

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS MALEZAS

POR

TANIA ALEJANDRA HERNÁNDEZ VARELA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA.**

CONCEPCIÓN – CHILE

2024

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS MALEZAS

POR

TANIA ALEJANDRA HERNÁNDEZ VARELA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA.**

CONCEPCIÓN – CHILE

2024

Aprobada por:

Profesora Asociada, Cristina Muñoz V.

Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

Guía

Profesor Asistente, Miguel Garriga C.

Lic. En Biología, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Nelson Zapata S.

Ing. Agrónomo, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.

Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
DESARROLLO Y DISCUSIÓN.....	3
CONCLUSIONES.....	16
REFERENCIAS.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	Página
Figura 1 Respuesta de las plantas de maleza al glifosato en diferentes condiciones ambientales.....	15
Tabla 1 Perjuicios asociados a las malezas.....	5
Tabla 2 Generalidades de las plantas con vía fotosintética C3 y C4.....	10
Tabla 3 Parámetros de crecimiento de especies de malezas junto a un cultivo de arroz, en condiciones de temperatura elevada.....	11

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS MALEZAS

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WEEDS

Palabras Índice adicionales: Cultivo, Agricultura convencional.

RESUMEN

Las malezas se caracterizan por su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales adversas, utilizando estrategias adaptativas. Son excelentes para estudios sobre la adaptación y micro-evolución, ya que están disponibles en abundancia, crecen y se reproducen con rapidez y facilidad. El objetivo de esta monografía fue recopilar información científica para determinar el efecto de variables climáticas sobre la fisiología de las malezas, la relación cultivo-maleza y determinar el impacto del clima sobre el manejo de las malezas en la agricultura convencional. La temperatura y precipitación son variables que controlan la distribución vegetativa y geográfica de las especies vegetales en general. Se concluye que el cambio climático tendrá implicancias en el comportamiento de las malezas y en la competencia con los cultivos, teniendo un efecto positivo en las malezas a mayor concentración de CO₂ atmosférico, temperaturas más altas y menor disponibilidad del agua. Siendo su efecto más relevante en las especies C3 sobre las especies C4 en presencia de concentraciones elevadas de CO₂, pero no al aumento de temperaturas. La eficacia de los herbicidas y su tolerancia también son afectados, disminuyendo la eficacia del manejo químico de malezas.

SUMMARY

Weeds are known for their ability to survive in adverse environmental conditions by utilizing adaptive strategies. They are excellent subjects for studying adaptation and micro-evolution due to their abundance, rapid growth, and reproductive ease. The objective of this monograph was to gather scientific

information to determine the effect of climatic variables on weed physiology, the crop-weed relationship, and the impact of climate on weed management in conventional agriculture. Temperature and precipitation are variables that control the vegetative and geographic distribution of plant species in general. It is concluded that climate change will have implications on weed behavior and competition with crops, with a positive effect on weeds with higher atmospheric CO₂ concentrations, higher temperatures, and lower water availability. The effect is more significant on C3 species compared to C4 species in the presence of elevated CO₂ concentrations, but not with increased temperatures. The efficacy of herbicides and their tolerance are also affected, resulting in decreased effectiveness of chemical weed management.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno complejo y sus impactos a gran escala son difíciles de predecir con certeza. El cambio climático es una variación significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente, durante decenios o por más tiempo).

Este fenómeno climático se debe al incremento en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra (Oreskes, 2018). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), lo define como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Se manifiesta en un aumento de las temperaturas medias y una alteración del clima a escala mundial, haciendo más común eventos climáticos extremos (IPCC, 2023).

Estos cambios en patrones climáticos generan preocupación en el área agrícola y tendrá un impacto negativo en la seguridad alimentaria debido a la disminución de la producción de productos agrícolas (Pickson *et al.*, 2023; Xiang y Solaymani, 2022) y sobre el incremento de ciertas plagas agrícolas. Algunas

plagas se afectarían por el calentamiento global, favoreciendo su presencia y los consiguientes cambios en la precipitación, los patrones de viento y frecuencias de fenómenos meteorológicos extremos. Sin embargo, se estima que las plantas y entre ellas las malezas, podrían ser beneficiadas debido al aumento de la concentración de CO₂ atmosférico (Patterson, 1995a).

El calentamiento global puede afectar el crecimiento, la fenología y la distribución geográfica de malezas. Como consecuencia directa o indirecta del aumento del CO₂, y los cambios climáticos asociados, se afectará el crecimiento o la incidencia de malezas, generando mayor competencia entre éstas y los cultivos (Ziska *et al.*, 2019).

Dado los antecedentes expuestos, es que el objetivo de esta monografía es recopilar información científica para analizar el impacto del cambio climático sobre las malezas y su efecto en el manejo en sistemas de producción agrícola convencional.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

I. Antecedentes de las malezas y características

La Malherbología es la ciencia que estudia la biología, ecología y manejo de malas hierbas o malezas. Se puede definir a la maleza de diferentes formas, por ejemplo, como una planta que crece en un momento y en un lugar no deseado (Holzner, 1982). Toda planta que invade a un cultivo, causando más perjuicio que beneficio (Gómez, 1995).

Plantas que interfieren en las labores agrícolas, creciendo en lugares donde no se las desea (Ramirez *et al.*, 1991). Otra definición más completa se refiere a toda planta cuyas poblaciones crecen total o predominantemente en situaciones marcadamente alteradas por el hombre, sin ser deliberadamente cultivada y en cualquier área geográfica especificada. Las malezas se caracterizan por su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales adversas, utilizando estrategias adaptativas (Grime y García Ferrer, 1982). Además, son útiles para el estudio de la adaptación y la micro-evolución, ya que están disponibles en abundancia, generalmente crecen y se reproducen con rapidez y facilidad.

Estas plantas ocasionan pérdidas directas a la producción agrícola con variaciones regionales muy grandes, tanto en cultivos anuales (Richard *et al.*, 2023), hortalizas y frutales, alcanzando en promedio de 20% a pesar de su control (Kunz *et al.*, 2015a). Los perjuicios que causan las malezas son muy variados y pueden ser directos o indirectos. En la Tabla 1 se resumen algunos tipos de los efectos negativos de las malezas.

Características de las malezas. Baker (1974) estudió la evolución de las malezas, determinando una serie de características que las hacen ser 'plantas ideales', la capacidad de germinar en diversos ambientes, la germinación discontinua (controlada internamente), una gran longevidad de la semilla; rápido crecimiento desde la fase vegetativa hasta la floración; producción continua de semilla mientras las condiciones de crecimiento lo permitan.

En general, las malezas son autocompatible, pero no completamente autógena; cuando requieren polinización cruzada, no necesitan de polinizadores especializados o bien son anemófilas, y, poseen alta producción de semilla bajo condiciones ambientales favorables. Producen semillas en un amplio rango de condiciones ambientales (tolerante y plástica) y tienen adaptaciones para la dispersión a cortas y largas distancias. Las malezas anuales son menos difíciles de controlar por los diferentes métodos. Sin embargo, al producir gran cantidad de semillas, siempre van a existir plantas germinando y proliferando, por otro lado, las plantas que son perennes pueden tener una reproducción vegetativa vigorosa o regeneración a partir de fragmentos, por lo que es difícil extraerlas porque no son fácilmente arrancadas del suelo. Además, tienen habilidad para competir inter específicamente por medios especiales (crecimiento arrosetado, sofocante o presentar aleloquímicos (Pedreros *et al.*, 2007).

Las malezas presentan una o varias de las características antes mencionadas, lo que les confiere una amplia capacidad competitiva, y variabilidad habilitándola para sobrevivir en ambientes cambiantes e impredecibles, como el que se genera por el cambio climático (Bastiaans y Kropff, 2003; Booth *et al.*, 2003; Liebman *et al.*, 2001c; Peters *et al.*, 2014a), pero en las malezas tendrían importantes consecuencias directas o indirectas sobre su biología y, asimismo, permitirían

que nuevas plantas se conviertan en problemáticas o que las ya existentes puedan expandirse a otras ubicaciones geográficas.

Tabla 1. Perjuicios asociados a las malezas

Problemática	Mecanismos	Ejemplos	Referencias
Disminución del rendimiento de los cultivos	Interfieren y compiten con la planta por la obtención de recursos como agua, luz y nutrientes	<i>Avena fatua</i> L. en cereales	O'Donovan <i>et al.</i> (1985)
Reducen la calidad de las cosechas	Contaminación de semillas para siembra y otros productos de cosecha.	Bayas de <i>Solanum nigrum</i> L. en chícharo.	Liebman <i>et al.</i> (2001a)
Reducen la sanidad de los cultivos	Funcionan como hospedantes alternos o reservorios de plagas y enfermedades de cultivo. Al aumentar la humedad relativa del microambiente pueden elevar la incidencia y severidad de algunas enfermedades.	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Glawe <i>et al.</i> (2003)

Fuente: Liebman *et al.* (2001b)

El cambio climático, que se evidencia principalmente por el calentamiento global,

el aumento de gases invernadero en los cuales se incluye el CO₂ (Fischer *et al.*, 2022a), por aumentos en la temperatura global de la tierra y eventos de sequía que cada vez serán más comunes alterarían el crecimiento y reproducción de la vegetación (Shabani *et al.*, 2020a). Las malezas pueden responder mejor que las plantas cultivables a los cambios continuos del clima y, por lo tanto, pueden aumentar su predominio en los agroecosistemas (Ziska, 2003).

II.- Impacto del cambio climático sobre la fisiología de las malezas e interacción cultivo-maleza

El clima ha sido cambiante a lo largo de la historia de la Tierra. Los registros históricos y geológicos muestran importantes variaciones del clima (Halley, 2009a). Actualmente, el cambio climático se evidencia, por el calentamiento global, generado por el aumento de gases invernadero en la atmosfera, entre los cuales se incluye el CO₂. Los registros de la concentración de CO₂ desde 1950 a la fecha han mostrado un aumento de 311 a 417 partes por millón (ppm) (Fischer *et al.*, 2022b). Al mismo tiempo, ha aumentado la temperatura media de la superficie de la tierra en 0,8 °C, principalmente durante el siglo XXI (Halley, 2009b) y en los patrones de precipitación global, alterando la cantidad de precipitación como su distribución a lo largo de un año (Brevik, 2013) haciendo mucho más comunes eventos de sequía.

Debido al calentamiento global se proyecta un cambio significativo en el clima, y también en la distribución de las especies (Garrett *et al.*, 2006). Lo que representa una amenaza creciente para la agricultura, y en particular, por el potencial incremento del impacto de las malezas. Los efectos del cambio climático influyen en el desempeño y distribución de especies vegetales de forma general (Peters *et al.*, 2014b; Shabani *et al.*, 2020b; Ziska *et al.*, 2011)

En comparación con los cultivos, las malezas tienen características más variables ya que no han sido sometidas a selección de rasgos favorables específicos. Por lo tanto, las malezas tienden a presentar mayor diversidad genética y, en consecuencia, mayor capacidad potencial para adaptarse al estrés que los cultivos, lo que les permite lograr una mayor aptitud competitiva contra cultivos como consecuencia del actual escenario de cambio climático

(Rastgordani *et al.*, 2023a). El cambio climático afectará a las poblaciones de malezas en su abundancia y riqueza de especies, rango geográfico, fisiología y fenología (Chauhan y Abugho, 2013a). Pudiendo afectar el rendimiento de los cultivos, principalmente a través del aumento de las temperaturas, el cambio en los patrones de lluvia y el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Makowski *et al.*, 2020).

Efectos del aumento en la concentración de CO₂ atmosférico sobre malezas. Existe un impacto directo del aumento de CO₂ en la fisiología de las plantas (Ziska *et al.*, 2004a). El enriquecimiento global de la concentración de CO₂ tendrá un impacto directo o indirecto sobre las malezas y el rendimiento de los cultivos (Chauhan *et al.*, 2014). Donde la naturaleza de las interacciones entre cultivos y malezas depende principalmente de variables climáticas (temperatura, CO₂, precipitación, etc.), vías fotosintéticas de las especies, condiciones edáficas, disponibilidad de recursos y prácticas de manejo (Anwar *et al.*, 2021).

Se determinó el efecto de concentraciones elevadas de CO₂ sobre un cultivo de frijol (*Vigna radiata* L.) y dos especies de malezas (*Euphorbia geniculata* Ortega y *Commelina difusa* Burm.f) (Awasthi *et al.*, 2018). Este experimento de campo se llevó a cabo en una instalación de enriquecimiento de CO₂ al aire libre (FACE) donde las plantas se cultivaron a temperatura ambiente y con concentraciones de CO₂ ambiente (390 ppm) y CO₂ elevado (550 ppm). Los resultados mostraron que el crecimiento y la fotosíntesis neta aumentó en todas las especies del estudio, con concentraciones de 550 ppm de CO₂. El rendimiento se midió a través del peso seco generado, el cual aumentó en un 53 %, 143 %, 108 % para *V. radiata*, *E. geniculata* y *C. difusa*, respectivamente. El enriquecimiento de CO₂ provocó aumentos significativos en la fotosíntesis en el frijol y ambas especies de malezas. Determinando que el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico afecta el rendimiento de las plantas de manera específica para cada especie, sin embargo, en este estudio se vieron favorecida las malezas sobre el cultivo. Los cambios inducidos por el CO₂ en el crecimiento y el metabolismo de las plantas afectarán las complejas interacciones de los cultivos y malezas

Se prevé que el aumento del CO₂ en plantas C3 resulte beneficioso para su crecimiento en comparación con plantas con la vía fotosintética C4 (Monish-Reddy *et al.*, 2023). En la Tabla 2 se presenta resumen con las diferencias en el metabolismo de plantas C3 y C4. Se ha determinado que las plantas con la vía fotosintética C3 responden más fuertemente a aumentos de CO₂ que plantas C4 (Ghannoum *et al.*, 2000a) generando aumento en la biomasa y del área foliar (Malarkodi *et al.*, 2017a).

En las plantas con metabolismo C3, ocurre un proceso oxidativo simultáneo conocido como fotorrespiración. Mediante este proceso, más de un tercio del CO₂ total fijado durante el día es devuelto a la atmosfera. Sin embargo, el aumento de CO₂ estimula la fotosíntesis neta en plantas C3, ya que se produciría un aumento en el gradiente de concentración de CO₂ en el aire hacia la hoja, lo que significa una reducción de las pérdidas de CO₂ por fotorrespiración (Malarkodi *et al.*, 2017b). Así, las malezas C3 tienen una mayor respuesta en cuanto a su capacidad reproductiva y de crecimiento por las condiciones de elevada concentración de CO₂ (Malarkodi *et al.*, 2017b).

En plantas C4 no ocurre la fotorrespiración, se caracterizan por una alta eficiencia fotosintética y también por una mayor eficiencia en el uso del agua (Ghannoum *et al.*, 2000b). El aumento de la concentración de CO₂ atmosférico se considera un factor importante que facilita la invasión (Song *et al.*, 2009). Se ha demostrado que en plantas C3, concentraciones elevadas de CO₂ mejoran la producción fotosintética, la producción de biomasa aérea y subterránea, y la concentración de fotosintatos, lo que resulta en mayores relaciones C/N (Chauhan y Abugho, 2013b). Además, mejora la eficiencia en el uso del agua, como resultado de cierre estomático con alto CO₂, y genera una mayor tolerancia a la sequía (Hager *et al.*, 2016). Ciertas malezas responden positivamente al elevado CO₂ debido a la disminución de la conductancia estomática (Chauhan y Abugho, 2013c).

Algunos efectos probables del aumento del CO₂ es una mayor capacidad reproductiva de las malezas (Ramanjit Kaur *et al.*, 2017) asociado a un aumento en la producción de biomasa y área foliar (Korres *et al.*, 2016a). Las plantas C4,

poseen un mecanismo distinto para concentrar CO₂ alrededor de la enzima RuBisCo, no siendo afectadas con el incremento en CO₂ atmosférico. Por ello, la respuesta de las plantas C4 a las altas concentraciones de CO₂ es menor comparada con las C3, dado el grado de saturación que se presenta en las C4; porque la fotorrespiración es reducida. Sin embargo, en un análisis a largo plazo, algunas especies silvestres C4 tendrían un comportamiento distinto a incrementos de CO₂ (Naidu y Paroha, 2008; Kaur y Asthir, 2017).

Ziska (2000) determinó que las malezas C3 tendrán una mayor respuesta frente al aumento de la concentración de CO₂; a partir, de un estudio en un cultivo de soja (*Glycine max* L.) cultivada junto a una maleza C3 (*Chenopodium álbum* L.) y una maleza C4 (*Amaranthus retroflexus* L.), en condiciones de CO₂ ambiente (378 ppm) y CO₂ elevado (729 ppm). Los autores establecieron que en condiciones de elevado CO₂ y sin malezas, el cultivo tuvo un aumento en un 32 % en la biomasa área total en su madurez. Sin embargo, el cultivo en presencia de ambas malezas C3 y C4 redujeron la biomasa del cultivo en un 23 y 36% respectivamente.

Efecto de la temperatura sobre las malezas. La temperatura es un factor crucial para determinar la presencia o ausencia de especies de malezas en una región particular. Cualquier alteración en la temperatura es probable que cambie el patrón de crecimiento, desarrollo y distribución de las plantas de malezas (Kumar *et al.*, 2023b). El aumento de las temperaturas atmosféricas podría originar malezas en cultivos de estación cálida; además desencadenar la migración de malezas (Malarkodi *et al.*, 2017c).

La competencia entre cultivos y malezas se afectaría por el aumento de temperatura, favoreciendo a las malezas más que a los cultivos (Ziska y Runion, 2006). Es así que plantas C3 disminuyen la fotosíntesis y aumentan la fotorrespiración, afectándose la productividad (Varanasi *et al.*, 2016a). Por otro lado, las plantas C4 son menos afectadas por el aumento de la temperatura, ya que cierran estomas, sin afectar la tasa de fotosíntesis.

Tabla 2. Generalidades de las plantas con vía fotosintética C3 y C4.

Características	Plantas C3	Plantas C4
Enzima	Ribulosa 1,5 bifosfato Carboxilasa/oxidasa (RubisCo)	Fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilasa
Grado de Fotorrespiración	Alta	Despreciable
Punto de compensación de CO ₂	50-150 ppm	0-10 ppm
Temperatura óptima de crecimiento	10-25 °C	30-45 °C
Condición climática privilegiada	Dominan regiones templadas	Dominan áreas tropicales y sub- tropicales
Eficiencia en el uso de agua	1-3	2-5

Fuente: Kumar *et al.* (2023a)

Hien Le *et al* (2018a) llevaron a cabo un experimento, en donde se cultivó arroz (*Oryza sativa*) junto a tres malezas (*Ludwigia prostrata* L., *Monochoria vaginalis* Burm.f. y *Echinochloa oryzicola* L.). Las malezas asociadas al cultivo de arroz se cultivaron bajo diferentes regímenes de temperatura que incluían; ambiente, ambiente + 0,8 °C, ambiente + 1,9 °C y ambiente +3,4 °C. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

El crecimiento de las tres malezas fue ligeramente mayor en comparación con el crecimiento del arroz, bajo todas las condiciones de temperaturas elevadas. A una temperatura ambiente + 3,4 °C, el cultivo de arroz tuvo un crecimiento en

altura en un 17,1 %, con respecto a la temperatura ambiente, para las malezas fue de un 87,6 %, 39,2 % y 32,9 % para *E. oryzicola*, *M. vaginalis* y *L. prostrate* respectivamente. Por otro lado, una temperatura ambiente + 3,4 °C, el área foliar del arroz fue un 87,8% mayor que con temperatura ambiente, mientras que *E. oryzicola* exhibió un 57,5 % y *M. vaginalis* un 95,2 % mayor área foliar en comparación con la temperatura ambiente. *L. prostrate* reportó el aumento más significativo en el área foliar presentando 214,3 % más alto a temperatura ambiente + 3,4 °C que la temperatura ambiente.

Tabla 3. Parámetros de crecimiento de especies de malezas junto a un cultivo de arroz, en condiciones de temperatura elevada.

Parámetros de crecimiento	Especies	Ambiente	Ambiente + 0,8 °C	Ambiente + 1,9 °C	Ambiente + 3,4 °C
Altura de la planta (cm)	<i>O. sativa</i>	97,30	106,00	107,00	114,00
	<i>E. oryzicola</i>	89,00	116,00	127,00	167,00
	<i>M. vaginalis</i>	28,00	29,50	32,50	39,00
	<i>L. prostrata</i>	85,00	95,50	104,50	113,00
Área foliar (cm ²)	<i>O. sativa</i>	5,50	6,99	7,39	10,43
	<i>E. oryzicola</i>	6,09	7,74	8,77	9,59
	<i>M. vaginalis</i>	1,99	2,91	3,57	3,88
	<i>L. prostrata</i>	0,84	1,39	1,92	2,66

Fuente: Hien Le *et al.* (2018b)

El crecimiento tanto del arroz como de las malezas aumentaron con la elevación de la temperatura. Sin embargo, el crecimiento de maleza (Altura) y área foliar fue mayor que el del arroz a temperaturas elevadas, específicamente con temperatura ambiente + 3,4 °C. Cabe mencionar que *E. oryzicola* es una maleza con metabolismo C4 y tuvo un mayor crecimiento en altura, a diferencia de *M. vaginalis* y *L. prostrate* que son malezas C3, indicando una mayor respuesta de las plantas con vía fotosintéticamente C4 a los aumentos de temperatura, pero

no obtuvo el mayor aumento en el área foliar, por lo que el efecto de la temperatura no es claro en la respuesta diferencial entre una planta C3 y C4 (Wang *et al.*, 2023). Estos hallazgos sugieren que las temperaturas elevadas podrían proporcionar una ventaja competitiva aún mayor a las malezas con efectos negativos asociados a la producción de cultivos, específicamente el arroz.

Efecto de la disponibilidad de agua sobre las malezas. El cambio climático generaría un aumento en la incidencia de fenómenos climáticos extremos (por ejemplo, sequías). Es un desafío predecir los cambios que pueden ocurrir debido a los cambios en el clima global. La disponibilidad de agua en el suelo es el factor más importante, limitando el rendimiento de los cultivos en todo el mundo. Se dispone de datos limitados sobre el efecto del cambio climático y las condiciones de sequía en las malezas y su competitividad con los cultivos (Karkanis *et al.*, 2018a)

Los cultivos y las malezas tienen respuestas similares a la sequía. El impacto general de las malezas puede reducirse debido al menor crecimiento de ambos, cultivos y malezas en respuesta a la disponibilidad de agua (Patterson, 1995b). Sin embargo, la respuesta de las plantas a la sequía es un proceso biológico complejo que involucra diferentes mecanismos de defensa. Las malezas poseen una amplia variedad de mecanismos fisiológicos y de desarrollo, que les permiten adaptarse a la limitada disponibilidad de agua (Plesa *et al.*, 2018), que incluyen senescencia, aumento de la deposición de cera cuticular de la hoja, parénquima en empalizada bien desarrollado en las hojas, alta relación raíz/brote, cierre de estomas, acumulación de peroxidasa y simbiosis con endófitos que les permiten adaptarse a la sequía (Karkanis *et al.*, 2018b) de mejor forma que las plantas cultivables.

Especies de malezas disminuyen sus necesidades de agua al reducir el área foliar total de la planta; como es el caso de *Abutilon theophrasti* Medik. (hoja de terciopelo) que responde al estrés hídrico al senesar sus hojas más viejas, permitiendo a las hojas jóvenes apoyar el desarrollo de las plantas y la producción de semillas, a diferencia de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) (Schmidt *et al.*,

2011).

La sequía produciría en las malezas y cultivos estrés hídrico donde el equilibrio competitivo cambiaría a favor de las plantas de raíces profundas (Stratonovitch *et al.*, 2012).

Una de las respuestas para especies C3 y C4 es la disminución de la conductancia estomática, debido al aumento del CO₂. Esto puede resultar en incrementos significativos en la eficiencia del uso del agua (materia seca producida g de agua transpirado⁻¹). En definitiva, en condiciones de baja disponibilidad de agua, debería aumentar la fotosíntesis y biomasa de las plantas (Ramesh *et al.*, 2017).

Las plantas C4 son más productivas que las C3 cuando el agua es limitante. Es decir, en situaciones de sequía, las malezas C4 podrían tener ventaja sobre cultivos C3, bajo condiciones de altas concentraciones de CO₂ (Chauhan y Abugho, 2013d).

III. Impacto del cambio climático en el manejo de las malezas en la agricultura

Debido a que la presencia de malezas tiene un efecto negativo en la productividad y calidad de los cultivos en la agricultura convencional, se plantea la necesidad de establecer un adecuado control de malezas, que debe incluir tanto prácticas preventivas, como labores culturales, control mecánico y/o químico. El control va a depender del tipo de maleza, el estado de desarrollo de la maleza y del cultivo, del hábito de crecimiento, de la densidad poblacional y de la frecuencia e intensidad con que se presente la maleza (Korres *et al.*, 2019a).

El cambio climático es de gran preocupación para los agricultores debido a la vulnerabilidad de cultivos a clima desfavorable. Además, la gestión de las plagas, incluidas las malezas, también pueden ser más difíciles de controlar durante un período de clima rápidamente cambiante (Korres *et al.*, 2016b). El aumento del CO₂ y temperatura, podrían alterar la eficacia de los agentes de control de las malezas, alterando su desarrollo, morfología y reproducción (Kunz *et al.*, 2015b)

El control químico de malezas mediante el uso de herbicidas, es el método más utilizado en sistemas con manejo convencional. Sin embargo, la variación y el

estrés ambiental generado por el cambio climático pueden influir en la absorción, el metabolismo y la eficacia de los herbicidas (Varanasi *et al.*, 2016b). El estrés hídrico o estrés por baja temperatura con una consiguiente aplicación de herbicidas puede interferir con la recuperación del crecimiento de los cultivos (Rastgordani *et al.*, 2023b; Sebastian *et al.*, 2017).

Las plantas expuestas a estrés hídrico a largo plazo antes de la aplicación de herbicidas a menudo desarrollan cutículas más gruesas o aumento de la pubescencia de las hojas, los cuales interfieren con la entrada del herbicida en la hoja. También el aumento del CO₂ podría reducir tanto la apertura como el número de estomas y alterar el grosor de la hoja o cutícula ocasionando una disminución de la absorción foliar de los herbicidas. Asimismo, los cambios en la transpiración de la planta limitarían la absorción de los herbicidas aplicados al suelo. El aumento de CO₂ podría estimular el crecimiento de malezas perennes en una mayor profundidad bajo el suelo de sus estructuras subterráneas (rizomas, tubérculos y raíces), dificultando el control químico (Korres *et al.*, 2019b).

A esto se agrega que la mayor producción de estructuras subterráneas de malezas perennes, requeriría mayores dosis de herbicidas sistémicos para evitar rebrotes (Zizka, 2004b).

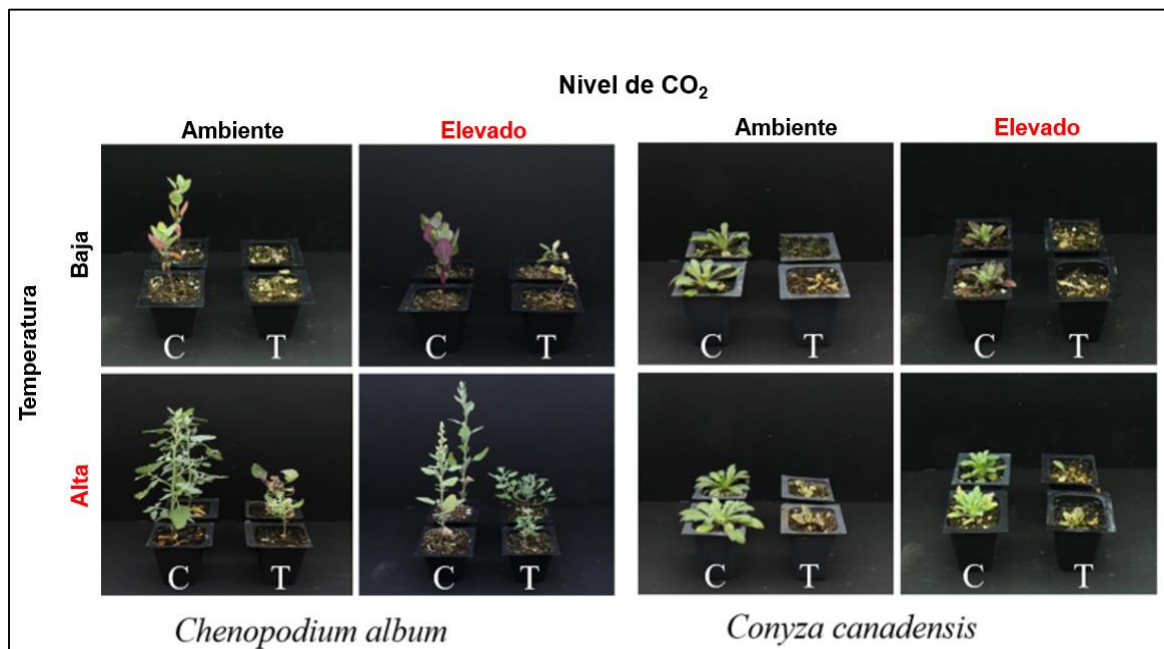
Matzrafi *et al.* (2019a) llevaron a cabo un estudio para determinar que el aumento de las temperaturas y los niveles elevados de CO₂ y en combinación de ambos factores reducen la sensibilidad de dos malezas *Conyza canadensis* L. (Coniza) y *Chenopodium album* L. (Quingüilla) a un herbicida. Las plantas fueron tratadas con temperatura baja (18/12 °C) y temperatura alta (32/26 °C) y concentraciones de CO₂ ambiental (400 ppm) y CO₂ elevado (720 ppm). En la Figura 1 se muestran las respuestas de las malezas a las distintas condiciones.

Las plantas tratadas con glifosato sobrevivieron en mayor porcentaje a altas temperaturas que a niveles elevados de CO₂ por separado de ambos parámetros; sin embargo, en combinación de ambos factores, la sensibilidad de las plantas al glifosato se redujo en mayor medida. Los resultados del estudio indican que el control de las dos malezas con glifosato podría reducirse bajo los cambios

proyectados en las condiciones climáticas.

Los estudios indican que la estimulación sostenida de la fotosíntesis y el crecimiento de las malezas podría ocurrir a medida que aumenta el CO₂ atmosférico temperatura y falta de agua, con una reducción en la efectividad del control químico y aumentos potenciales en la competencia entre malezas y cultivos.

Figura 1. Respuesta de las plantas de maleza al glifosato en diferentes condiciones ambientales.



Fuente: Matzrafi et al. (2019b)

CONCLUSIONES

1. El cambio climático tendrá implicancias en el comportamiento de las malezas y en la competencia con los cultivos. Mayores concentraciones de CO₂ atmosférico, temperaturas más altas y menor disponibilidad del agua, afectarían positivamente el crecimiento de las malezas en comparación a los cultivos.
2. Se espera que las especies C3 tengan una ventaja competitiva sobre las especies C4 en presencia de concentraciones elevadas de CO₂, pero no al

aumento de temperaturas; lo que implica que aquellas con la vía fotosintética C4 deberían competir mejor, sin embargo, el efecto simultáneo no es claro.

3. Los factores del cambio climático tienen implicancias no sólo para crecimiento y productividad de los cultivos y malezas, sino también en el desempeño de los herbicidas y su tolerancia, disminuyendo la eficacia del manejo químico de malezas.

REFERENCIAS

1. Anwar, M. P., Islam, A. K. M. M., Yeasmin, S., Rashid, M. H., Juraimi, A. S., Ahmed, S., Shrestha, A. (2021). Weeds and their responses to management efforts in a changing climate. *Agron.* 11:10.
2. Awasthi, J. P., Paraste, K. S., Rathore, M., Varun, M., Jaggi, Di., Kumar, B. (2018). Effect of elevated CO₂ on *Vigna radiata* and two weed species: Yield, physiology and crop-weed interaction. *Crop Pasture Sci.* 69(6): 617–631.
3. Baker, H. G. (1974). The Evolution of Weeds. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 5(1): 1–24.
4. Bastiaans L, Kropff M. (2003). Weed Competition. *Plant Sci.* 3: 1494-1500.
5. Booth, B. D. Barbara D., Murphy, S. D., Swanton, C. J. (2003). Weed ecology in natural and agricultural systems. CABI Pub. 1-13.
6. Brevik, E. C. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agric. (Switz.)*. 3(3).
7. Chauhan, B. S., Abugho, S. B. (2013a). Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice. *Am. J. Plant Sci*, 04(5): 989–998.
8. Chauhan, B. S., Abugho, S. B. (2013b). Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice. *Am. J. Plant Sci*, 04(5): 989–998.
9. Chauhan, B. S., Abugho, S. B. (2013c). Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice. *Am. J. Plant Sci*, 04(5): 989–998.

10. Chauhan, B. S., Abugho, S. B. (2013d). Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice. *Am. J. Plant Sci*, 04(5): 989–998.
11. Chauhan, B. S., Prabhjyot, K., Mahajan, G., Randhawa, R. K., Singh, H., Kang, M. S. (2014). Global Warming and Its Possible Impact on Agriculture in India. *Adv. Agron* 123: 65–121.
12. Fischer, G., Melgarejo, L. M., Balaguera-López, H. E. (2022a). Review on the impact of elevated CO₂ concentrations on fruit species in the face of climate change. *Agrosavia* 23:2.
13. Fischer, G., Melgarejo, L. M., Balaguera-López, H. E. (2022b). Review on the impact of elevated CO₂ concentrations on fruit species in the face of climate change. *Agrosavia* 23:2.
14. Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 44:489–509.
15. Ghannoum O, Von Caemmerer S, Ziska L, Conroy J. (2000a). The growth response of C₄ plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant Cell Environ.* 23:931–942.
16. Ghannoum O, Von Caemmerer S, Ziska L, Conroy J. (2000b). The growth response of C₄ plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant Cell Environ.* 23:931–942.
17. Glawe, D. A., Windom, G. E., Grove, G. G., Falacy, J. S. (2003). First Report of Powdery Mildew of *Convolvulus arvensis* (Field Bindweed) Caused by *Erysiphe convolvuli* var. *convolvuli* in North America *Plant Health Prog.* 4(1).
18. Gomez, P, J. F. (1995). Control de malezas en caña de azúcar en Manuelita SA. *Int. Sugar J.* 97(1157): 234–243.
19. Grime, J. P., García Ferrer, C. A. (1982). Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Editorial Limusa.
20. Hager, H. A., Ryan, G. D., Kovacs, H. M., Newman, J. A. (2016). Effects of elevated CO₂ on photosynthetic traits of native and invasive C₃ and C₄ grasses. *BMC Ecol.* 16(1).
21. Halley, J. M. (2009a). Using models with long-term persistence to interpret the rapid increase of Earth's temperature. *Phys. A: Stat. Mech.*, 388(12): 2492–2502.

22. Halley, J. M. (2009b). Using models with long-term persistence to interpret the rapid increase of Earth's temperature. *Phys. A: Stat. Mech.*, 388(12): 2492–2502.
23. Hien Le, T., Bo Bo, A., Ruziev, F., Umurzokov, M., Shahidul Haque Bir, M., Thi Hien, L., Jae Won, O., Jia, W., Jin Yun, H., Khaitov, B., Woong Park, K. (2018a). Growth Response of Weed Species in a Paddy Field under Elevated Temperatures: Growth Response of Weed Species in a Paddy Field under Elevated Temperatures. *Weed Turf. Sci.* 7(4): 321–329.
24. Hien Le, T., Bo Bo, A., Ruziev, F., Umurzokov, M., Shahidul Haque Bir, M., Thi Hien, L., Jae Won, O., Jia, W., Jin Yun, H., Khaitov, B., Woong Park, K. (2018b). Growth Response of Weed Species in a Paddy Field under Elevated Temperatures: Growth Response of Weed Species in a Paddy Field under Elevated Temperatures. *Weed Turf. Sci.* 7(4): 321–329.
25. Holzner, W. (1982). Concepts, categories and characteristics of weeds. In W. Holzner & M. Numata (Eds.), *Biol. and ecol. of weeds.* 3–20.
26. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability.* In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge University Press.
27. Karkanis, A., Ntatsi, G., Alemardan, A., Petropoulos, S., Bilalis, D. (2018a). Interference of weeds in vegetable crop cultivation, in the changing climate of Southern Europe with emphasis on drought and elevated temperatures: A review. *J Agric Sci.* 156 (10):1175–1185.
28. Karkanis, A., Ntatsi, G., Alemardan, A., Petropoulos, S., Bilalis, D. (2018b). Interference of weeds in vegetable crop cultivation, in the changing climate of Southern Europe with emphasis on drought and elevated temperatures: A review *J Agric Sci.* 156 (10):1175–1185.
29. Kaur, G., Asthir, B. (2017). Molecular responses to drought stress in plants. *Biol. Plant*, 61(2): 201–209.
30. Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T. K., Loka, D. A., Oosterhuis, D. M., Gealy, D. R., Moss, S. R., Burgos, N. R., Miller, M. R., Palhano, M. (2016a). Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agronomy for Sustainable Development.* 36(1):1–22.
31. Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T. K., Loka, D. A., Oosterhuis, D. M., Gealy, D. R., Moss, S. R., Burgos, N. R., Miller, M. R., Palhano, M. (2016b). Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agronomy for Sustainable Development.* 36(1):1–22.

32. Korres, N. E., Burgos, N. R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T. K., Varanasi, V. K., Duke, S. O., Kudsk, P., Brabham, C., Rouse, C. E. and R. Salas-Perez. (2019a). New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. *Adv. Agron.*155: 243–319.
33. Korres, N. E., Burgos, N. R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T. K., Varanasi, V. K., Duke, S. O., Kudsk, P., Brabham, C., Rouse, C. E. and R. Salas-Perez. (2019b). New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. *Adv. Agron.*155: 243–319.
34. Kumar, V., Kumari, A., Price, A. J., Bana, R. S., Singh, V., Bamboriya, S. D. (2023a). Impact of Futuristic Climate Variables on Weed Biology and Herbicidal Efficacy. *Agron.* 13 (2).
35. Kumar, V., Kumari, A., Price, A. J., Bana, R. S., Singh, V., Bamboriya, S. D. (2023b). Impact of Futuristic Climate Variables on Weed Biology and Herbicidal Efficacy. *Agron.* 13 (2).
36. Kunz, C., Weber, J. F., Gerhards, R. (2015a). Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet - Comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control. *Agron.* 5(2): 130–142.
37. Kunz, C., Weber, J. F., Gerhards, R. (2015b). Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet - Comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control. *Agron.* 5(2): 130–142.
38. Liebman, M., Mohler, C. L., Staver, C. P. (2001a). *Ecological Management of Agricultural Weeds.* Cambridge University Press.
39. Liebman, M., Mohler, C. L., Staver, C. P. (2001b). *Ecological Management of Agricultural Weeds.* Cambridge University Press.
40. Liebman, M., Mohler, C. L., Staver, C. P. (2001c). *Ecological Management of Agricultural Weeds.* Cambridge University Press.
41. Makowski, D., Marajo-Petitzon, E., Durand, J. L., Ben-Ari, T. (2020). Quantitative synthesis of temperature, CO₂, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. *Eur J Agron*, 115.
42. Malarkodi, N., Manikandan, N., Ramaraj, A. P. (2017a). Impact of climate change on Weeds and Weed management. *J. Inno. Agri.* 4(4), 1–7.

43. Malarkodi, N., Manikandan, N., Ramaraj, A. P. (2017b). Impact of climate change on Weeds and Weed management. *J. Inno. Agri.* 4(4), 1–7.
44. Malarkodi, N., Manikandan, N., Ramaraj, A. P. (2017c). Impact of climate change on Weeds and Weed management. *J. Inno. Agri.* 4(4), 1–7.
45. Matzrafi, M., Brunharo, C., Tehranchian, P., Hanson, B. D., Jasieniuk, M. (2019a). Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Sci. Rep.* 9(1).
46. Matzrafi, M., Brunharo, C., Tehranchian, P., Hanson, B. D., Jasieniuk, M. (2019b). Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Sci. Rep.* 9(1).
47. Monish-Reddy, B., Naseeruddin, R., Vijay Kumar, S., Prathima, T., Leelavathy, G. (2023). Consequences of climate change in weed species in the rice ecosystem.
48. Naidu. V., Paroha. S. (2008). Growth and biomass partitioning in two weed species, parthenium hysterophorus (C3) and amaranthus viridis (C4), under elevated CO₂. *Ecol. Environ. Conserv.*, 14(4), 515–518.
49. O'Donovan, J. T., De St. Remy, E. A., O'Sullivan, P. A., Dew, D. A., Sharma, A. K. (1985). Influence of the Relative Time of Emergence of Wild Oat (*Avena fatua*) on Yield Loss of Barley (*Hordeum vulgare*) and Wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Sci.* 33(4), 498–503.
50. Oreskes, N. (2018). The Scientific Consensus on Climate Change: How Do We Know We're Not Wrong?. *Climate Modelling.* 31-64.
51. Patterson, D.T. (1995a). Effects of Environmental Stress on Weed/Crop Interactions. *Weed Sci.* 43: 483–490.
52. Patterson, D. T. (1995b). Weeds in a changing climate. *Weed Sci.* 43(4): 685–701.
53. Pedreros, A. (2007). Malezas en arándano. *Tierra Adentro*, 7(75): 35–37.
54. Peters, K., Breitsameter, L., Gerowitt, B. (2014a). Impact of climate change on weeds in agricultura. *Agron Sustain Dev.* 34 (4): 707–721.
55. Peters, K., Breitsameter, L., Gerowitt, B. (2014b). Impact of climate change on weeds in agricultura. *Agron Sustain Dev.* 34(4): 707–721.

56. Pickson, R. B., Boateng, E., Gui, P., Chen, A. (2023). The impacts of climatic conditions on cereal production: implications for food security in Africa. *Environment, Development and Sustainability*.
57. Plesa, I. M., González-Orenga, S., Al Hassan, M., Sestras, A. F., Vicente, O., Prohens, J., Sestras, R. E., Boscaiu, M. (2018). Effects of drought and Salinity on European Larch (*Larix decidua* Mill.) seedlings. *Forests*, 9(6).
58. Ramanjit Kaur, D. J., G.A. Rajanna, N. K y Anchal Dass, K. K. (2017). Weed dynamics under changing climate scenario. *Int. j. curr. microbiol. appl. sci.s*, 6(3), 2376–2388.
59. Ramesh, K., Matloob, A., Aslam, F., Florentine, S. K., Chauhan, B. S. (2017). Weeds in a changing climate: Vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Front. Plant Sci.* 8.
60. Ramirez, C., Finot, V. L., Martin, C., Ellies, A. (1991). El valor indicador ecologico de las malezas del centro-sur de Chile. *Agro Sur* 19: 94–116.
61. Rastgordani, F., Oveisi, M., Mashhadi, H. R., Naeimi, M. H., Hosseini, N. M., Asadian, N., Bakhshian, A., Müller-Schärer, H. (2023a). Climate change impact on herbicide efficacy: A model to predict herbicide dose in common bean under different moisture and temperature conditions. *Crop Prot*, 163.
62. Rastgordani, F., Oveisi, M., Mashhadi, H. R., Naeimi, M. H., Hosseini, N. M., Asadian, N., Bakhshian, A., Müller-Schärer, H. (2023b). Climate change impact on herbicide efficacy: A model to predict herbicide dose in common bean under different moisture and temperature conditions. *Crop Prot*, 163.
63. Richard, D., Leimbrock-Rosch, L., Keßler, S., Stoll, E., Zimmer, S. (2023). Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. *Eur. J. Agron.* 147.
64. Schmidt, J. J., Blankenship, E. E., Lindquist, J. L. (2011). Corn and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Transpiration in Response to Drying Soil. *Weed Sci*, 59(1).
65. Sebastian, D. J., Nissen, S. J., Westra, P., Shaner, D. L., Butters, G. (2017). Influence of soil properties and soil moisture on the efficacy of indaziflam and flumioxazin on *Kochia scoparia* L. *Pest Manag. Sci*, 73(2), 444–451.
66. Shabani, F., Ahmadi, M., Kumar, L., Solhjoui-fard, S., Shafapour Tehrany, M., Shabani, F., Kalantar, B., Esmaeili, A. (2020a). Invasive weed species' threats to global biodiversity: Future scenarios of changes in the number of invasive species in a changing climate. *Ecol. Indic.* 116.

67. Shabani, F., Ahmadi, M., Kumar, L., Solhjoui-fard, S., Shafapour Tehrany, M., Shabani, F., Kalantar, B., Esmaeili, A. (2020b). Invasive weed species' threats to global biodiversity: Future scenarios of changes in the number of invasive species in a changing climate. *Ecol. Indic.* 116.
68. Song, L., Wu, J., Li, C., Li, F., Peng, S., Chen, B. (2009). Different responses of invasive and native species to elevated CO₂ concentration. *Acta Oecol.* 35(1): 128–135.
69. Stratonovitch, P., Storkey, J., Semenov, M. A. (2012). A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. *Glob Chang Biol.* 18(6): 2071–2080.
70. Varanasi, A., Prasad, P. V. V., Jugulam, M. (2016a). Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. *Adv. Agron.* 135: 107–146.
71. Varanasi, A., Prasad, P. V. V., Jugulam, M. (2016b). Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. *Adv. Agron.* 135: 107–146.
72. Wang, Y., Liu, S., Shi, H. (2023). Comparison of climate change impacts on the growth of C3 and C4 crops in China. *Ecol. Inform.* 74.
73. Xiang, X., Solaymani, S. (2022). Change in cereal production caused by climate change in Malaysia. *Ecol. Inform.* 70.
74. Ziska, L. H. (2000). The impact of elevated CO₂ on yield loss from a C3 and C4 weed in field-grown soybean. *Glob Chang Biol.* 6(8): 899–905.
75. Ziska, L. H. (2003). Evaluation of yield loss in field sorghum from a C3 and C4 weed with increasing CO₂. *Weed Sci.* 51(6): 914–918.
76. Ziska, L. H., Blumenthal, D. M., Franks, S. J. (2019). Understanding the nexus of rising CO₂, climate change, and evolution in weed biology. *Invasive Plant Sci Manag.* 12 (2): 79–88.
77. Ziska, L. H., Blumenthal, D. M., Runion, G. B., Hunt, E. R., Diaz-Soltero, H. (2011). Invasive species and climate change: An agronomic perspective. *In Climatic Change.* 105 (1): 3–42.
78. Ziska, L. H., Morris, C. F., Goins, E. W. (2004a). Quantitative and qualitative evaluation of selected wheat varieties released since 1903 to increasing atmospheric carbon dioxide: Can yield sensitivity to carbon dioxide be a factor in wheat performance? *Glob Chang Biol.* 10(10): 1810–1819.

78. Ziska, L. H., Morris, C. F., Goins, E. W. (2004b). Quantitative and qualitative evaluation of selected wheat varieties released since 1903 to increasing atmospheric carbon dioxide: Can yield sensitivity to carbon dioxide be a factor in wheat performance? *Glob Chang Biol.* 10(10): 1810–1819.
79. Ziska, L, Runion, G. B. (2006). Future Weed, Pest, and Disease Problems for Plants. 261–287.