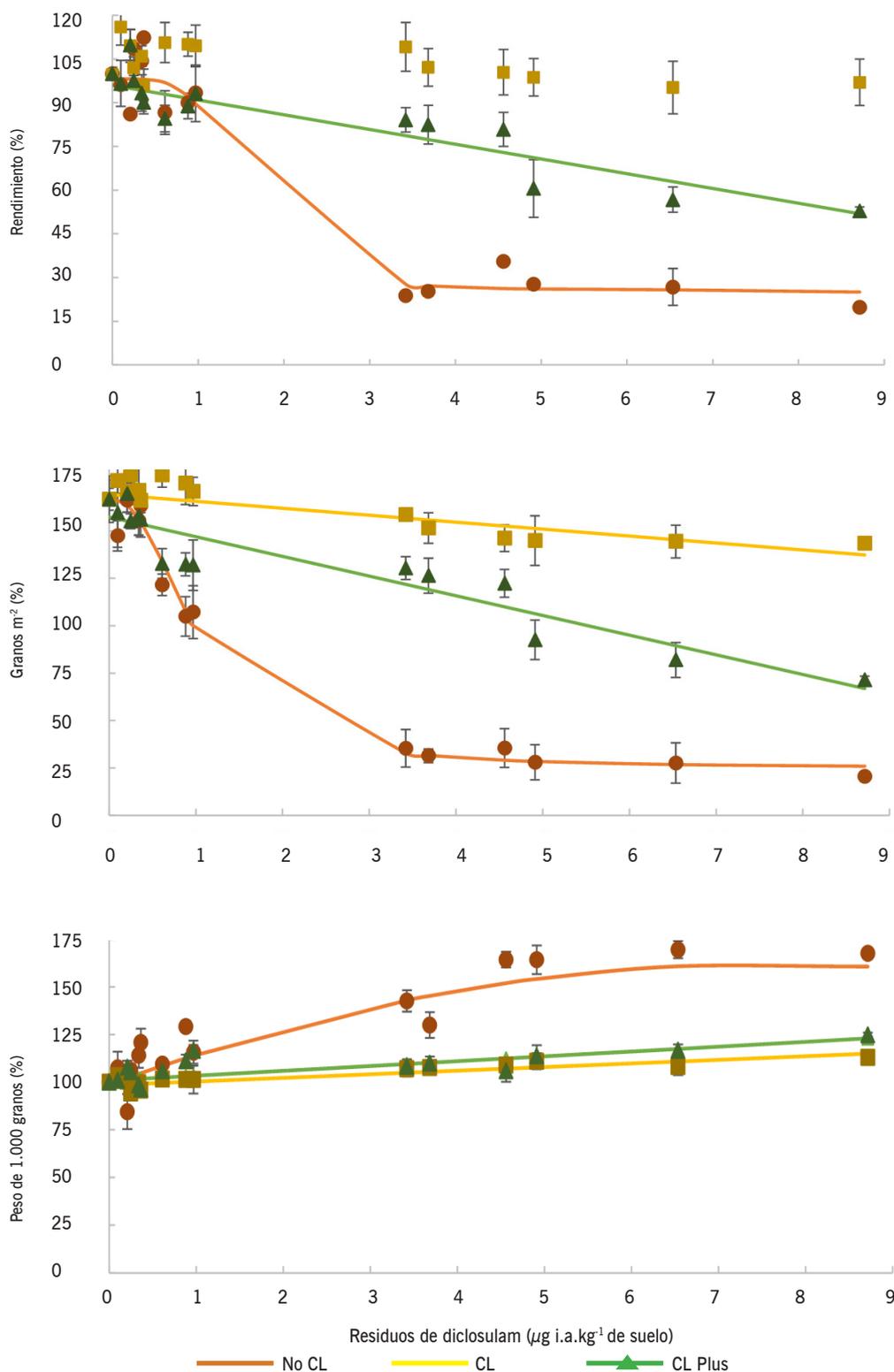
Los efectos observados sobre el rendimiento se explican, en gran medida, por la densidad de plantas lograda en cada caso por la presencia de residuos de diclosulam en el suelo, lo cual afectó principalmente al cultivar no CL seguido del CL Plus (Figura 3). En estos cultivares, la disminución de la densidad causó reducciones de la RFAi durante el período crítico de determinación del rendimiento (entre R1 y R5), que a su vez influyó sobre el número de granos  $\text{m}^{-2}$ , componente que más explica el rendimiento de los cultivos. De tal manera, se determinaron elevadas correlaciones con la densidad final de plantas en el cultivar no CL ( $r = 0,88$ ;  $P < 0,001$ ) y CL Plus ( $r = 0,87$ ;  $P < 0,001$ ), así como con la RFAi (no CL,  $r = 0,99$ ,  $P < 0,001$ ; CL Plus,  $r = 0,93$ ,  $P < 0,001$ ). En el

caso del cultivar CL, no se encontraron correlaciones significativas con las anteriores variables.

Resultados coincidentes se observaron para otros herbicidas. En soja, por ejemplo, Edwards y Puricelli (2005) documentaron reducciones en la intercepción de RFA que se tradujeron en pérdidas de rendimiento, en un cultivo de soja tratado con lactofen y acifluorfen en un año seco. Asimismo, Nelson y Renner (2001) mostraron que herbicidas aplicados en post-emergencia generan reducciones en el crecimiento y el IAF del cultivo de soja, lo cual puede afectar su intercepción de radiación y causar pérdidas de rendimiento. Sin embargo, coincidentemente con los resultados mostrados en el presente trabajo, estos autores encontraron que los efectos descriptos no se observaron en el cultivar de soja CL, que mantuvo elevada la intercepción de radiación durante la etapa crítica de determinación del rendimiento. En el presente trabajo, la sensibilidad de los cultivares de girasol frente a los residuos de diclosulam indicó que la EC50 del cultivar no CL resultó 5,2 veces menor a la del CL Plus, mientras que el girasol CL no presentó valores de EC50 ni EC10 (Cuadro 5).

En cuanto al número de granos  $\text{m}^{-2}$ , se obtuvieron ajustes lineales significativos ( $P < 0,05$ ) para los cultivares CL y CL Plus ( $R^2 = 0,15$  y  $0,54$ , respectivamente), mientras que para el girasol no CL fueron de tipo sigmoideo ( $R^2 = 0,88$ ). En las parcelas sin residuos de diclosulam, la cantidad de granos  $\text{m}^{-2}$  producida fue de 6.857 ( $\pm 808$ ), 8.420 ( $\pm 1.083$ ) y de 6.108  $\pm 703$  granos  $\text{m}^{-2}$ . El cultivar no CL resultó el más sensible puesto que la EC50 fue 6,3 veces menor a la del CL Plus, mientras que dicho parámetro no se alcanzó en el girasol CL dentro del rango de residuos evaluados (Cuadro 5). En el cultivar no CL, la pérdida ante la mayor concentración, fue de aproximadamente 85%, lo que representa alrededor de 5.800 granos  $\text{m}^{-2}$ , mientras que en el CL Plus, tal reducción fue de 57%, cerca de 3.500 granos  $\text{m}^{-2}$ .

El peso de 1.000 granos se ajustó significativamente ( $P < 0,05$ ) mediante un modelo cuadrático en el cultivar no CL ( $R^2 = 0,70$ ), mientras que, en los restantes fue de tipo lineal, aunque de bajo ajuste ( $R^2 = 0,18$  y  $0,27$  para el CL y CL Plus, respectivamente) (Figura 6). El peso de los granos en las parcelas libres residuos de diclosulam fue de 52,7 ( $\pm 5$ ), 42,1 ( $\pm 4,1$ ) y 49,6 ( $\pm 4,2$ ) g para no CL, CL y CL Plus, respectivamente. En todos los cultivares, se observó un incremento del peso ante el aumento de las concentraciones de diclosulam, el cual fue más marcado en el cultivar no CL. Esta situación estuvo muy



**Figura 6.** Curvas dosis-respuesta del efecto de distintas concentraciones de diclosulam (22,3; 11,2; 5,6; 2,8; 1,4 µg; 0,7 y 0,3 µg kg<sup>-1</sup> de suelo) sobre el rendimiento y sus componentes, número de granos m<sup>-2</sup> y peso de 1.000 granos, relativos al testigo sin herbicida para los cultivares de girasol no CL, CL y CL Plus. Las barras verticales indican el error estándar.

asociada con la densidad de plantas, tal como lo demuestra la elevada correlación negativa obtenida con esta variable para el material no CL ( $r = -0,92$ ;  $P < 0,001$ ), el CL Plus ( $r = -0,69$ ;  $P < 0,01$ ) y el CL ( $r = -0,68$ ;  $P < 0,01$ ). La elevada asociación con la densidad de plantas en el girasol no CL, se debió a que ésta fue más afectada por las concentraciones de diclosulam que en

los girasoles Clearfield (CL y CL Plus). Por tal motivo, las plantas sobrevivientes tuvieron una mayor disponibilidad de recursos, permitiendo un mayor desarrollo de granos (Trápáni *et al.*, 2003), debido a que el girasol es una especie que posee una plasticidad característica que le permite compensar parcialmente pérdidas de rendimiento. Esto se aprecia por el aumento del 60%

**Cuadro 5.** Concentración de diclosulam en el suelo que redujo 50% ( $EC_{50}$ ) o 10% ( $EC_{10}$ ) el rendimiento y el número de granos por superficie para los cultivos de girasol no CL, CL y CL Plus evaluados.

Variable	Cultivar	EC50 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	EC10 ( $\mu\text{g i.a.kg}^{-1}$ )	Parámetros de las regresiones <sup>3</sup>				
				c	b	B	C	R <sup>2</sup>
Rendimiento	no CL	1,82 (0,6 - 3,05) <sup>1</sup>	1,02 (0,67 - 1,36)	26	4,4	--	--	0,77
	CL	- <sup>2</sup>	-	--	--	--	--	--
	CL Plus	9,41 (7,94-10,87)	2 (1,57 - 2,44)	--	--	-5,1	--	0,42
Granos m <sup>-2</sup>	no CL	1,19 (0,9 - 1,47)	0,44 (0,34 - 0,54)	15	2,4	--	--	0,88
	CL	-	4,6 (2,94 - 6,26)	--	--	-2,2	--	0,15
	CL Plus	7,55 (6,5-8,6)	1,51 (1,3 - 1,72)	--	--	-6,2	--	0,54
Peso 1000 granos	no CL	--	--	--	--	17	-1,1	0,7
	CL	--	--	--	--	1,9	--	0,18
	CL Plus	--	--	--	--	2,5	--	0,27
Materia grasa	no CL	-	-	--	--	-1,1	--	0,8
	CL	-	-	--	--	-0,2	--	0,35
	CL Plus	-	-	--	--	-0,4	--	0,47

<sup>1</sup> Intervalos de confianza entre paréntesis (95%).

<sup>2</sup> No se alcanzó el valor del parámetro para las dosis estudiadas.

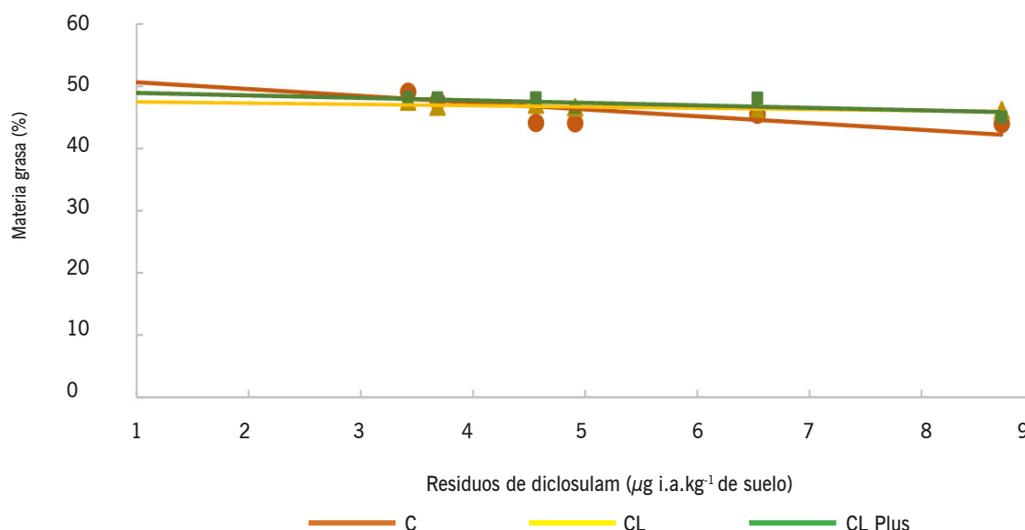
<sup>3</sup> Los parámetros c y b corresponden a regresión log-logística y B y C, a los de las regresiones lineal o cuadrática según corresponda.

del peso ante las concentraciones más fitotóxicas. Los cultivares Clearfield tuvieron una menor respuesta, siendo el girasol CL el de menor sensibilidad. En coincidencia con los resultados del presente trabajo, Pérez (2010) documentó tendencias similares para el peso de 1000 granos, en un cultivo de girasol expuesto a residuos de clorimuron, metsulfuron e iodosulfuron, aplicados durante el barbecho.

El contenido de materia grasa en las parcelas sin residuos de diclosulam resultó de 52, 48 y 50% en los girasoles no CL, CL y CL Plus, respectivamente, obediendo dichos valores a las diferencias intrínsecas de cada cultivar. El girasol no CL, fue el más afectado por los residuos de diclosulam en el suelo en comparación con los restantes, observándose una reducción de alrededor de 15% respecto al testigo con concentraciones entre 4,6 y 8,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Figura 7). En el cultivar CL Plus las mayores reducciones de la materia grasa fueron cercanas a 10% para concentraciones de 6,5 y 8,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , mientras que en el CL resultaron de 4% con 8,7  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de diclosulam. Esto podría explicarse por la disminución de la densidad de plantas y concomitantemente de la radiación acumulada en los cultivares más afectados por los residuos de diclosulam como fueron el no CL y CL Plus. En tal sentido, se determinó una elevada correlación con la RFAi (no CL,  $r= 0,95$ ,  $P < 0,01$ ; CL Plus,

$r= 0,92$ ,  $P < 0,01$ ), mientras que con la densidad de plantas fue menor (no CL,  $r= 0,87$ ,  $P < 0,01$ ; CL Plus,  $r= 0,60$ ,  $P < 0,01$ ). Holt y Campbell (1984) observaron incrementos significativos del contenido de aceite de aproximadamente 1%, con densidades que variaron de 40.000 a 85.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Villalobos *et al.* (1994) explicaron que, al incrementar la densidad de plantas, la cantidad de materia grasa por semilla no varía considerablemente. Sin embargo, el peso del grano disminuye, determinado que la concentración de materia grasa en relación al peso del grano sea menor en aquellos de mayor tamaño (que corresponden a las densidades más bajas). Similares tendencias fueron documentadas por Gubbels y Dedio (1986) con densidades que de 30.000 a 75.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Por otro lado, el estrés provocado por los residuos de diclosulam podría interferir en los procesos fisiológicos involucrados en la síntesis de aceite. Por ejemplo, la aplicación de paraquat en precosecha de trigo disminuyó el porcentaje de proteína en grano al interrumpir el llenado de granos (Manthey *et al.*, 2004).

Los resultados obtenidos indican que los cultivares de girasol analizados difieren en su sensibilidad a la presencia de residuos de diclosulam en el suelo, lo cual indica que no sería recomendable sembrar los cultivares no CL (Syn 3825) y CL Plus (Paraíso 1600 CL Plus) en presencia de concentraciones mayores a 1 y 2  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ,



**Figura 7.** Curvas dosis-respuesta del efecto de distintas concentraciones de diclosulam (22,3; 11,2; 5,6; 2,8; 1,4; 0,7 y 0,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de suelo) sobre el contenido de materia grasa relativo al testigo sin herbicida para los cultivares de girasol no CL, CL y CL Plus. Las barras verticales indican el error estándar.

respectivamente. En cambio, el uso del cultivar CL (Paraíso 102 CL) sería una alternativa con presencia de residuos inferior a 8,71  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Sin embargo, la información generada para los tres cultivares evaluados no se debería extrapolar a otros que posean esta tecnología, hasta que no se disponga de mayor información al respecto. Asimismo, y debido a que el comportamiento de los herbicidas en el suelo es afectado por sus propiedades, así como por las condiciones

climáticas, es que la concentración disponible de diclosulam en la solución del suelo a través del tiempo puede variar entre distintos ambientes productivos. Por tal motivo, los resultados de estos experimentos son válidos para condiciones edáficas y climáticas similares o relacionadas a las del presente trabajo, mientras que se deberían realizar ensayos en distintas regiones agroecológicas a fin de confirmar los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H., Aguirrezabal, L. A. N. y Rizzalli, R. H. (2002). Crecimiento y rendimiento comparados. Capítulo 3. En: Andrade, F. H. y Sadras, V. O. (Eds.). *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. (pp. 57-96). Balcarce, Argentina: Producciones Gráficas Sirio.
- Anzalone, A. (2007). *Herbicidas. Modos y mecanismos de acción en plantas*. Venezuela: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Departamento de Fitotecnia, UCLA. 72 pp. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/259175751\\_Herbicidas\\_Modos\\_y\\_mecanismos\\_de\\_accion\\_en\\_plantas](https://www.researchgate.net/publication/259175751_Herbicidas_Modos_y_mecanismos_de_accion_en_plantas)
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, J. C. y García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123 (4), 247-260. Doi: 10.1016/j.agee.2007.07.011
- Bailey, W. A. y Wilcut, J. W. (2003). Tolerance of imidazolinone-resistant corn (*Zea mays*) to diclosulam. *Weed Technology*, 17 (1), 60-64. Doi: 10.1614/0890-037X(2003)017[0060:TOIRCZ]2.0.CO;2
- Bedmar, F. y Gianelli, V. (2014). Comportamiento de los herbicidas en el suelo. En: Fernández, O. A., Leguizamón, E. S. y Acciaresi, H. A. (Eds.). *Malezas en invasoras de la Argentina*. (pp. 361-390). Bahía Blanca, Argentina: EdiUNS.
- Bhattacharyya, A., Ganguly, P., Barik, S. R. y Kundu, C. (2012). Studies on the persistence of diclosulam in soybean crop. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 18, 29-37. Recuperado de: <https://1library.net/document/yeo2817q-studies-persistence-diclosulam-soybean-crop.html>
- Board, J. (2000). Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. *Crop Science*, 40 (5), 1285-1294. Doi: 10.2135/cropsci2000.4051285x
- Brighenti, A. M., Moraes, V. J., Oliveira Júnior, R. S., Gazziero, D. L. P., Barroso, A. L. L. y Gomes, J. A. (2002). Persistencia e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girasol em sucessão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 559-565. Doi: 10.1590/S0100-204X2002000400019
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes-CASAFE. (2022). Guía online de productos fitosanitarios. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: [https://guiaonline.casafe.org/index.php/ms\\_session\\_manager/authenticate](https://guiaonline.casafe.org/index.php/ms_session_manager/authenticate)
- Colquhoun, J. (2006). *Herbicide persistence and carryover*. (pp. 1-11). Estados Unidos: University of Wisconsin-Extension. Recuperado de: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/A3819.pdf>
- Dan, H., Dan, L., Barroso, A., Procópio, S., Pereira Braz, G. y Alonso, D. (2012). Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girasol cultivado em sucessão. *Ciência Rural*, 42 (11), 1929-1935. Doi: 10.1590/S0103-84782012005000081

- De Souza, P. A. (2022). Residual de herbicidas aplicados na cultura de soja sobre cultivos subsequentes. Tesis de maestría. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, Brasil. Recuperado de: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-15092022-165157/publico/Pablo\\_Alves\\_de\\_Sousa\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-15092022-165157/publico/Pablo_Alves_de_Sousa_versao_revisada.pdf)
- Edwards, J. T. y Purcell, L. C. (2005). Light interception and yield response of ultra-short-season soybean to diphenylether herbicides in the midsouthern United States. *Weed Technology*, 19, 168-175. Doi: 10.1614/WT-04-085R
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. (2000). Recomendacoes técnicas para a cultura da soja na regio central do Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Londrina, Brasil. Documento Nº 132. 226 pp.
- Food and Agriculture Organization-FAO. (2022). Cultivos y productos de ganadería. FAOSTAT. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Ganguly, P., Barik, S. R. y Bhattacharyya, A. (2016). Dissipation kinetics of diclosulam 84% WDG in soils of four different agro-climatic regions under laboratory simulated condition. *Journal of Crop and Weed*, 12 (2), 116-119. Recuperado de: <https://www.cropandweed.com/archives/2016/vol12issue2/24.pdf>
- Gehrke, V. R., Fipke, M. V., Ávila, L.A. y Camargo, E. R. (2021). Understanding the opportunities to mitigate carryover of imidazolinone herbicides in lowland rice. *Agriculture*, 11 (299), 1-17. Doi: 10.3390/agriculture11040299
- Gianelli, V., Bedmar, F., Diez de Ulzurum, P. y Panaggio, H. (2017). Dinámica de emergencia y competencia intraespecífica en *Conyza sumastrensis*. *Agrociencia*, 21 (1), 69-77. Recuperado de: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482017000100069](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000100069)
- Gubbels, G. H. y Dedio, W. (1986). Effects of plant density and soil fertility on oilseed sunflower genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 66 (3), 521-527. Recuperado de: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps86-071>
- Holt, N. W. y Campbell, S. J. (1984). Effect of plant density on the agronomic performance of sunflower on dryland. *Canadian Journal of Plant Science*, 64, 599-605. Doi: 10.4141/cjps84-084
- International Union of Pure and Applied Chemistry-IUPAC. (2022). Diclosulam. Global availability of information on agrochemicals. Recuperado de: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1154.htm>
- Ivanovich, A. y Lavilla, M. (2016). *Diagnóstico y manejo de enfermedades en girasol*. (pp. 1-65). Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Jabusch, T. W. y Tjeerderma, R. S. (2008). Chemistry and fate of triazolopyrimidine sulfonamide herbicides. En: Whitacre, D. M. (Ed.). *Reviews of environmental contamination and toxicology*. (pp. 31-52). Doi: 10.1007/978-0-387-73163-6\_2
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. 2ª ed. México: Thomson. 666 pp.
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. y Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22 (4), 1050-1064. Doi: 10.1080/10807039.2015.1133242
- Linde, C. D. (1994). Physico-chemical properties and environmental fate of pesticides. Environmental Hazards Assessment Program, California. 53 pp. Recuperado de: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.441.1107&rep=rep1&type=pdf>
- Manthey, F. A., Chakraborty, M., Peel, M. D. y Pederson, J. D. (2004). Effects of preharvest applied herbicides on breadmaking quality of hard red spring wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 441-446. Doi: 10.1002/jsfa.1676
- Mendes, K. F., Carvalho Dias, R. y Rodrigues Dos Reis, M. (2017). Carryover e persistencia de herbicidas em solos. *Boletim técnico, Sociedade Brasileira da Ciencia das Plantas Daninhas*. 1-10 pp. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Kassio-Mendes-2/publication/321197107\\_Carryover\\_e\\_persistencia\\_de\\_herbicidas\\_em\\_solos/links/5a1469360f7e9b925cd50cc6/Carryover-e-persistencia-de-herbicidas-em-solos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kassio-Mendes-2/publication/321197107_Carryover_e_persistencia_de_herbicidas_em_solos/links/5a1469360f7e9b925cd50cc6/Carryover-e-persistencia-de-herbicidas-em-solos.pdf)
- Monquero, P. A., Munhoz, W. S. y Da Silva Hirata, A. C. (2013). Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. *Revista Agro @ambiente On-line*, 7 (3), 331-337. Doi: 10.18227/1982-8470ragro.v7i3.1311
- Murdock, S. W. y Witt, W. W. (1998). Developing a soil bioassay for diclosulam. *Agricultural Science and Technology Information*, 51, 226-227.
- Nelson, K. A. y Renner, K. A. (2001). Soybean growth and development as affected by glyphosate and postemergence herbicide tank mixtures. *Agronomy Journal*, 93, 428-434. Doi: 10.2134/agronj2001.932428x
- Pérez, M. B. (2010). Efecto de residuos de herbicidas sobre el cultivo de girasol. INTA, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Memoria técnica 2010-2011. 50-52 pp. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-mt2011\\_perez\\_efecto\\_residuos\\_herbicidas.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-mt2011_perez_efecto_residuos_herbicidas.pdf)
- Prostko, E. P. y Webster, T. M. (2015). Field corn response to diclosulam. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 1 (1), 1-5. Doi:10.2134/cftm2015.0134.
- Puricelli, E. (2016). Persistencia, residualidad y fitotoxicidad de los herbicidas. En: Purecelli, E. y Faccini, D. (Eds.). *Herbicidas aplicados al suelo y al follaje*. (pp. 123-134). Amalevi, Rosario, Argentina.
- Savin, R. y Sorlino, D. M. (2003). Calidad de los granos y estimadores más comunes. En: Satorre, E. H. Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A., De La Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E. y Savin, R. (Eds.). (2003). *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. (pp. 26-45). Buenos Aires: Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Schneiter, A. A. y Miller, J. F. (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21, 901-903. Doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060024x
- Seefeldt, S. S., Jennen, J. E. y Fuerst, E. P. (1995). Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, 9 (2), 218-227. Doi: 10.1017/S0890037X00023253
- Shaner, D. L. (Ed.). (2014). *Herbicide handbook*. 10ª ed. (pp. 513). Lawrence, KS, Estados Unidos: Weed Sci. Soc. of Am.

- Trápani, N., Pereira López, N., Sadreas, V. O. y Hall, A. J. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del girasol. En: Satorre, E. H., Benech Arnold, R., Slafer, G. A., De La Fuente, E.B., Miralles, D. J., Otegui, M. E. y Savin, R. (Eds.). *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. (pp. 203-241). Buenos Aires: Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Villalobos, F. J., Sadras, V. O., Soriano, A. y Fereres, E. (1994). Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower hybrids. *Field Crops Research*, 36, 1-11 Doi: 10.1016/0378-4290(94)90047-7
- Wesenbeeck, I. J., Zabik, J. M., Wolt, J. D., Bormett, G. A. y Roberts, D. W. (1997). Field dissipation of cloransulam-methyl at four sites in the US soybean market. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45 (8), 3299-3307. Doi: 10.1021/jf9702050
- Wixson, M.B. y Shaw, D.R. (1992). Effects of Soil Applied AC 263-222 on Crops Rotated with Soybean (Glycine max). *Weed Technology*, 6, 276-279. Doi: 10.1017/S0890037X00034722
- Zabik, J.M., Wesenbeeck, I.J., Peacock, A.L., Kennard, L.M. y Roberts, D.W. (2001). Terrestrial field dissipation of diclosulam at four sites in the United States. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 49, 3284-3290. Doi: 10.1021/jf001236p