

Simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba sobre la fitotoxicidad de 12 cultivos hortícolas

José Alcides Montemayor Aizpurua

Zamorano, Honduras

Diciembre; 2009

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba sobre la fitotoxicidad de 12 cultivos hortícolas

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

José Alcides Montemayor Aizpurua

Zamorano, Honduras
Diciembre; 2009

Simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba sobre la fitotoxicidad de 12 cultivos hortícolas

Presentado por:

José Alcides Montemayor Aizpurua

Aprobado:

Abelino Pitty, Ph.D.
Asesor principal

Miguel Vélez, Ph.D.
Director
Carrera de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Jeffery Pack, D.P.M.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador del Área de Fitotecnia

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Montemayor, J. A. 2009. Simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba sobre la fitotoxicidad de 12 cultivos hortícolas. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 34 p.

Debido al viento y otros factores, hay bastante probabilidad de que el pesticida aplicado en los campos, llegue a los vecinos y haga daño a otros cultivos. Se determinó el daño causado por los herbicidas 2,4-D y Dicamba, a bajas dosis aplicados a 12 cultivos hortícolas, en dos grupos diferentes (plantas con dos semanas y con cuatro semanas después de la germinación) en invernadero. Se utilizaron tres dosis diferentes (Dicamba 0, 6 y 19 g/ha ia; 2,4-D 0, 12 y 38 g/ha ia). Los datos de daños visuales y pesos secos de las plantas se tomaron 21 días después de la aplicación. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, de acuerdo con la ubicación de las plantas en el invernadero. Se realizaron cinco repeticiones de cada tratamiento para cada cultivo. Los daños a los 21 días después de deriva fueron mayores en plantas jóvenes aplicadas con la dosis más alta. La mayor pérdida de crecimiento se observó en las plantas de tomate. Se observó que a mayor dosis, el peso seco de las plantas disminuyó. El cultivo menos susceptible a los herbicidas en daño y peso seco a los 21 días después de aplicado fue la calabaza spaghetti.

Palabras clave: Ácido 2,4-dichlorofenoxiacético, Ácido 3,6-dicloro-2-metoxi-benzoico, herbicida, reguladores de crecimiento, herbicidas clorofenoxi,

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros y figuras.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	31
5. RECOMENDACIONES	32
6. LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Análisis de efectos principales de las dosis en daño y pérdida de peso seco de las plantas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba. La deriva fue simulada por 2 dosis para cada herbicida..... 27
2. Análisis de efectos principales de las edades en daño y pérdida de peso seco de las plantas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 28

Figura

1. Daño de las plantas de berenjena a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 6
2. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de berenjena a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 7
3. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de chile a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 8
4. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de chile a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 9
5. Daño de las plantas de tomate a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 10

6. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de tomate a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el a emergtestigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de lencia..... 11
7. Daño de las plantas de brócoli a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 12
8. Daño de las plantas de brócoli a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 13
9. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de coles de Bruselas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 14
10. Pérdida de peso seco de las plantas de coles de Bruselas a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 15
11. Daño y pérdida en peso seco de las plantas de coliflor a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 16
12. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de coliflor a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 17
13. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de repollo a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 18
14. Pérdida de peso seco de las plantas de repollo a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 19
15. Daño de las plantas de calabaza spaghetti a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 20
16. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de melón a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 21

17. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de melón a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 22
18. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de sandía a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 23
19. Daño de las plantas de sandía a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia. 24
20. Daño de las plantas de frijol a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 25
21. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de frijol a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia..... 26

1. INTRODUCCIÓN

El éxito del control químico de las malezas, en forma selectiva, radica en el poder que tienen los herbicidas de cambiar el metabolismo de las malezas de manera tal que impida su crecimiento y desarrollo, sin afectar los cultivos. Todo herbicida actúa sobre alguno de los procesos fisiológicos de la planta, y hoy en día se tiene extensa información sobre esta acción (Jerry 1982).

En el futuro, los métodos de control de maleza que actualmente están siendo investigados, permitirán una ampliación en el control de malezas con herbicidas y con métodos mecánicos, tanto en el área agrícola, como en el área no agrícola. El objetivo general de nuevos los enfoques es descubrir instrumentos más aceptables para el medio ambiente en la gestión del manejo de malas hierbas (Watson 1993).

Cuando se aplica un producto herbicida que es tóxico a un cultivo vecino y se presenta un fuerte viento durante la aplicación, puede ocasionársele perjuicios (Jerry 1981). El movimiento de la gota herbicida resultante de la pulverización fuera del área donde se encuentra el objetivo buscado (maleza, cultivo, insecto, etc.) se denomina deriva y es favorecida por el viento, altura de la barra y tamaño de la gota. La ocurrencia de daños por deriva de herbicidas es frecuente, aún en el mismo campo del productor, como consecuencia de la vecindad de cultivos diferentes o estadios de crecimiento distintos para una misma especie. Si se procede con prisa y sin tomar precauciones en la operación de pulverización y existe algún cultivo vecino sensible al herbicida aplicado, las probabilidades de que ocurra algún daño son altas. Resulta desgastante lograr una reparación económica por el daño sufrido (Olea 1997).

Los herbicidas reguladores de crecimiento son los más utilizados a nivel mundial. Algunos se utilizan extensivamente en los tres cultivos líderes en el mundo (trigo, arroz y maíz), y hay un uso substancial en arbustos, pastizales, césped, y otros cultivos de hierba (Weller *et al.* 2002). Junto con los herbicidas que afectan la fotosíntesis, son los más antiguos en el mercado. A pesar de ser de los primeros herbicidas desarrollados, no se conoce con exactitud su mecanismo de acción, ni el sitio específico de acción. Se cree que actúan en muchos sitios, por lo tanto, ha sido difícil determinar cuál es el más importante. Además hay mucha diferencia en la sensibilidad del tipo y edad fisiológica del tejido (raíces, hojas, tallos, meristemas) a estos herbicidas (Pitty 1995).

Estos herbicidas producen efectos profundos sobre el crecimiento y la estructura de plantas; los síntomas incluyen las hojas malformadas, doblez e hinchamiento de vástagos (epinastia), raíces deformadas, y decaimiento del tejido. El tratamiento causa la división de las células del parénquima, produciendo tejido calloso, exceso de tejido vascular en

hojas jóvenes, taponamiento del floema, y la inhibición del crecimiento de la raíz. Los tejidos meristemáticos son más afectados que tejido maduro. La endodermis del cambio, periciclos y parénquima del floema son particularmente sensibles (Weller *et al.*, 2002). Los herbicidas que actúan de esta manera, son rápidamente translocados en el xilema y floema. Penetran principalmente por el follaje, pero también por las raíces y el brote. Los fenólicos, benzoicos y piridines tiene acción como reguladores de crecimiento (Pitty 1995).

Estos herbicidas al aplicarse a las plantas le dan el mensaje de prepararse para crecer y empiezan a traslocar reservas, a aumentar la síntesis de proteínas y ARN. Los tejidos viejos o maduros que ya habían dejado de crecer, empiezan a crecer; y los tejidos meristemáticos que estaban en crecimiento activo dejan de crecer. Se cree que a los tejidos viejos llega poca cantidad del herbicida y entonces actúa como estimulador del crecimiento, pero en tejidos jóvenes llega más cantidad y entonces actúa como inhibidor del crecimiento (Ashton y Crafts 1981). Después se observan los efectos morfológicos en el crecimiento de tallos y raíces, elongación, engrosamiento y doblamiento de peciolo y tallos. Hay producción de etileno y esto puede ser responsable de la epinastia observada. Los cloroplastos son muy sensitivos y se agrandan. La movilización excesiva de las reservas para un crecimiento excesivo, causa la pérdida de las funciones celulares y la integridad celular. La pérdida de la semipermeabilidad y compartimentalización de las membranas causa autólisis, desecación, desintegración y muerte de los tejidos (Pitty 1995).

Dos herbicidas comunes de reguladores de crecimiento son 2,4-D y Dicamba. El 2,4-D es absorbido en su forma polar (sal) más fácilmente por las raíces de las plantas que los ésteres, mientras que la forma de éster no polar penetra más rápidamente el follaje. Dicamba es transportado tanto vía simplástica (incluyendo floema) y apoplástica (incluyendo xilema), se acumula en las vías y los puntos de crecimiento. El mecanismo de acción de Dicamba y 2,4-D, es presumiblemente similar al de la auxina endógena (AIA) y otros tipos de herbicidas auxínicos. La acción primaria no es bien entendida, pero parece involucrar la plasticidad de la pared celular y el metabolismo de los ácidos nucleicos. Bajas concentraciones de Dicamba y 2,4-D, también estimulan la ARN polimerasa, resultado de un aumento de ARN, ADN y de la síntesis de proteína. Un incremento anormal en estos procesos pueden conducir a la división celular descontrolada del crecimiento, que a su vez da lugar a la destrucción de tejido vascular (Weed Science Society of America 2002).

Este estudio se realizó con el objetivo de determinar el grado de daño causado por la deriva de los herbicidas 2,4-D y Dicamba y evaluar el desarrollo y crecimiento de los cultivos a los 21 días después de haber sido simulada la deriva de los herbicidas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Departamento de Horticultura de la Universidad de Purdue, Indiana, Estados Unidos. Las plantas crecieron y se mantuvieron en los invernaderos del Departamento de Horticultura.

2.1 CULTIVOS UTILIZADOS

Se utilizaron 12 cultivos hortícolas de importancia económica de la región del estado de Indiana, Estados Unidos de las familias cucurbitáceas, brásicas, solanáceas y leguminosas:

Cucurbitáceas

Sandía (*Citrullus lanatus* var. Sangria)

Melón (*Cucumis melo* var. Orange Sherbet)

Calabaza zuchinni (*Cucurbita pepo* var. Spineless Beauty)

Calabaza spaghetti (*Cucurbita pepo* var. Stripetti)

Brásicas

Col de bruselas (*Brassica oleracea* var. Oliver)

Brócoli (*Brassica oleracea* var. Greenbelt)

Coliflor (*Brassica oleracea* var. Freedom)

Repollo (*Brassica oleracea* var. Blue Vantage)

Solanáceas

Tomate (*Lycopersicon esculentum* var. Mountain Spring)

Berenjena (*Solaunum melongena* var. Santana)

Chile (*Capsicum annuum* var. King Arthur)

Leguminosas

Frijol (*Phaseolus vulgaris* var. Blue Lake 274)

2.2 SIEMBRA DE CULTIVOS

Cada cultivo se sembró en dos bandejas, cada una con 36 huecos colocados en nueve columnas y cuatro filas; cada hueco medía $6 \times 5 \times 5$ cm y para cada cultivo habían 72 plantas. Se sembraron las semillas en Premier Pro-Bx, un medio de germinación compuesto de 75-80% de Canadian Sphagnum Peat Moss, biofungicida (*Bacillus subtilis*

MB1600), perlita, vermiculita, piedra caliza dolomítica calcítica, macronutrientes, micronutrientes y agentes humectantes.

Para garantizar una uniformidad en el tamaño de los cultivos al momento de aplicar el herbicida, se plantaron primero las solanáceas, que tienen una germinación y crecimiento lento, para conseguir que todas las plantas tuvieran 14 días de haber germinado y evitar el sesgo.

2.3 APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS

Se aplicaron dos herbicidas 2,4-D y Dicamba. Ambos actúan como reguladores de crecimiento. Se escogieron dosis de 1% y 0.3% de una dosis normal para un cultivo, representando un porcentaje típico que se llevaría por viento. Las dosis utilizadas fueron:

Dosis alta = 49.2 mL de 2,4-D en 400 mL de agua (38 g/ha ia).
(1%) 24.6 mL de Dicamba en 400 mL de agua (19 g/ha ia).

Dosis baja = 16.4 mL de 2,4-D en 400 mL de agua (12 g/ha ia).
(0.3%) 8.2 mL de Dicamba en 400 mL de agua (6 g/ha ia).

Se separaron todas las plantas en dos grupos; al primer. Se le aplicó el herbicida a los 14 días después de haber germinado, y el segundo grupo a los 28 días. Se aplicaron los herbicidas en una cámara de aplicación para evitar que las condiciones ambientales afectaran el patrón de aplicación. Se usó una boquilla de abanico uniforme Teejet 8002 EVS (80 grados de ángulo; con una descarga de 0.2 galones por minuto). La aplicación se hizo a una velocidad de 4.8 km/h, una presión de 40 psi, a una altura de 46 cm sobre las plantas y con 417 L/ha de agua.

Cada cultivo fue un factorial de 2×3 (edad de la planta \times dosis): a las dos ó cuatro semanas después de la emergencia y para 2,4-D dosis de 0, 12 y 38 g/ha ia y para Dicamba 0, 6 y 19 g/ha ia.

2.4 VARIABLES ANALIZADAS

Los datos se tomaron a los 21 días después de la aplicación. Las variables medidas fueron:

Daño visual. Se estimó comparando las plantas tratadas con las plantas control (sin herbicida). Se tomó un rango de 0 a 100%, siendo 0% el control (crecimiento normal sin daños), y 100% una planta muerta (Pitty y Muñoz 1993).

Peso seco. Las plantas fueron cortadas a nivel de la superficie del suelo y se colocaron en bolsas de papel, cada una con su número de identificación y se movilizaron todas al cuarto

de secado donde se mantuvieron 7 días a una temperatura constante de 38° C. A los 7 días se pesaron en una balanza electrónica.

2.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico que se utilizó fue de un factorial de 2×3 en parcelas divididas. Hubo cinco repeticiones de cada tratamiento por cultivo. Los porcentajes de daño visual se transformaron utilizando la raíz cuadrada (Saxton 1998). Se utilizó un análisis de varianzas con el programa Statistical Analysis System (SAS 9.1); se realizó una separación de medias con el método Tukey. Los promedios fueron separados a nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Berenjena. Hubo interacción ($P \leq 0.05$) en el daño causado por 2,4-D entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (95%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 1). No hubo interacción ($P > 0.05$) en la pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de berenjena (Cuadro 2).

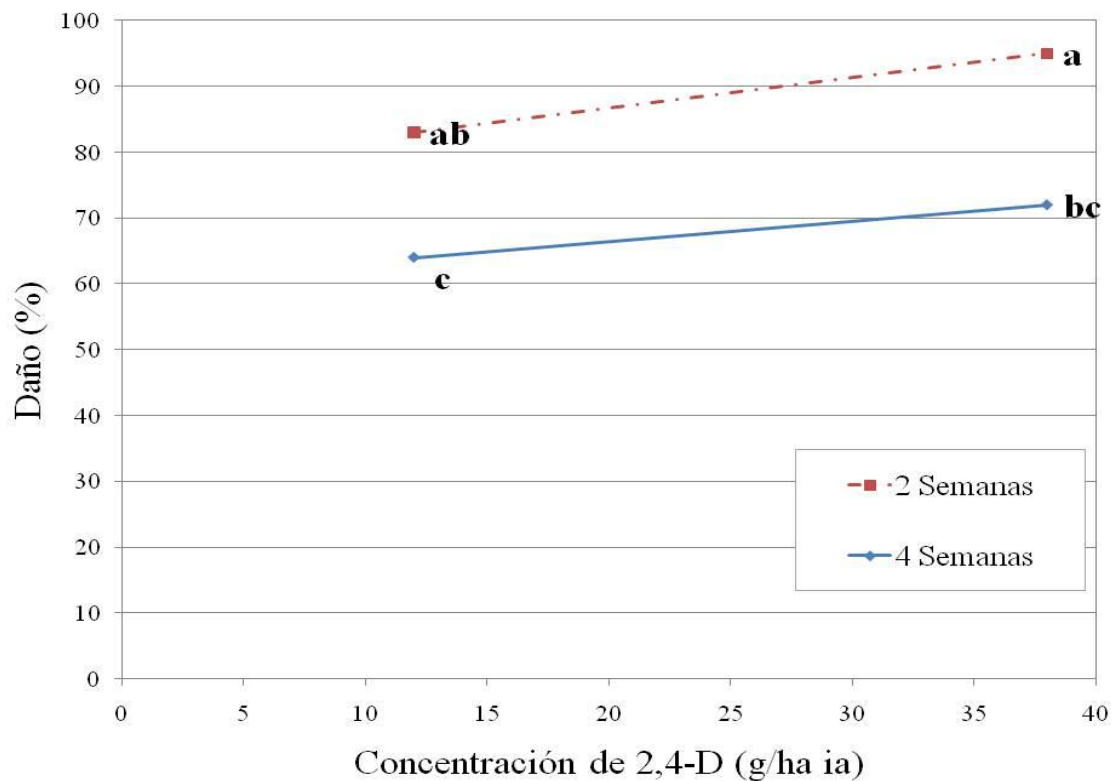


Figura 1. Daño de las plantas de berenjena a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Berenjena. En el daño y pérdida de peso seco causado por Dicamba, hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (82%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en las plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño a dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 2 A). La mayor pérdida de peso seco (0.78 g), ocurrió en las plantas de cuatro semanas de edad y con la dosis más alta. Obtuvieron mayor pérdida de peso seco las plantas con cuatro semanas de edad (Figura 2 B).

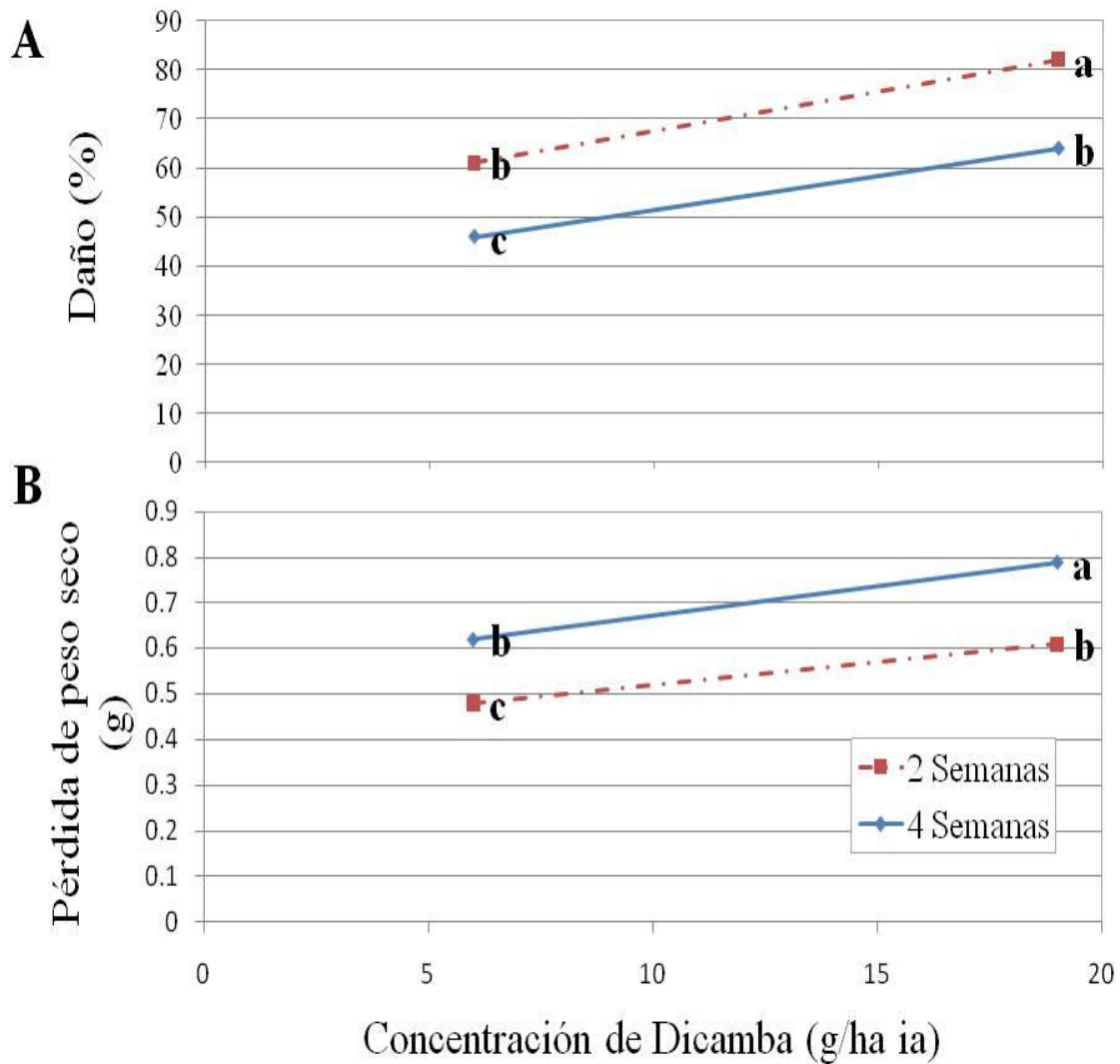


Figura 2. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de berenjena a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Chile. En el daño y pérdida de peso seco causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (88%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 3 A). La mayor pérdida de peso seco fue con 12 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (0.85 g); las plantas con cuatro semanas de edad, tuvieron mayor pérdida de peso seco que las plantas de 2 semanas de edad (Figura 3 B).

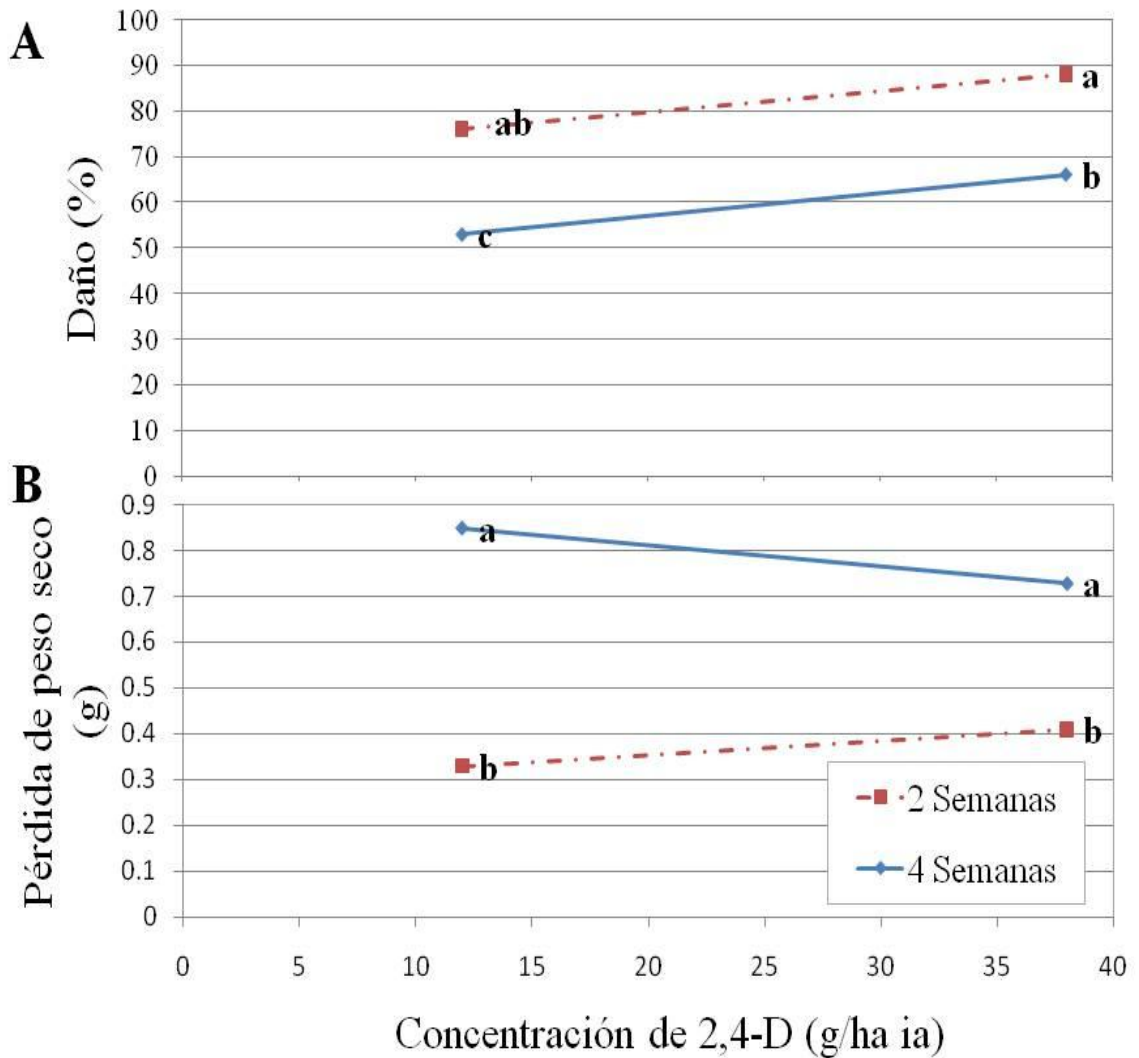


Figura 3. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de Chile a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Chile. En el daño y pérdida de peso seco causado por Dicamba, hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (78%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 4 A). La mayor pérdida de peso seco (0.35 g) fue con la dosis más alta en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 4 B).

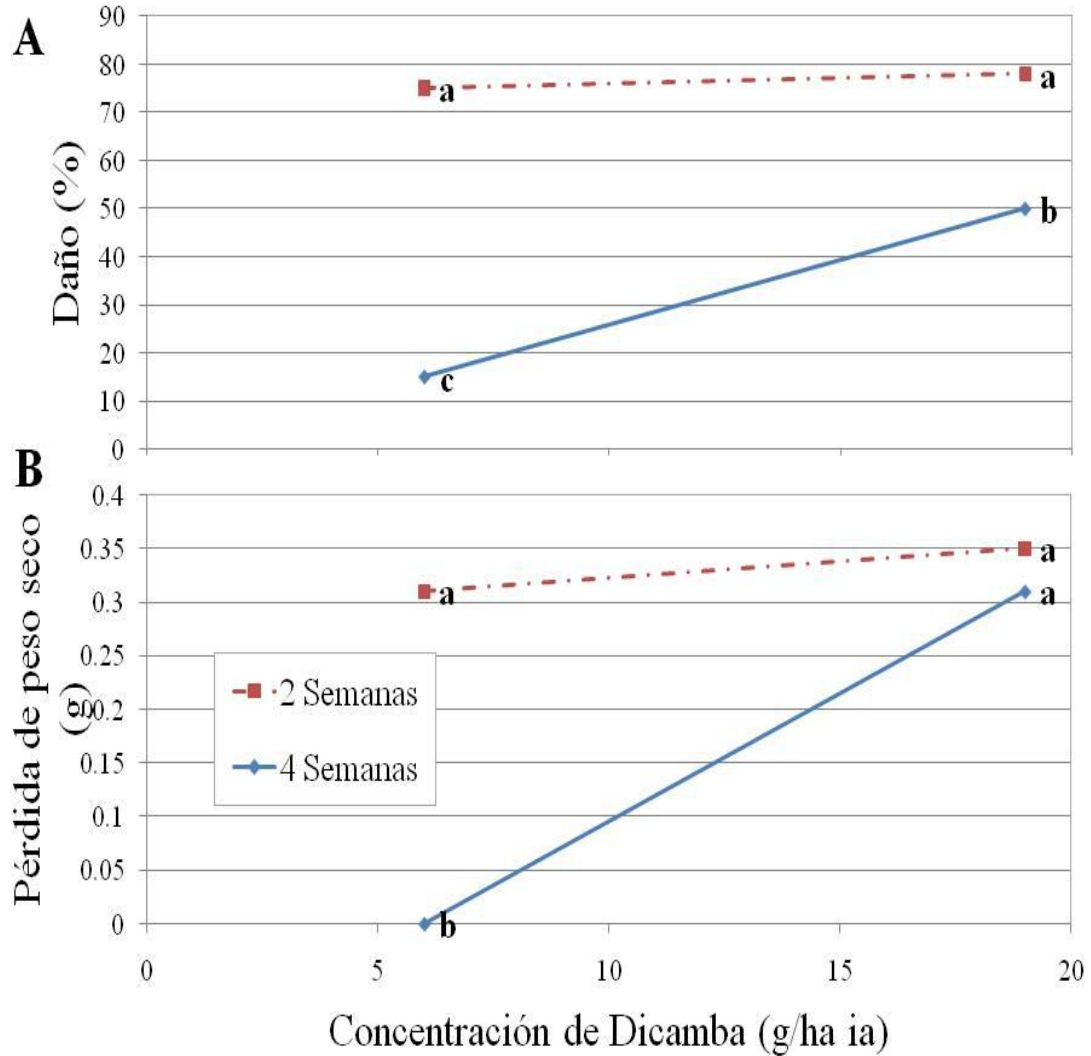


Figura 4. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de Chile a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Tomate. Hubo interacción ($P \leq 0.05$) en el daño causado por 2,4-D entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (96%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 5). No hubo interacción ($P > 0.05$) en la pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas con la deriva de 2,4-D (Cuadro 2).

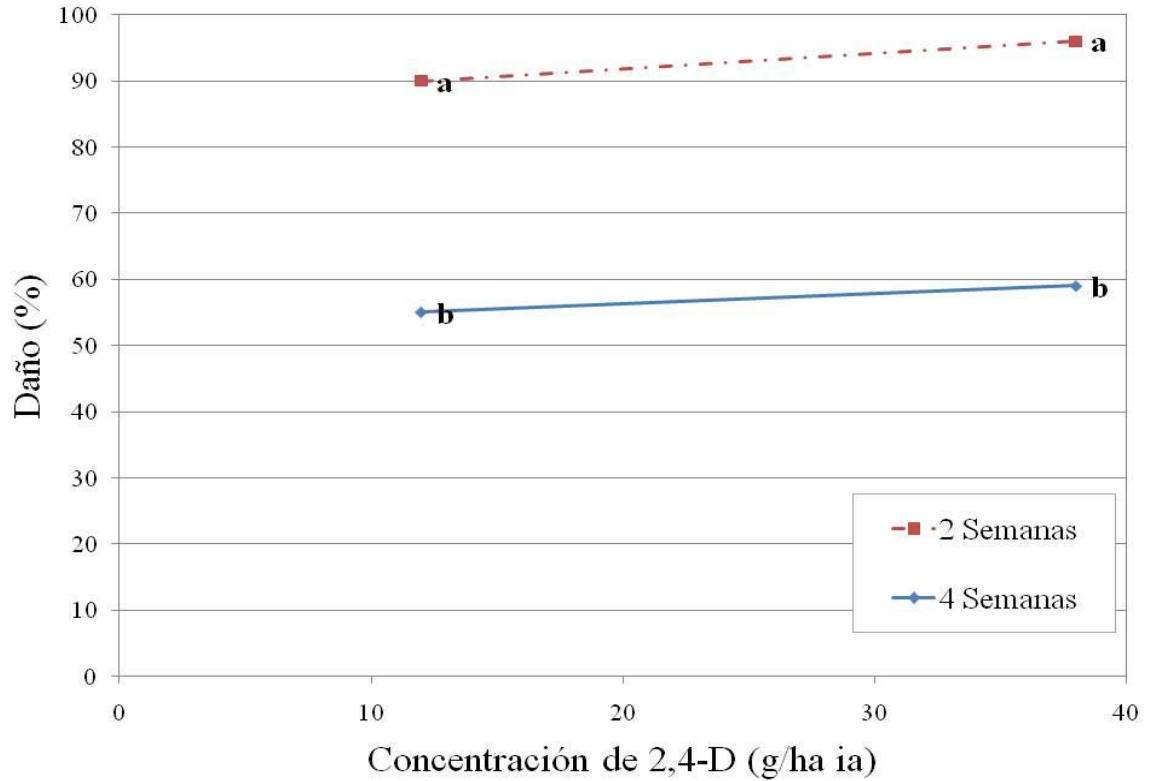


Figura 5. Daño de las plantas de tomate a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Tomate. En el daño y pérdida de peso seco causado por Dicamba, hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (76%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 6 A). La mayor pérdida de peso seco (3.02 g) fue con la dosis más alta y las plantas más jóvenes (Figura 6 B).

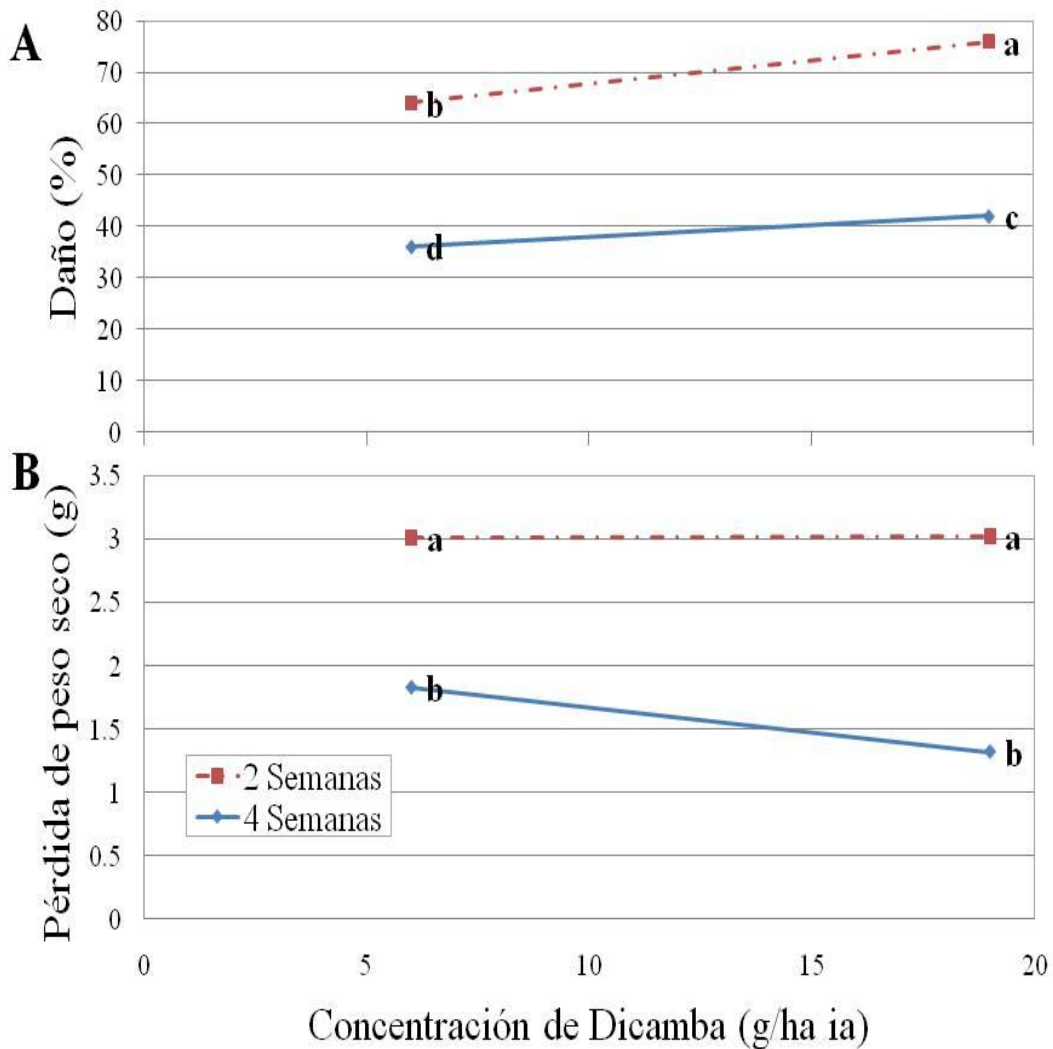


Figura 6. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de tomate a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Brócoli. Hubo interacción ($P \leq 0.05$) en el daño causado por 2,4-D entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (98%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 7). No hubo interacción ($P > 0.05$) en la pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de brócoli (Cuadro 2).

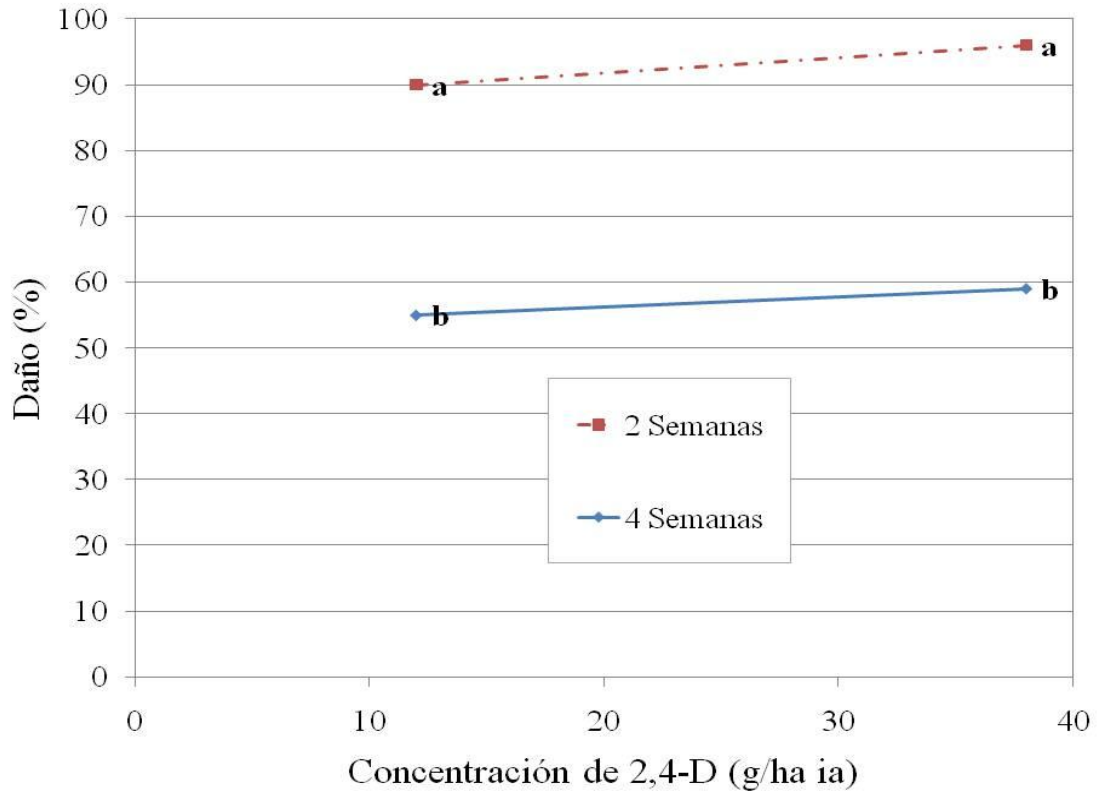


Figura 7. Daño de las plantas de brócoli a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Brócoli. Hubo interacción ($P \leq 0.05$) en el daño causado por Dicamba entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (46%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 8). No hubo interacción ($P > 0.05$) en la pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de Chile (Cuadro 2).

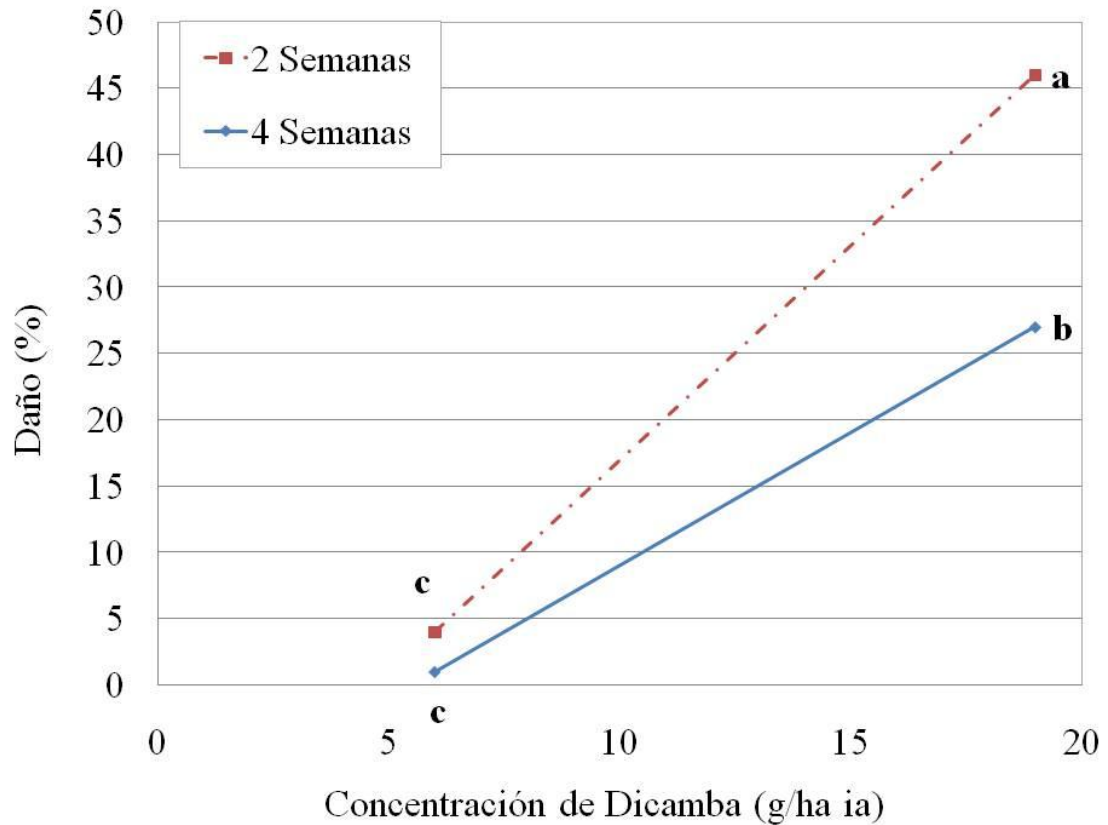


Figura 8. Daño de las plantas de brócoli a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Col de Bruselas. En el daño y pérdida de peso seco causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (94%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 9 A). Las plantas con 2 semanas de edad a la dosis más alta, tuvieron mayor pérdida de peso seco (1.71 g) (Figura 9 B).

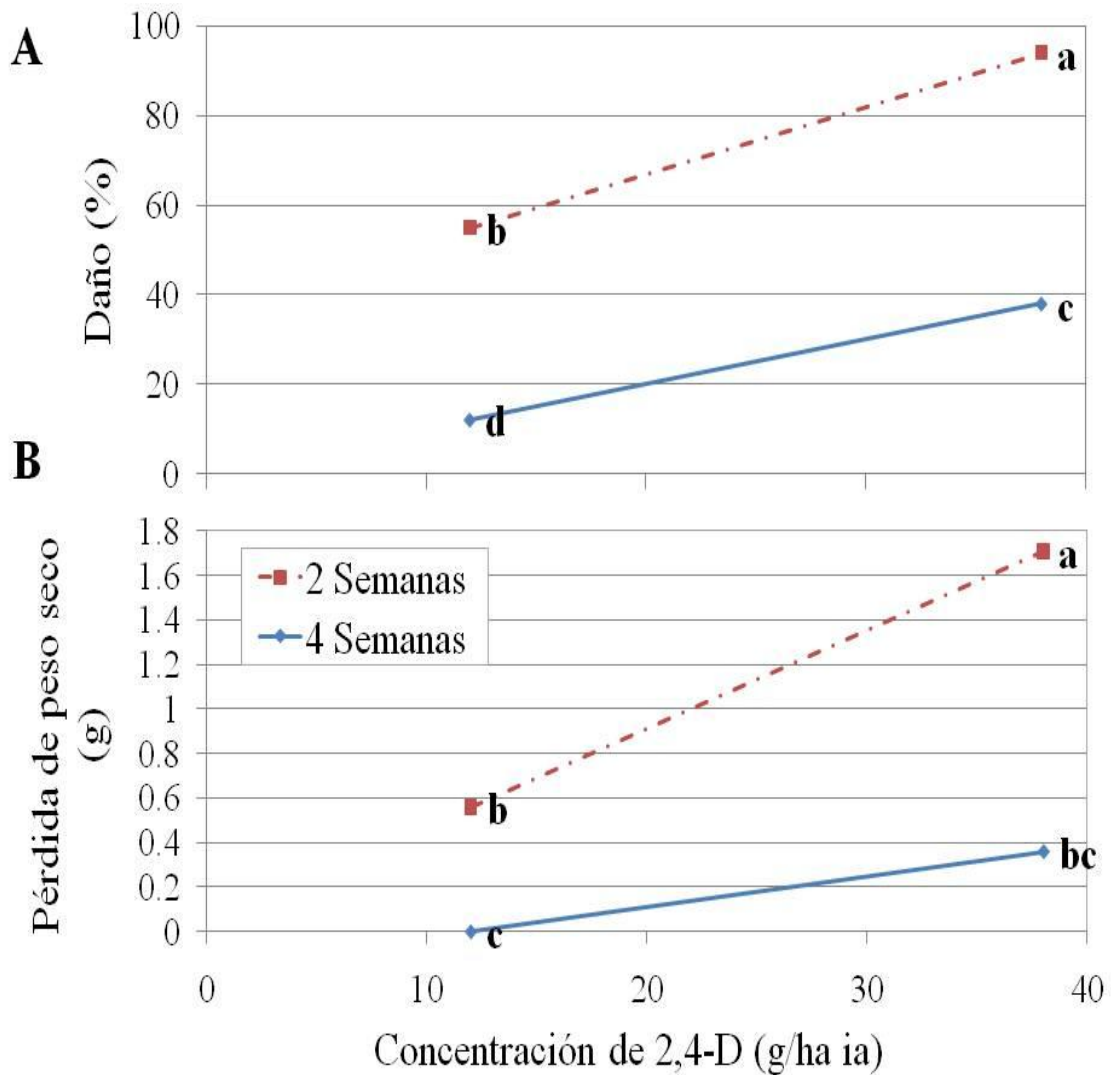


Figura 9. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de coles de Bruselas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Col de Bruselas. En la pérdida de peso seco causada por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. La mayor pérdida de peso seco fue con 19 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (0.64 g) (Figura 10 B). No hubo interacción ($P > 0.05$) en el daño entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas col de Bruselas (Cuadro 2).

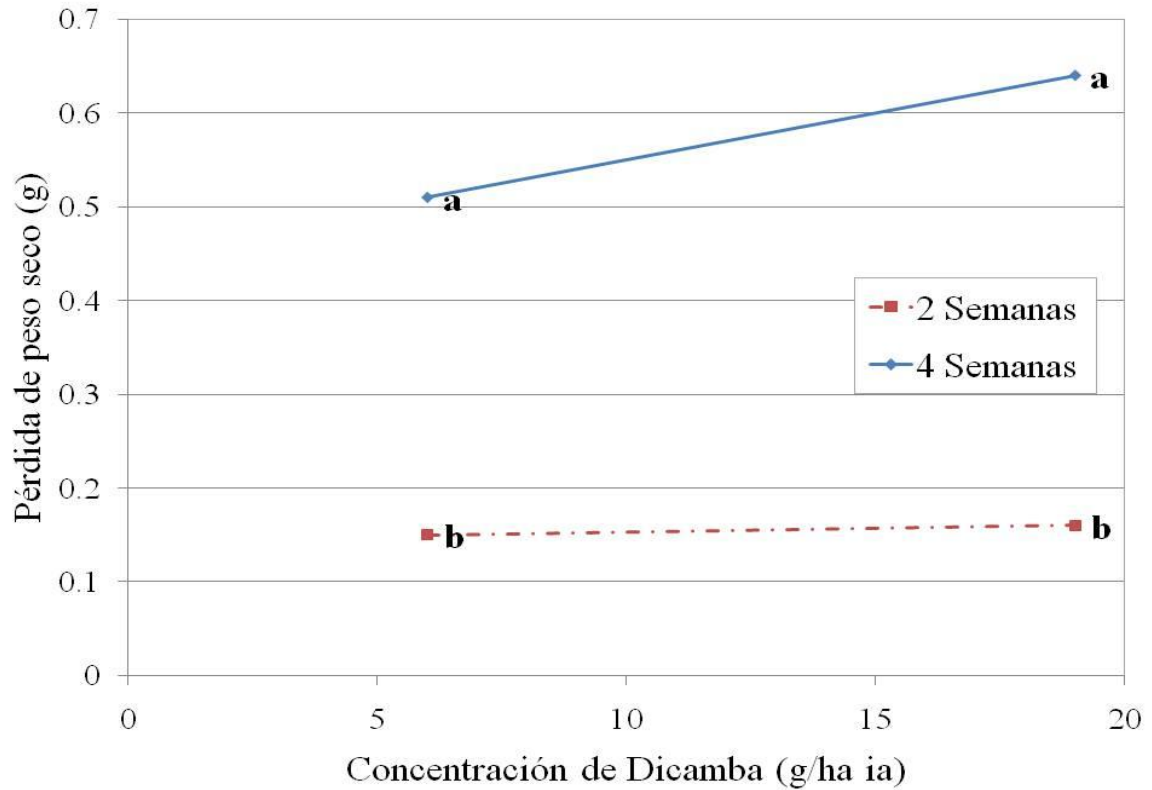


Figura 10. Pérdida de peso seco de las plantas de coles de Bruselas a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Coliflor. En el daño y pérdida de peso seco causado por el 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (84%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad (Figura 11 A). La mayor pérdida de peso seco (1.75 g) fue con la dosis más alta y las plantas más jóvenes (Figura 11 B).

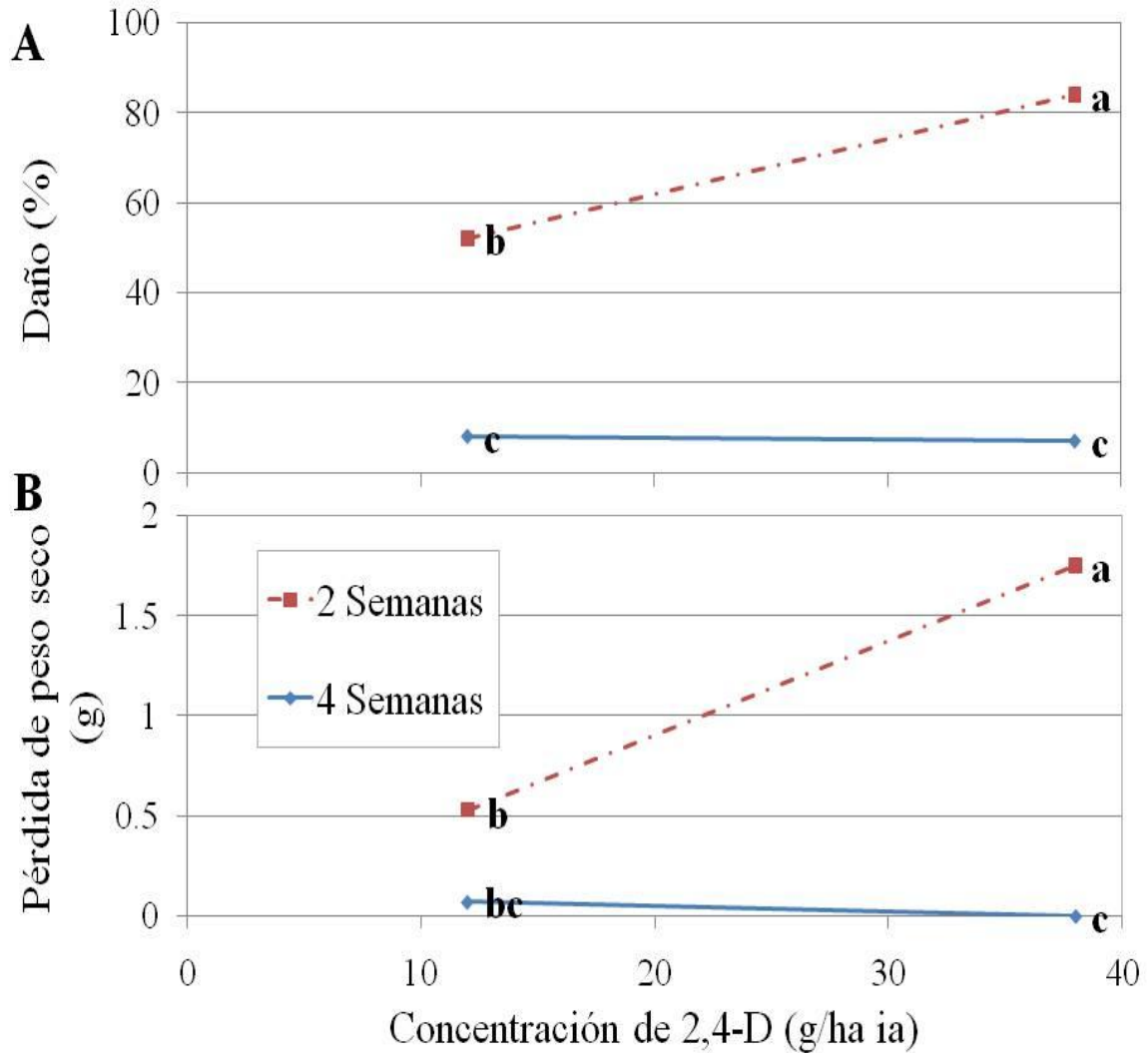


Figura 11. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de coliflor a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Coliflor. En el daño y pérdida de peso seco causado por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (45%) fue con la dosis más baja (12 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más alta en plantas de cuatro semanas de edad (Figura 12 A). La mayor pérdida de peso seco (0.81 g) fue en las plantas de cuatro semanas de edad a la dosis más baja (Figura 12 B).

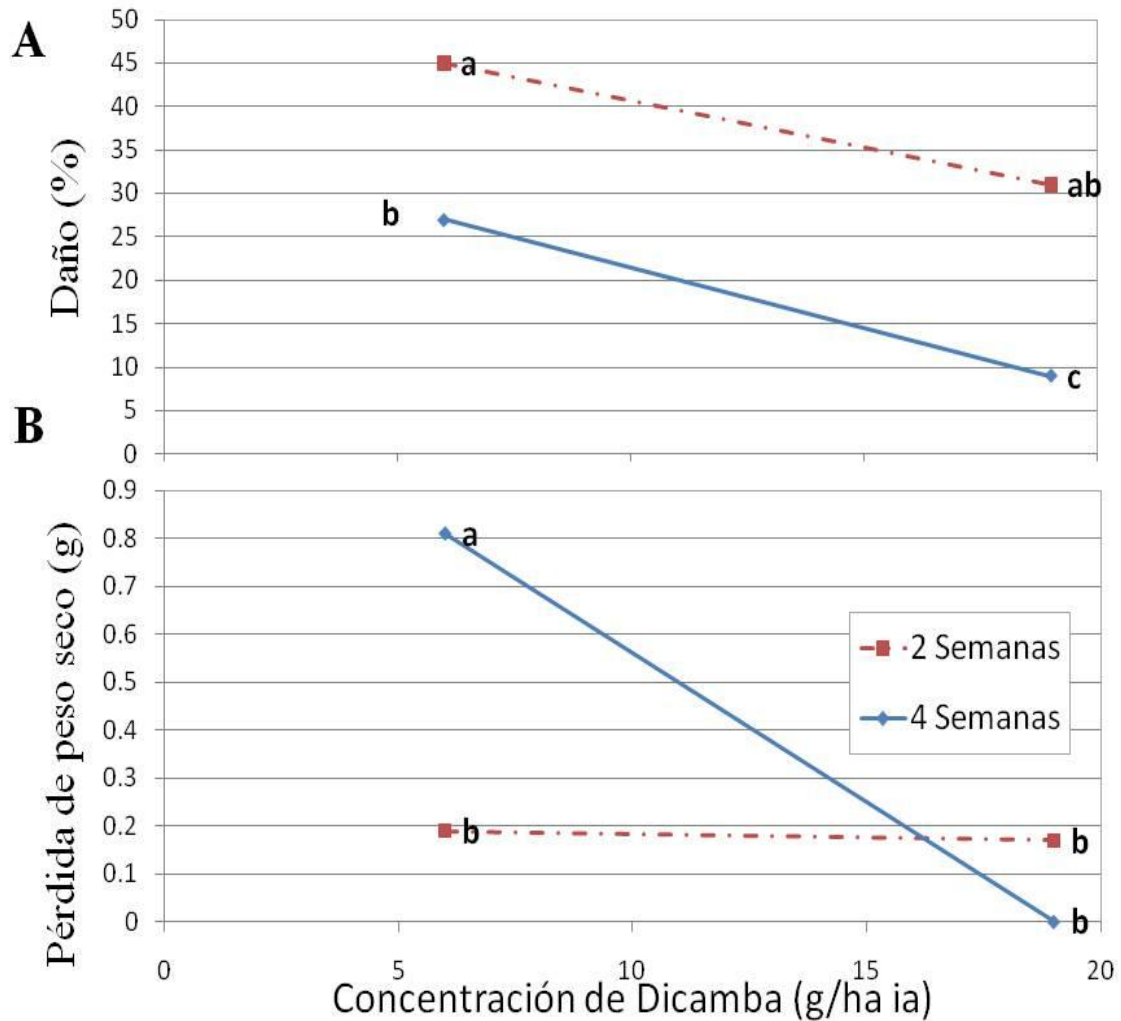


Figura 12. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de coliflor a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Repollo. En el daño y pérdida de peso seco causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (92%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 13 A). La mayor pérdida de peso seco (1.94 g), fue en las plantas de dos semanas de edad a la dosis más alta (Figura 13 B).

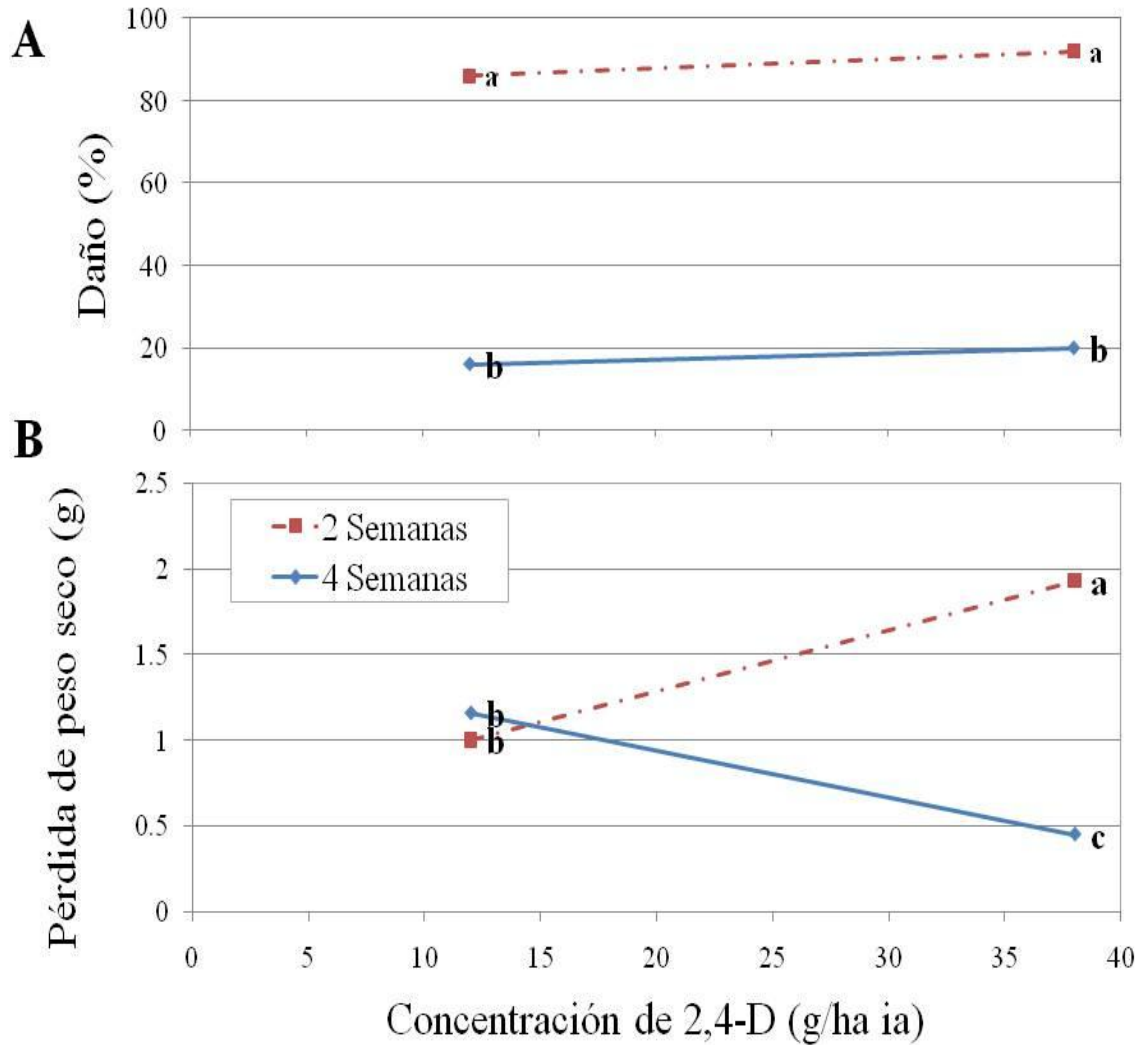


Figura 13. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de repollo a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Repollo. En la pérdida de peso seco causada por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. La mayor pérdida de peso seco fue con fue con 6 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (0.65 g). No hubo interacción ($P > 0.05$) en el daño entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de repollo con la deriva de Dicamba (Cuadro 2).

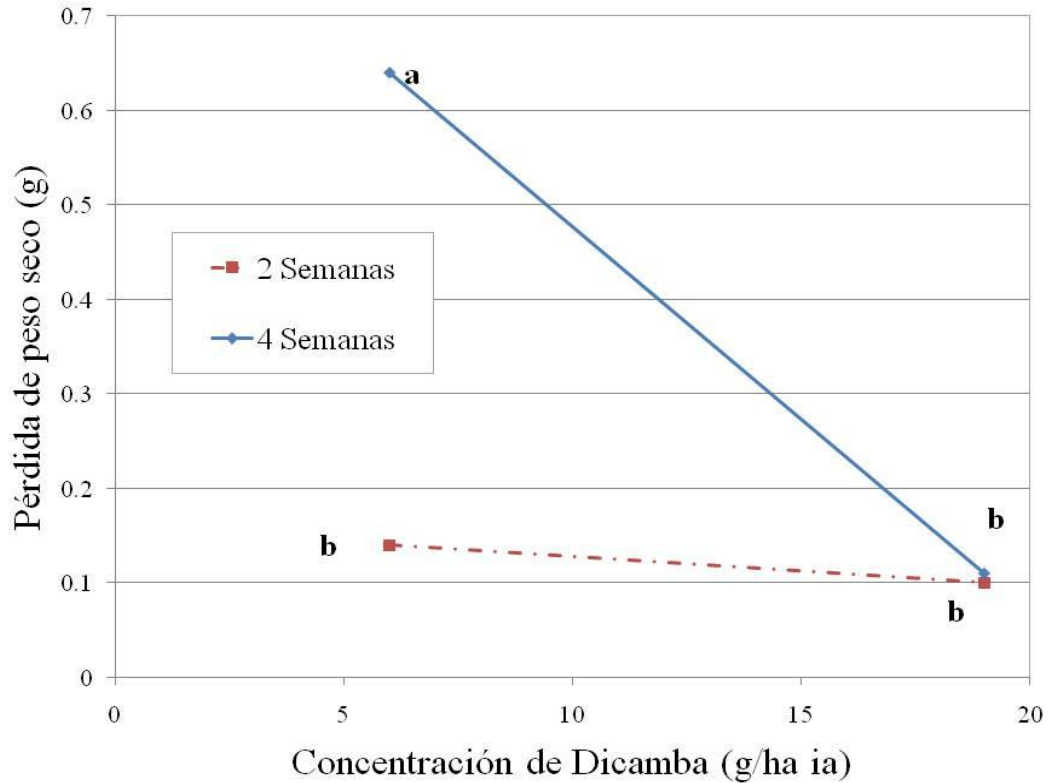


Figura 14. Pérdida de peso seco de las plantas de repollo a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Calabaza spaghetti. En el daño causado por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (75%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 15). No hubo interacción ($P > 0.05$) en la pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de calabaza spaghetti (Cuadro 2).

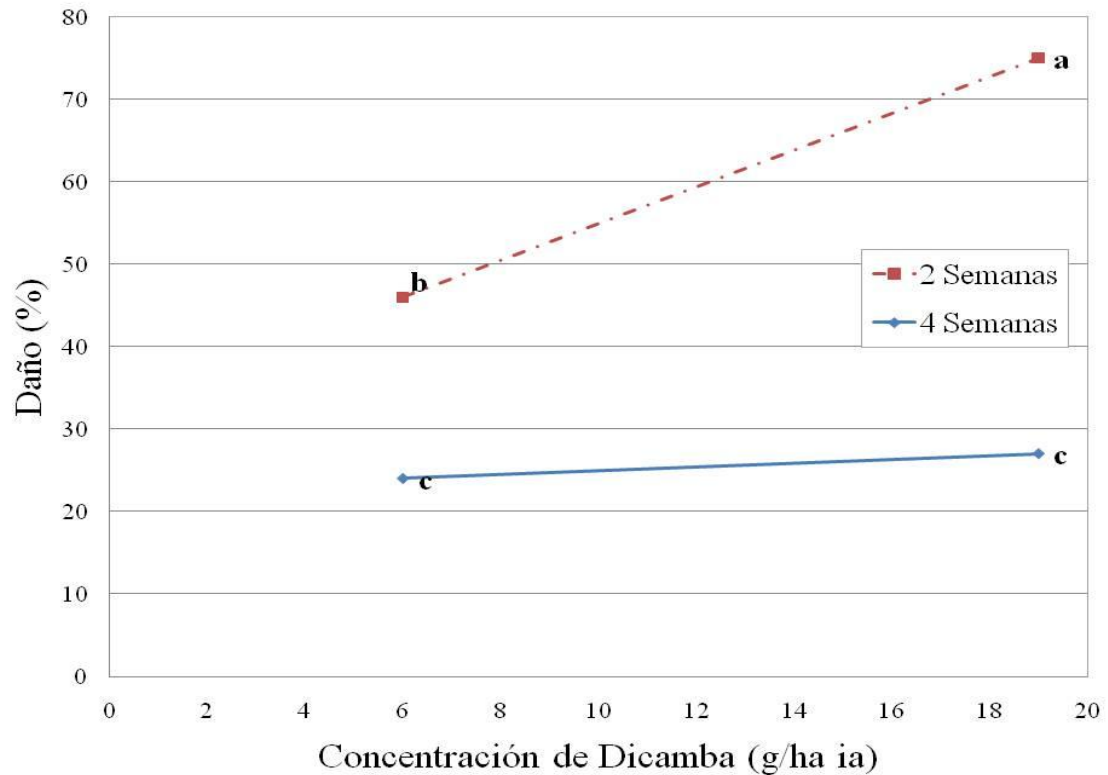


Figura 15. Daño de las plantas de calabaza spaghetti a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Melón. En el daño y pérdida de peso seco causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (83%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de cuatro semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 16 A). La mayor pérdida de peso seco fue con 38 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (3 g); las plantas con cuatro semanas de edad, tuvieron mayor pérdida de peso seco que las plantas de 2 semanas de edad (Figura 16 B).

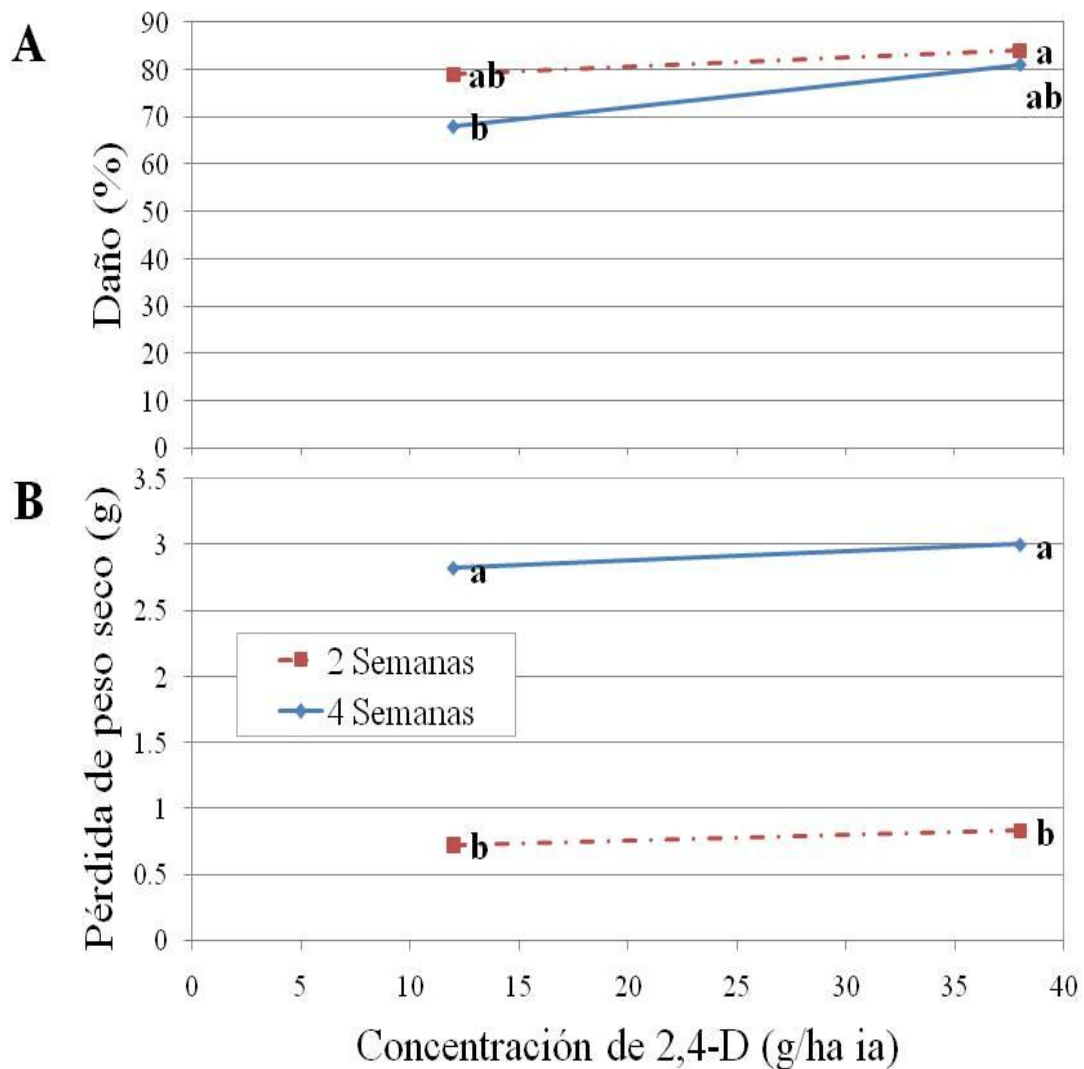


Figura 16. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de melón a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Melón. En el daño y pérdida de peso causado por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (84%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más alta en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 17 A). La mayor reducción en peso seco fue con 19 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (1.66 g); las plantas con cuatro semanas de edad tuvieron mayor pérdida de peso seco que las plantas de 2 semanas de edad (Figura 17 B).

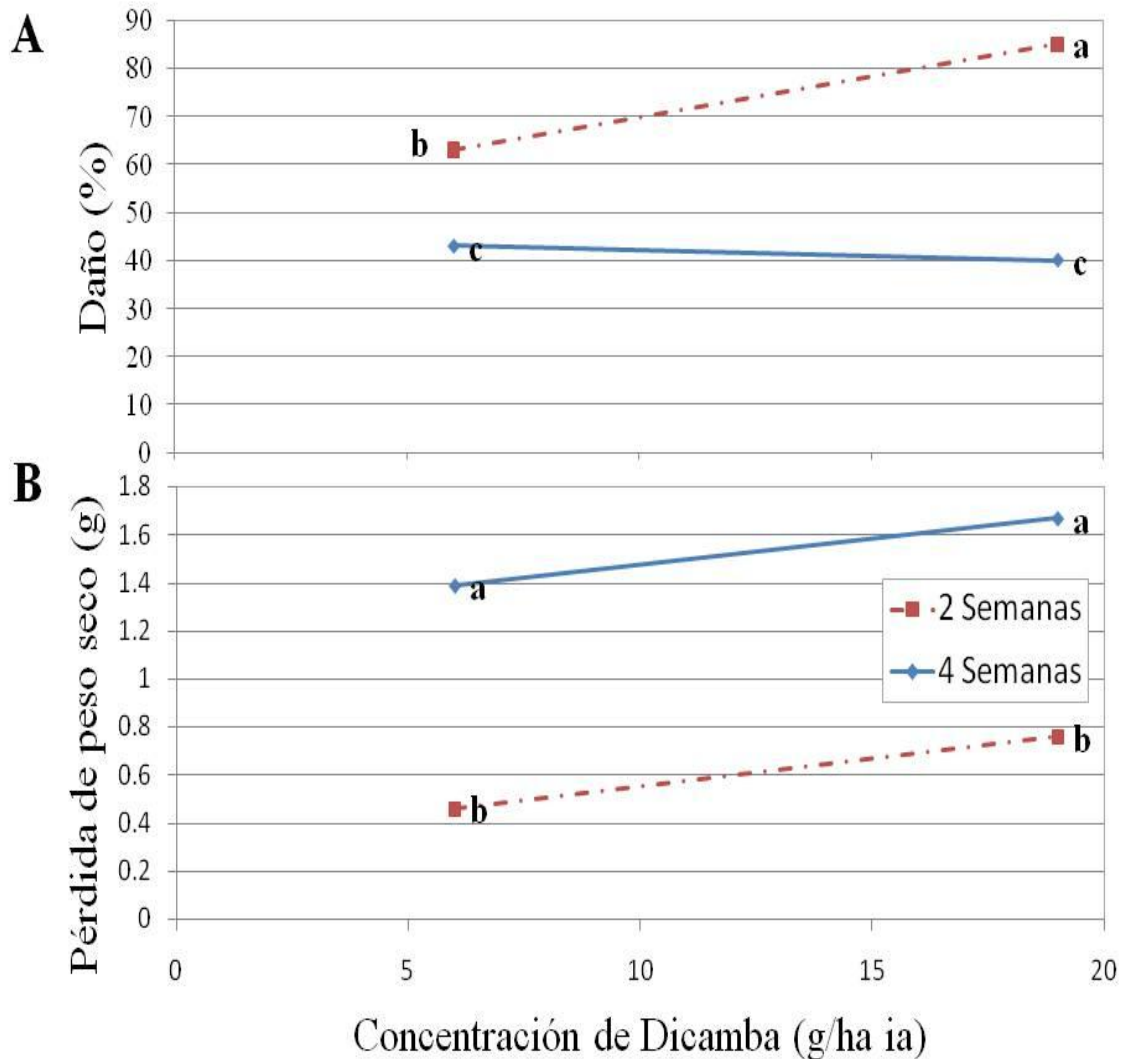


Figura 17. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de melón a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Sandía. En el daño y pérdida de peso seco causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (89%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 18 A). La mayor pérdida de peso seco (1.52 g) fue con 38 g/ha ia en plantas de cuatro semanas; las plantas con cuatro semanas de edad, tuvieron mayor pérdida de peso seco que las plantas de 2 semanas de edad (Figura 18 B).

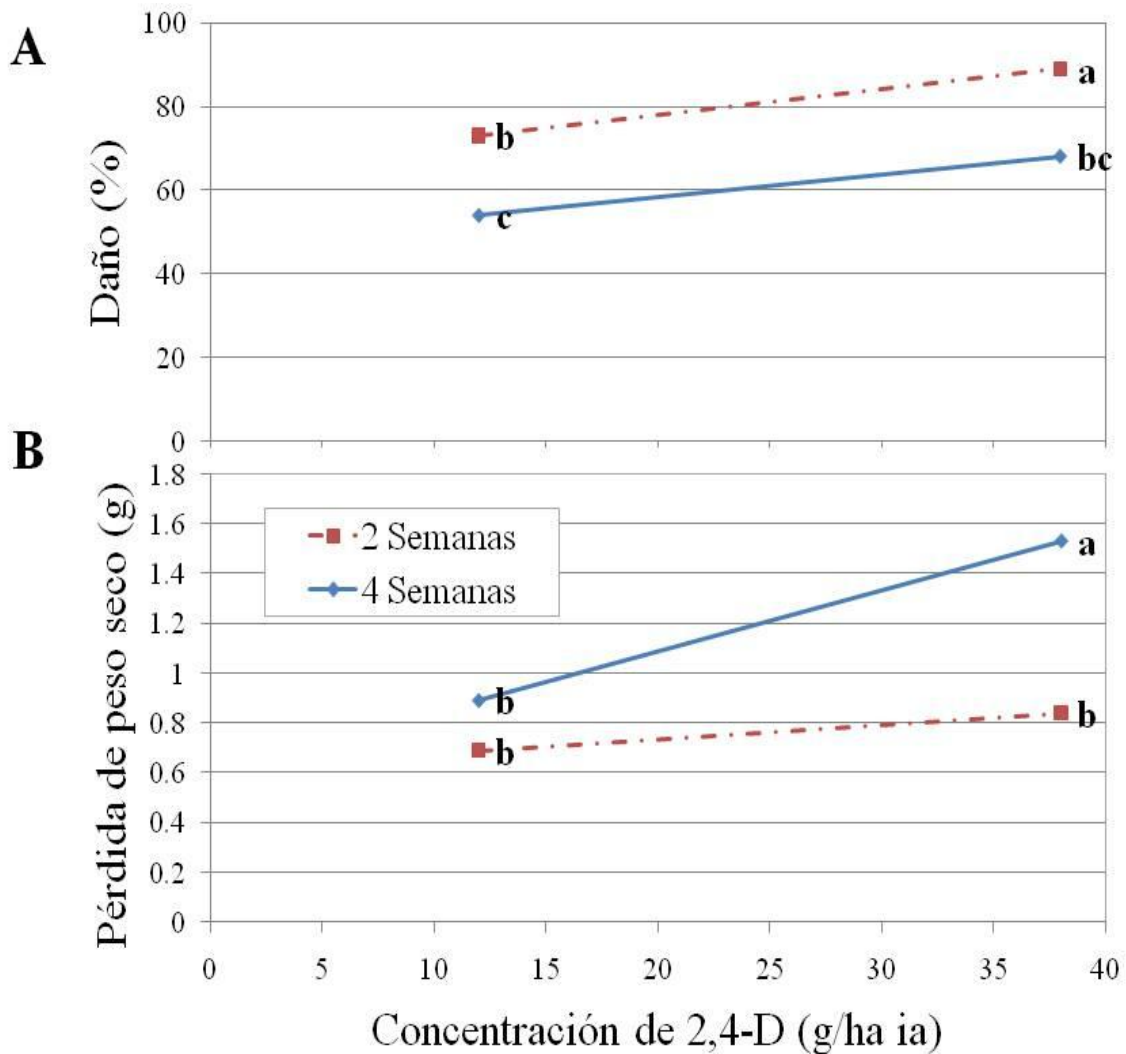


Figura 18. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de sandía a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Sandía. En el daño causado por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (82%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 19). No hubo interacción ($P > 0.05$) en pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas con la deriva de Dicamba (Cuadro 2).

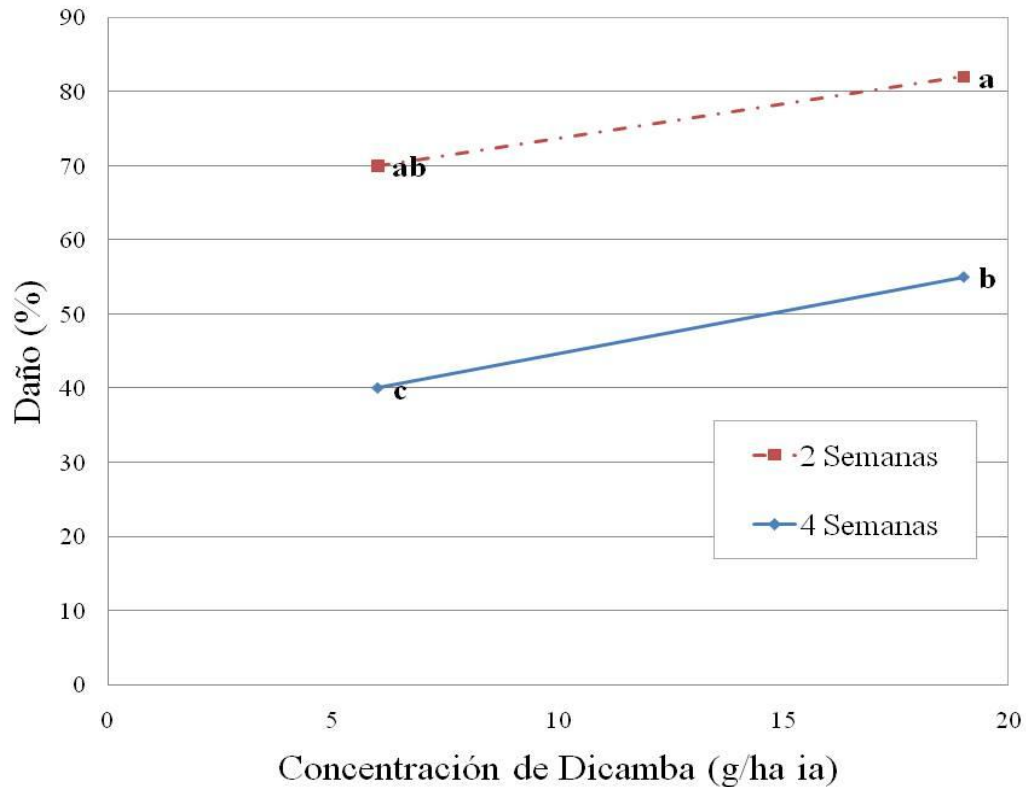


Figura 19. Daño de las plantas de sandía a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Frijol. En el daño causado por 2,4-D hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (84%) fue con la dosis más alta (38 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (12 g/ha ia) en las plantas de 2 semanas de edad (Figura 20). No hubo interacción ($P > 0.05$) en pérdida de peso seco entre la dosis (Cuadro 1) y la edad de las plantas de frijol con la deriva de 2,4-D (Cuadro 2).

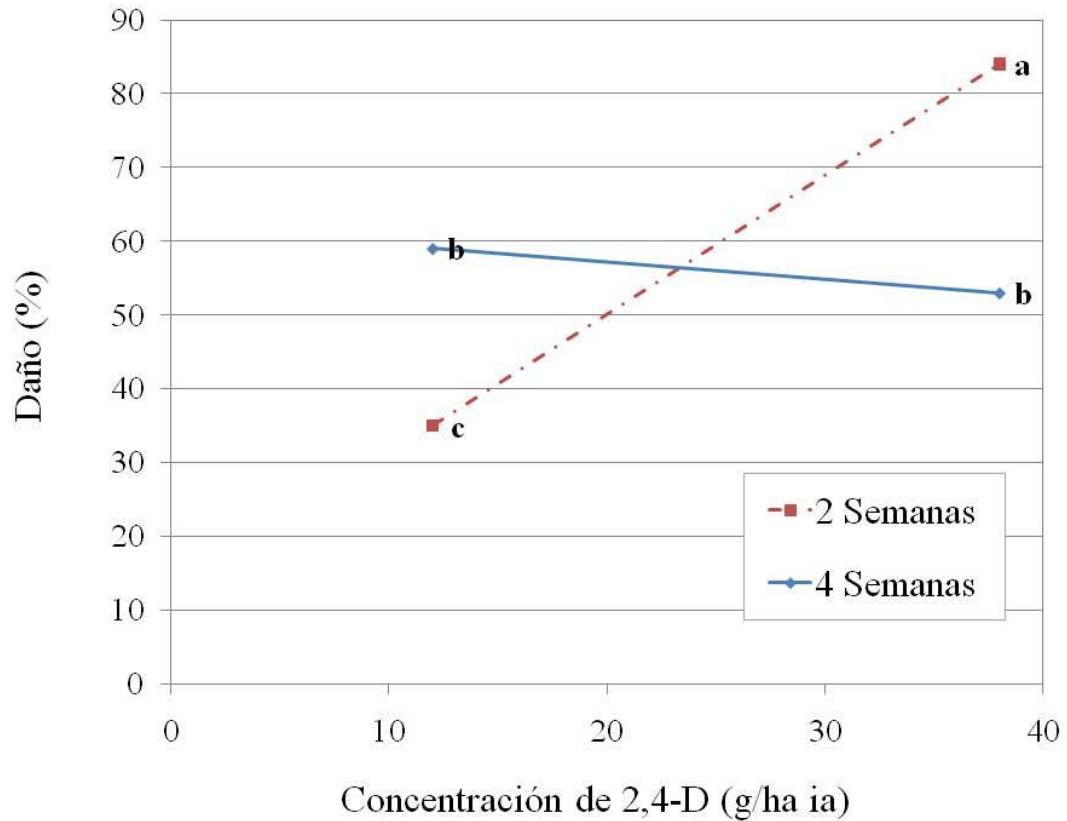


Figura 20. Daño de las plantas de frijol a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Frijol. En el daño y pérdida de peso seco causado por Dicamba hubo interacción ($P \leq 0.05$) entre la dosis y la edad de las plantas. El mayor daño (88%) fue con la dosis más alta (19 g/ha ia) en plantas de 2 semanas de edad, y el menor daño con la dosis más baja (6 g/ha ia) en las plantas de cuatro semanas de edad (Figura 21 A). La mayor pérdida de peso seco (2.08g) fue con 6 g/ha ia en plantas de cuatro semanas (Figura 21 B).

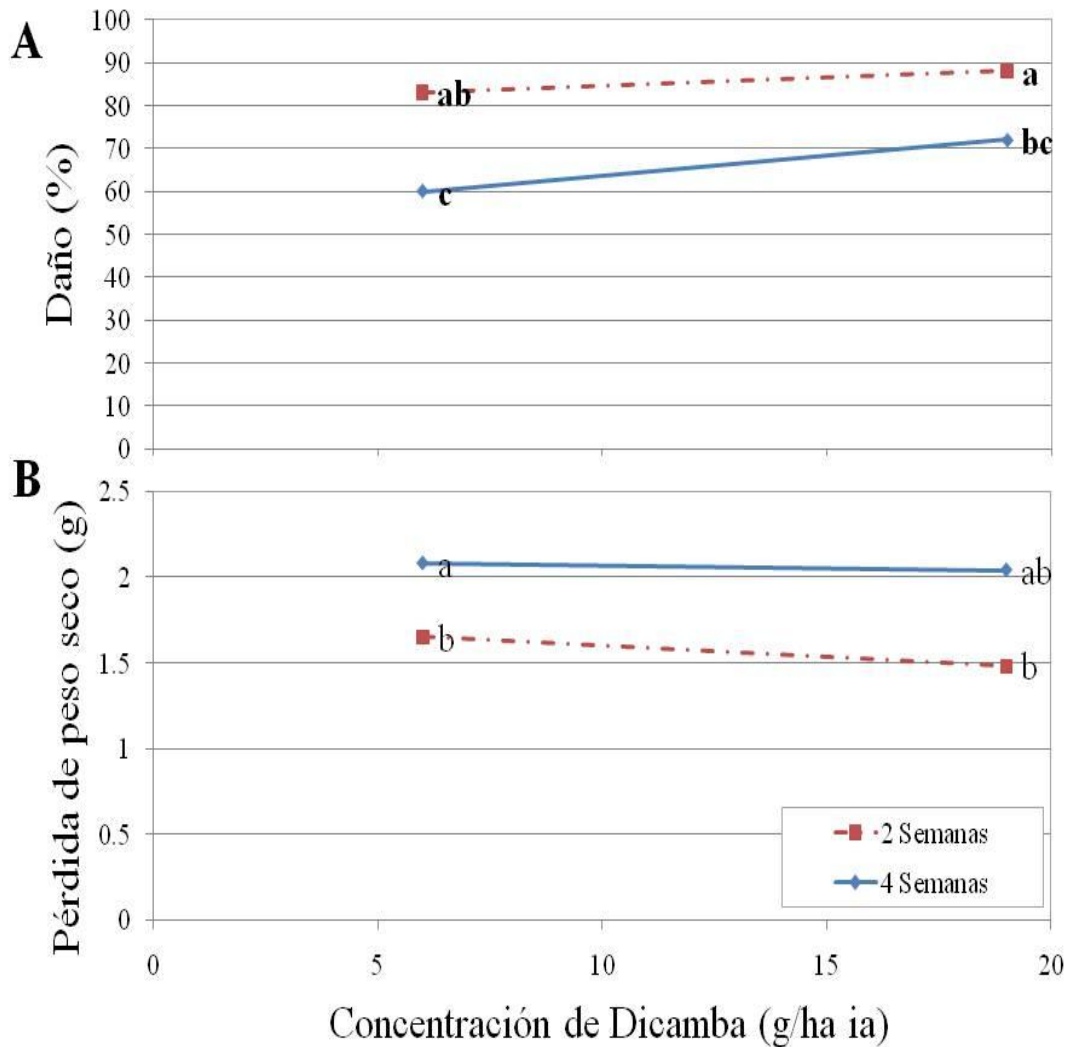


Figura 21. Daño y pérdida de peso seco de las plantas de frijol a los 21 días después de la simulación de la deriva de Dicamba comparado con el testigo. La deriva fue simulada sobre plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Cuadro 1. Análisis de los efectos principales de las dosis en el daño y pérdida de peso seco de las plantas relativo a plantas no tratadas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba. La deriva fue simulada para dos dosis de cada herbicida.

Cultivo	2,4-D			Dicamba		
	Dosis (g/ha ia)	Daño (%)	Peso Seco (g)	Dosis (g/ha ia)	Daño (%)	Peso Seco (g)
Berenjena	12	na	0.63 ^{ns*}	6	na	na
	38	na	0.85 ^{ns*}	19	na	na
Brocoli	12	na	0.08 ^{b*}	6	na	0.45 ^{ns*}
	38	na	1.34 ^{a*}	19	na	0.34 ^{ns*}
Chile	12	na	na	6	na	na
	38	na	na	19	na	na
Col de Bruselas	12	na	na	6	25 ^{ns*}	na
	38	na	na	19	31 ^{ns*}	na
Coliflor	12	na	na	6	na	na
	38	na	na	19	na	na
Frijol	12	na	1.64 ^{ns*}	6	na	na
	38	na	1.64 ^{ns*}	19	na	na
Melón	12	na	na	6	na	na
	38	na	na	19	na	na
Repollo	12	na	na	6	8 ^{ns*}	na
	38	na	na	19	22 ^{ns*}	na
Sandía	12	na	na	6	na	0.55 ^{ns*}
	38	na	na	19	na	0.75 ^{ns*}
Calabaza zuchinni	12	52 ^{ns}	0.97 ^{ns*}	6	40 ^{ns*}	0.03 ^{ns*}
	38	60 ^{ns}	0.47 ^{ns*}	19	52 ^{ns*}	-0.16 ^{ns*}
Calabaza spaghetti	12	62 ^{ns}	0.82 ^{ns*}	6	na	0.61 ^{ns*}
	38	59 ^{ns}	1.66 ^{ns*}	19	na	1.03 ^{ns*}
Tomate	12	na	3.67 ^{ns*}	6	na	na
	38	na	3.22 ^{ns*}	19	na	na

Los valores en las columnas seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) respectivamente para cada cultivo.

na= interacción fue significativa así que no se valuó por efectos principales.

ns= no presenta diferencia significativa.

*= valores son diferencias de peso seco comparado con el testigo (sin herbicida). Valores negativos indican una estimulación de crecimiento comparado con el testigo.

Cuadro 2. Análisis de los efectos principales de las edades en el daño y pérdida de peso seco de las plantas a los 21 días después de la simulación de la deriva de 2,4-D y Dicamba. La deriva fue simulada para plantas de dos y cuatro semanas después de la emergencia.

Cultivo	2,4-D			Dicamba		
	Edad (semanas)	Daño (%)	Peso Seco (g)	Edad (semanas)	Daño (%)	Peso Seco (g)
Berenjena	2	na	0.45 ^{b*}	2	na	na
	4	na	0.54 ^{a*}	4	na	na
Brocoli	2	na	0.75 ^{a*}	2	na	0.06 ^{b*}
	4	na	0.19 ^{b*}	4	na	0.46 ^{a*}
Chile	2	na	na	2	na	na
	4	na	na	4	na	na
Col de Bruselas	2	na	na	2	1 ^{ns}	na
	4	na	na	4	4 ^{ns}	na
Coliflor	2	na	na	2	na	na
	4	na	na	4	na	na
Frijol	2	na	0.67 ^{b*}	2	na	na
	4	na	1.56 ^{a*}	4	na	na
Melón	2	na	na	2	na	na
	4	na	na	4	na	na
Repollo	2	na	na	2	6 ^{ns}	na
	4	na	na	4	7 ^{ns}	na
Sandía	2	na	na	2	na	0.39 ^{ns*}
	4	na	na	4	na	0.48 ^{ns*}
Calabaza zuchinni	2	27 ^{ns}	0.67 ^{a*}	2	31 ^a	0.60 ^{a*}
	4	23 ^{ns}	0.29 ^{b*}	4	12 ^b	0.66 ^{b*}
Calabaza spaghetti	2	28 ^{ns}	0.55 ^{b*}	2	na	0.55 ^{ns*}
	4	26 ^{ns}	1.10 ^{a*}	4	na	0.54 ^{ns*}
Tomate	2	na	2.09 ^{b*}	2	na	na
	4	na	2.50 ^{a*}	4	na	na

Los valores en las columnas seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) respectivamente para cada cultivo.

na= interacción fue significativa así que no se evaluó por efectos principales.

ns= no presenta diferencia significativa.

*= valores son diferencias de peso seco comparado con el testigo (sin herbicida). Valores negativos indican una estimulación de crecimiento comparado con el testigo.

Daño visual a los cultivos. Con 2,4-D y Dicamba, el daño fue mayor en las plantas más jóvenes y con la mayor dosis. Las plantas de calabaza spaghetti y calabaza zuchinni no presentaron daños significativos en la interacción de las dosis de 2,4-D y la edad del cultivo comparándolas con el testigo. Con la deriva de Dicamba no tuvieron daños las plantas de col de Bruselas, repollo y calabaza zuchinni en la interacción entre las dosis y la edad del cultivo. Las plantas de coliflor tuvieron su mayor daño con la deriva de 6 g/ha de Dicamba a las dos semanas de edad.

Excepto por los cultivos de calabaza zucchini, calabaza spaghetti y coliflor, los daños a los demás cultivos concuerdan con los estudios realizados por Marple *et al.* (2008) quienes evaluaron la respuesta de algodón a la deriva de 2,4-D y Dicamba en las diferentes etapas de crecimiento y de múltiples aplicaciones de 2,4-D y encontraron que los síntomas de lesiones aumentaron con la dosis del herbicida.

Pérdida de peso seco. El 2,4-D en las plantas de col de Bruselas, coliflor y repollo, causó mayor reducción de crecimiento (medido en diferencias de peso seco), cuando las plantas estaban más jóvenes y con aplicación de bajas dosis del herbicida. Al contrario, en las plantas de chile a bajas dosis del 2,4-D y a mayor edad, hubo mayor pérdida del peso seco comparando con plantas aplicadas con la dosis más alta. Mientras que a mayor edad del melón y sandía y aplicadas las plantas con la dosis más alta, obtuvieron mayor pérdida en peso seco comparando con las de menor edad y las aplicadas con dosis más bajas de 2,4-D. Las plantas de berenjena, tomate, calabaza spaghetti, calabaza zuchinni, brócoli y frijol no presentaron pérdida en el peso seco con la interacción de las dosis del 2,4-D y la edad de las plantas.

Esto concuerda con los datos del estudio realizado por Brown *et al.* (2009), en el que se observó que el porcentaje de peso seco refleja la cantidad de daño observada. Las plantas disminuyeron su peso seco en un 19, 26, 36 y 50% cuando se le aplicó 2, 10, 20 y 40 g/ha respectivamente.

A mayor edad algunas plantas no tuvieron pérdida de peso seco. Esto puede ocurrir ya que las plantas reaccionan de manera diferente a estos herbicidas reguladores de crecimiento; muchas veces cuando el herbicida está en dosis bajas, puede actuar como estimulador del crecimiento (Pitty 1995).

La relación entre daño y pérdida de peso seco no es directamente proporcional, puesto que algunas plantas, a pesar de tener un daño significativo en el cultivo, presentaron baja pérdida en el peso seco comparado con plantas no aplicadas. Esto se debe a que las plantas sufrieron severos daños en las hojas, tallos y puntos de crecimiento. Muchas de las plantas no perdieron peso seco, sin embargo, no siguieron creciendo ya que el herbicida dañó las principales partes de crecimiento y dio lugar a la formación de callos y ampollas, lo cual surge de una alta producción de auxinas estimuladas por los herbicidas en las plantas. En la actualidad no existen cultivos transgénicos con resistencia a 2,4-D ni Dicamba debido a que los sitios y el modo acción de los mismos no son específicos.

4. CONCLUSIONES

Las plantas más jóvenes (dos semanas de edad), sin importar la especie, fueron más afectadas por los dos herbicidas, comparadas con plantas de cuatro semanas de edad y de la misma especie. Entre más alta la dosis, el daño fue más severo. A excepción de las plantas de coliflor, que presentaron más daño con la deriva de 6 g/ha ia de Dicamba a las dos semanas de edad.

El chile y el tomate son susceptibles a perder peso seco con dosis de 19 g/ha ia de Dicamba, a las dos semanas de edad comparadas con las plantas de cuatro semanas de edad; mientras que la berenjena perdió mayor peso seco con la misma dosis de Dicamba a las cuatro semanas de edad, comparadas con las plantas más jóvenes.

Las plantas de tomate y berenjena son relativamente resistentes a la deriva de 2,4-D sin importar la edad en cuanto a pérdida de peso seco, comparadas con las plantas no aplicadas. El chile es sumamente susceptible a las pérdidas de peso seco a las cuatro semanas de edad con la deriva de 12 g/ha ia de 2,4-D, comparadas con las plantas más jóvenes y la dosis más alta.

Las brásicas (coles de Bruselas, coliflor, repollo) no son muy afectadas por la deriva de 2,4-D en pérdida de peso seco cuando tiene cuatro semanas de edad comparándolas con las plantas más jóvenes. Las plantas de brócoli no se vieron afectadas en peso seco con la deriva de los herbicidas a las diferentes dosis y edades del cultivo comparadas con el testigo. El repollo, col de Bruselas y coliflor son resistentes a la pérdida de peso seco con la deriva de Dicamba sin importar la dosis a las dos semanas de edad, comparadas con las plantas de cuatro semanas de edad.

Las plantas de melón son relativamente resistentes a pérdidas en peso seco con 2,4-D y Dicamba cuando el cultivo tiene dos semanas, aún con la dosis más alta; sin embargo, la calabaza spaghetti y sandía presentaron pérdidas en peso seco a las dos semanas de edad con Dicamba comparadas con las plantas de cuatro semanas de edad. Las plantas de sandía con la deriva a la dosis más alta de 2,4-D, presentaron mayor pérdida de peso seco a la edad de dos semanas comparadas con las plantas más jóvenes. Las plantas de calabaza zucchini no presentaron diferencia significativa en el daño y la pérdida de peso seco para ninguno de los dos herbicidas comparados con el testigo.

Las plantas de frijol, sin importar la edad ni la dosis, son resistentes a pérdida de peso seco con la deriva de 2,4-D. Mientras que a las cuatro semanas de edad con la deriva de 6 y 19 g/ha ia de Dicamba el frijol es más susceptible que con las plantas más jóvenes.

No hubo una relación directa entre el daño y la pérdida de peso seco, debido a la alta producción de auxinas por el efecto de los herbicidas en las plantas. Las plantas desarrollaron estructuras como callos y ampollas en respuesta a la deriva, lo cual comparadas con el testigo, no presentaron una diferencia en pérdida de peso seco. Sin embargo, el daño de las plantas fue muy severo en los tejidos jóvenes y en crecimiento resultando en una pérdida casi completa del cultivo.

5. RECOMENDACIONES

Para conocer en más detalle estos daños en los cultivos se recomienda:

Realizar el estudio en campo donde las condiciones de la aplicación del herbicida sean reales en cuanto a viento y deriva.

Realizar el mismo estudio tomando en cuenta diferentes etapas de crecimiento del cultivo (floración, fructificación, etc.), para así poder observar si el daño de los herbicidas afectara el fruto y su desarrollo.

Hacer un estudio más detallado para evaluar la recuperación de cada cultivo después de la deriva de los herbicidas y determinar las pérdidas económicas.

Evaluar dosis más bajas que 0.3%.

6. LITERATURA CITADA

Ashton, F.M. y A.S. Crafts. 1981. Mode of Action of Herbicides, 2nd Ed. Wiley-Interscience, New York. 272:291

Brown, L., D. Robinson, R. Nurse, C. Swanton, y P. Sikkema. 2009. Soybean response to simulated Dicamba/diflufenzopyr drift followed by postemergence herbicides. Crop Protection. 28:539-542

Jerry, D. 1981. Factores que condicionan la eficacia de los herbicidas; Cali, Colombia CIAT. 20 p.

Jerry, D. 1982. Los herbicidas: modo de actuar y síntomas de toxicidad; Cali, Colombia CIAT. 35 p.

Marple, M., K. Al-Khatib y D. Peterson. 2008. Cotton Injury and Yields as Affected by Simulated Drift of 2,4-D and Dicamba. Weed Technology 22(4):609-614. Publicado por: Weed Science Society of America. Disponible en: <http://www.aginternetnetwork.net/whalecomwww.bioone.org/whalecom0/doi/abs/10.1614/WT-07-095.1>

Olea, I. 1997. Uso de herbicidas: Medidas para el empleo del 2,4-D y otros herbicidas. Uso de herbicidas: El decreto 1610/3 y la receta agronómica. N° 70. Consultado el 18 de octubre de 2009. Disponible en: http://www.produccion.com.ar/1998/98ene_11.htm

Pitty, A. y R. Muñoz. 1993. Guía Práctica para el manejo de malezas. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 223 p.

Pitty, A. 1995. Modo de acción y síntomas de fitotoxicidad de los herbicidas. Primera Edición, Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. 63 p.

Saxton, A. M. 1998. A macro for converting mean separation output to letter groupings in Proc Mixed. In Proc. 23rd SAS Users Group Intl. SAS Institute, Cary, NC, pp 1243-1246

Watson, A. K. 1993. Biological Control of weeds Handbook. WSSA Monograph Ser. #7. WSSA, Lawrence, Ks.

Weed Science Society of America. 2002. Editor William K. Vencill. Herbicide Handbook. Eighth Edition. 111:112 ; 125:127.

.

Weller, S., T. Monaco y F. Ashton. 2002. Growth Regulator Herbicides. *Weed Science, Principles and Practices*. Fourth Edition. 291:296.