TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

EXTRACTO DE *Amaranthus hybridus* L. COMO ELICITOR FOLIAR INCREMENTA LA FOTOSÍNTESIS EN MAÍZ

Ortega-García Nicolás[1]; Raya-Pérez Juan C[1]; Aguirre-Mancilla Cesar L[1]; Pérez-Olvera Ma. Antonia[2]

[1]TecNM-Roque, km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato. [2]Colegio de Postgraduados campus Montecillo, km 36.5, carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Texcoco Estado de México. Autor por correspondencia: juan.rp2@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del extracto de *Amaranthus hybridus* L. como elicitor en la capacidad fotosintética de maíz (*Zea mays* L.) establecido bajo condiciones de riego en el Ejido San Nicolás de los Agustinos, municipio de Salvatierra, Guanajuato. El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones, aplicando extractos preparados con harina de hojas molidas y secas (16, 24 y 32 g /1.8 L de agua purificada), junto con un tratamiento testigo sin aplicación. Las aspersiones se realizaron el 6 y 17 de junio de 2024, y la evaluación de la clorofila se realizó dos días después de cada aplicación utilizando un medidor de clorofila (SPAD). Los análisis estadísticos incluyeron el ANAVA y pruebas de comparación de medias de Tukey, detectándose diferencias significativas en la segunda aplicación para el tratamiento de 32 g respecto al testigo. El extracto de *Amaranthus hybridus* L. demostró ser una alternativa prometedora para incrementar la cantidad de clorofila en maíz, posiblemente debido a su alto contenido de antioxidantes y compuestos bioactivos que pueden mitigar los efectos del estrés abiótico. Estos resultados abren la posibilidad de utilizar el extracto de *Amaranthus hybridus* L. como un elicitor natural para mejorar el rendimiento del maíz y otros cultivos de importancia económica.

***Palabras clave**: Fotosíntesis, A. hybridus, elicitores naturales, clorofila, maíz, estrés abiótico.*

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the effect of *Amaranthus hybridus* L. extract as an elicitor on the photosynthetic capacity of corn (*Zea mays* L.) established under irrigated conditions in the Ejido San Nicolás de los Agustinos, municipality of Salvatierra, Guanajuato. The experiment was carried out using a randomized block design with four replications, applying extracts prepared with flour from ground and dried leaves (16, 24 and 32 g / 1.8 L of purified

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

water), along with a control treatment without application. Spraying was carried out on June 6 and 17, 2024, and chlorophyll evaluation was performed two days after each application using a chlorophyll meter (SPAD). Statistical analyses included ANOVA and Tukey's means comparison tests, detecting significant differences in the second application for the 32 g treatment compared to the control. *Amaranthus hybridus* L. extract has proven to be a promising alternative for increasing chlorophyll levels in corn, possibly due to its high content of antioxidants and bioactive compounds that can mitigate the effects of abiotic stress. These results open up the possibility of using Amaranthus hybridus L. extract as a natural elicitor to improve the yield of corn and other economically important crops.

Keywords: *Photosynthesis, A. hybridus, natural elicitors, chlorophyll, corn, abiotic stress.*

INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis es un proceso fundamental en el cual las plantas convierten la energía solar en energía química, permitiendo la transformación del carbono inorgánico en carbono orgánico. Este mecanismo es crucial para la acumulación de biomasa, la cual sustenta el crecimiento y desarrollo vegetal. En el contexto de la agricultura moderna, la optimización de la eficiencia fotosintética es un objetivo clave, particularmente en cultivos de importancia económica como el maíz (*Zea mays* L.), donde mejorar la captación y conversión de energía puede impactar significativamente el rendimiento y la sostenibilidad de la producción (Croce *et al*., 2024; Mondragón, 2021; Yan *et al*., 2021).

La eficiencia fotosintética depende en gran medida de la clorofila, es el pigmento esencial en la captación de luz y la transformación de energía luminosa en energía química. La clorofila *a* y la clorofila *b* desempeñan roles complementarios, ya que absorben distintas longitudes de onda del espectro solar, maximizando la conversión de energía durante la reacción primaria de la fotosíntesis. La proporción y cantidad de estos pigmentos determinan la capacidad de la planta para captar y utilizar eficazmente la luz proveniente del sol, influyendo directamente en su rendimiento fotosintético (Li *et al*., 2018).

Se ha argumentado que mejorar la fotosíntesis puede contribuir a una mayor seguridad alimentaria en las próximas décadas a medida que aumente la población mundial, con antelación y en la actualidad; existen algunas herramientas para llevar a cabo intervenciones que permiten mejorar el contenido fotosintético, lo que contribuye a incrementar la productividad de los cultivos de interés agrícola (Evans, 2013; Croce *et al*., 2024).

Experimentos recientes han aportado pruebas de que sí es posible el incremento de la fotosíntesis. Estos estudios han explorado diversos enfoques innovadores, desde la introducción de nuevas vías bioquímicas en los sistemas vegetales hasta modificaciones genéticas destinadas a mejorar la eficiencia de la captación de luz o la fijación de carbono (Croce *et al*., 2024).

Evans (2013) mencionó que se podía tener intervenciones en el proceso donde se involucra al mecanismo de concentración de CO_2, el cual tiene influencia directa en la actividad de la oxigenasa, y es catalizada por la Rubisco, permitiendo mantener una mayor eficiencia de la luz, del nitrógeno y el agua dentro de la planta. Hace referencia a que la concentración de CO_2, se podía lograr al transferir transportadores de bicarbonato de las cianobacterias a los cloroplastos y con ello incrementar el CO_2 donde trabaja la Rubisco.

Los elicitores, son compuestos naturales o sintéticos que activan vías de transducción de señales y factores de transcripción que regulan genes específicos, promoviendo rutas metabólicas que incrementan la producción de metabolitos secundarios. Esto refuerza la capacidad de las plantas para enfrentar condiciones de estrés, como sequía, salinidad o temperaturas extremas. Su estudio ha permitido profundizar en las señales de defensa vegetal. Los que derivan de patógenos o de la propia planta, son considerados bióticos, mientras que los endógenos, como los patrones moleculares asociados al daño (DAMPs), funcionan como señales de alarma. Los elicitores exógenos, aplicados en bajas concentraciones, estimulan la biosíntesis de compuestos esenciales para la adaptación al estrés (Jain *et al*., 2024).

Diversas investigaciones han demostrado que los elicitores naturales pueden inducir respuestas adaptativas que mejoran la eficiencia fotosintética, favoreciendo la asimilación de CO_2, la producción de moléculas bioactivas, la actividad enzimática y el rendimiento del fotosistema II (Medeiros *et al*., 2023; Sherin *et al*., 2022). Su aplicación contribuye a mitigar los efectos del estrés biótico en cultivos hortícolas. Enciso *et al*. (2018) evaluaron el impacto de dos de estas sustancias, una a base de extractos de algas y otra formulada con compuestos orgánicos derivados de plantas, asperjadas sobre plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) infectadas con Fusarium *oxysporum f. sp. lycopersici*. Entre los indicadores fisiológicos analizados se incluyó el contenido de clorofila, expresado en unidades SPAD. Aunque en una primera medición no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, en estados avanzados de infección (57 días después del trasplante), el producto a base de algas (E1) permitió mantener valores de clorofila comparables al tratamiento testigo no inoculado. En contraste, el que provenía de compuestos vegetales (E2) mostró una reducción del 31% respecto al testigo, mientras que el grupo infectado sin tratamiento (FOL) presentó una disminución del 65%.

Estos hallazgos sugieren que dichas sustancias pueden preservar la funcionalidad fotosintética bajo condiciones de estrés biótico. Su uso, especialmente a partir de extractos vegetales, ha ganado interés por su origen natural, bajo costo y capacidad para fortalecer mecanismos de defensa y crecimiento en cultivos (Enciso *et al*., 2018).
La planta de *Amaranthus hybridus* L. presenta una notable capacidad para mitigar el estrés oxidativo gracias a su alto contenido de antioxidantes y metabolitos secundarios, destacándose la prolina, ácido ascórbico, flavonoides, entre otros (González, *et al*., 2019, Santiago *et al*., 2019, Kumar & Goel, 2019, Zou *et al*., 2019, Bielach *et al*., 2017, Slabbert & Krüger, 2014). Estos compuestos ayudan a neutralizar especies de oxígeno reactivo (ROS) generadas por estrés abiótico, protegiendo estructuras celulares críticas e incrementando la eficiencia fotosintética (Lourenço *et al*., 2019, Pisoschi *et al*.,2020, Ejiofor *et al*., 2022, Gonçalves & De Souza, 2022, Chaudhary *et al*., 2023, Muscolo, *et al*., 2024).,

La presente investigación averiguo el efecto de la aplicación foliar de extracto de *A. hybridus* sobre la cantidad de clorofila presente en las hojas de maíz establecido en campo abierto en el Ejido San Nicolás de los Agustinos, municipio de Salvatierra, Guanajuato, en un sistema de agricultura de riego. Se verificó si dicho extracto, según su composición, pudiera actúa como un elicitor al inducir mecanismos bioquímicos y fisiológicos que permitan un mejor comportamiento de las plantas de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La unidad experimental está ubicada en el ejido San Nicolás de los Agustinos, en el municipio de Salvatierra, Guanajuato (Figura 1), con las coordenadas geográficas de 20.25288051° de latitud Norte y -100.95003013° longitud Oeste (IPLANEG,2025) Se recolectaron plantas de *A. hybridus* en terrenos cercanos a campos de cultivo. Las plantas fueron retiradas del terreno en etapa de fructificación, se defoliaron de forma manual y posteriormente se extendieron sobre papel, secándose directamente a la acción del sol durante 5 días. La preparación de la harina se realizó utilizando los foliolos secos, los cuales fueron triturados finamente, empleando un molino casero para moler granos de café; se tamizó para uniformizar el tamaño de las partículas de la molienda.

La unidad experimental estuvo conformada con dos surcos de 4 metros lineales por tratamiento, se usó un diseño experimental en bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos empleados fueron los siguientes: Un testigo sin aplicación (T0), Extracto acuoso de harina de *A. hybridus* usando 16 g (T1) 24 g (T2) y 32 g (T3) procesado en

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

un percolador casero marca T-fal® modelo Heliora, usando 1.8 litros de agua. Las aspersiones se realizaron con un aspersor manual de 5 L marca Truper®, la primera se dio el 6 de junio del 2024, y correspondió a los 35 días después de la siembra. La segunda se llevó a cabo el 17 de junio (46 días después de la siembra). Cabe hacer mención que en todos los casos se adicionaron a la dilución, 2 mL de un tensoactivo dispersante no iónico con acción penetrante (Tween 20). La cuantificación de clorofila se hizo por medio del método no invasivo, y los datos se colectaron dos días después de cada aplicación usando un medidor de clorofila marca GOYOJO modelo GYJ-D, el cual tiene un área de medición de 2 mm por 2 mm, usando luz roja con una longitud de 650 nm y luz infrarroja de 940 nm.

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa estadístico Infostat versión 2020, sometiéndolos de primera instancia al proceso de comprobación de normalidad mediante la prueba Q-Q plot, posterior a ello sí esta fue cumplida, se procedió a realizar un ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey con $p \leq 0.05$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la cantidad de clorofila que se obtuvieron dos días después de la primera aplicación de los extractos de *A. hybridus*, se sometieron a pruebas estadísticas (Infostat versión 2020) para comprobar normalidad mediante la prueba Q-Q plot (Figura 1).

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

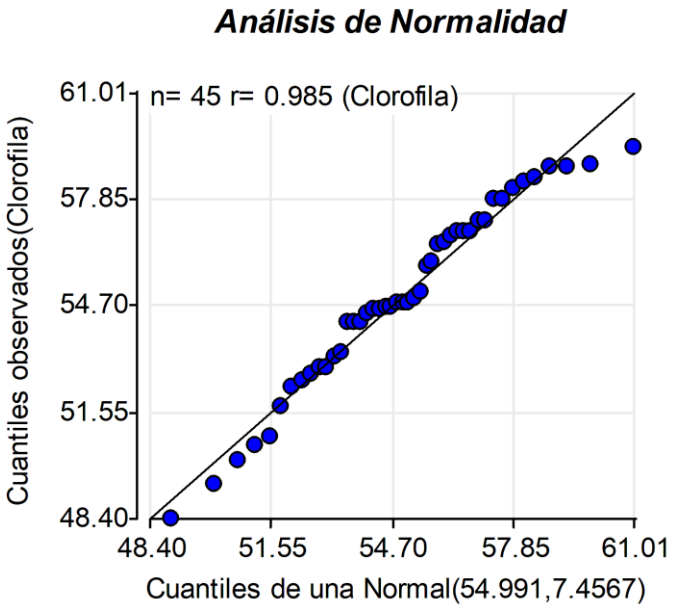

Figura 1. Prueba de Normalidad mediante la prueba QQ-plo. (Fuente: Datos propios usando el programa Infostat versión 2020)

Con esta información verificada, se procedió a realizar un ANOVA (Cuadro 1). Se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo.

Cuadro 1. Análisis de varianza de datos obtenidos de clorofila en el cultivo de maíz, Salvatierra 2024 (Primera aplicación)

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	88.17	6	14.70	2.33	0.0518
Bloque	66.23	3	22.08	3.50	0.0246
Tratamiento	22.38	3	7.46	1.18	0.3295
Error	239.92	38	6.31		
Total	328.10	44			

N=45; R^2=0.27; R^2 ajustada=0.15 CV= 4.57; $p \leq 0.05$. (Fuente: Datos propios usando el programa Infostat versión 2020)

Los valores de la cantidad de clorofila que se obtuvieron dos días después de la segunda aplicación de los extractos de *A. hybridus*, se sometieron a pruebas estadísticas (Infostat versión 2020) para comprobar normalidad mediante la prueba Q-Q plot (Figura 2), con esta información verificada, se procedió a realizar un ANOVA (Cuadro 2). Se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo. La prueba

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

de medias de Tukey muestra que el tratamiento del extracto de *A. hybridus* de 32 gramos tiene diferencias estadísticamente significativas contra el testigo (Figura 3).

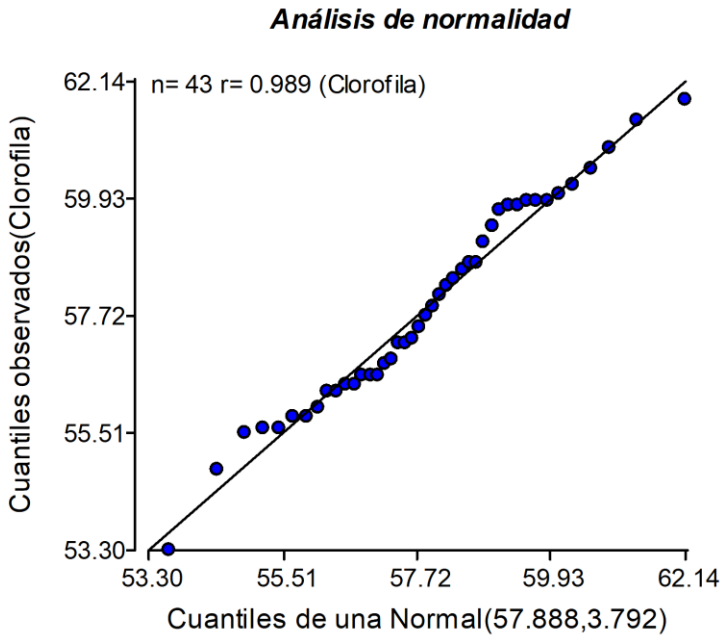

Figura 2. Prueba de Normalidad mediante la prueba QQ-plot. (Fuente: Datos propios usando el programa Infostat versión 2020)

Cuadro 2. Análisis de varianza de datos obtenidos de clorofila en el cultivo de maíz, Salvatierra 2024 (Segunda aplicación)

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43.33	6	7.22	2.24	0.0611
Bloque	6.09	3	2.03	0.63	0.6001
Tratamiento	35.74	3	11.91	3.70	0.0203
Error	115.94	36	3.22		
Total	159.26	42			

N=43; R^2=0.27; R^2 ajustada=0.15 CV= 3.10; $p \leq 0.05$. (Fuente: Datos propios usando el programa Infostat versión 2020)

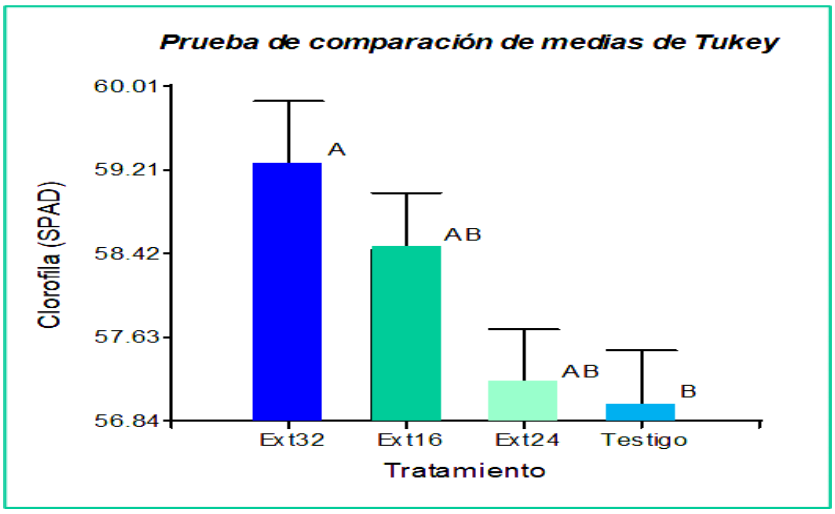

Figura 3. Prueba de medias de Tukey de datos obtenidos de clorofila en el cultivo de maíz. (Fuente: Datos propios usando el programa Infostat versión 2020)

Los resultados que se presentan muestran que, en la primera evaluación, no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, algo similar es reportado por Enciso *et al*. (2018) en su trabajo con jitomates, lo cual sugiere que los compuestos bioactivos del extracto no tuvieron un efecto inmediato sobre la actividad fotosintética en etapas tempranas del cultivo. Sin embargo, en la segunda evaluación, el tratamiento con 32 g de extracto (T3) presento diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo. Esto sugiere que a mayor concentración de compuestos bioactivos y en una etapa vegetativa de desarrollo más avanzada de la planta tratada, el extracto puede inducir una mejora en la cantidad de clorofila. El efecto positivo podría estar relacionado con el contenido de antioxidantes que favorecen la estabilidad de la clorofila y la protección contra el estrés oxidativo. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Madeiros *et al.* (2023) y Sherin *et al*. (2022) quienes observaron mejoras en la eficiencia fotosintética con el uso de elicitores naturales. Además, Enciso *et al*. (2018) demostraron que, bajo condiciones de estrés abiótico, los elicitores permiten mantener niveles adecuados de clorofila, lo que respalda el resultado observado en este experimento. En particular, usar *A. hybridus* puede ayudar a mitigar el estrés oxidativo gracias a su alto contenido de antioxidantes y prolina, lo que contribuye a un buen desarrollo de la planta, siendo factores importantes dados al buen desempeño de la actividad fotosintética, según lo expresado por Santiago *et al*. (2019) y Kumar & Goel (2019).

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

CONCLUSIONES

El extracto de *Amaranthus hybridus* mostró potencial para incrementar la clorofila del maíz. Esto respalda el uso de dicho extracto como elicitor natural, fungiendo como un compuesto económico y ecológico para fortalecer la eficiencia fotosintética, dándole uso alternativo a esta planta, la cual es considerada como maleza y que está ampliamente distribuida en los campos de cultivo de la zona de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bielach A; Hrtyan M; Tognetti VB (2017) Plants under Stress: Involvement of Auxin and Cytokinin. International Journal of Molecular Sciences 18, no. 7: 1427. https://doi.org/10.3390/ijms18071427

Chaudhary P; Janmeda P; Docea AO; Yeskaliyeva B; Abdull Razis AF; Modu B; Calina D; and Sharifi-Rad J (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysi-ology of human diseases. Frontiers in Chemistry Vol.1. DOI=10.3389/fchem.2023.1158198. ISSN 2296-2646.

Croce R; Carmo-Silva E; Cho Y B; Ermakova M; Harbinson J; Lawson T; McCormick AJ; Niyogi KK; Ort DR; Patel-Tupper D; Pesaresi P; Raines C; Weber AP; M & Zhu X (2024). Perspectives on improving photosynthesis to increase crop yield. The Plant Cell, 36(10), 3944–3973. https://doi.org/10.1093/plcell/koae132

Ejiofor EU; Oyedemi SO; Onoja SO; Omeh Ndukaku Y (2022) *Amaranthus hybridus* Linn. leaf extract ameliorates oxidative stress and hepatic damage abnormalities induced by thioacetamide in rats, South African Journal of Botany, Vol. 146, ISSN 0254-6299, https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.029

Enciso ELG; Olivo AR; Mendoza AB; Gaona SS; Morales SG (2018). Efecto de elicitores de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 20. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.991

Evans JR (2013). Improving photosynthesis. Plant Physiology, 162 (4): 1780–1793. https://doi.org/10.1104/pp.113.219006

Gonçalves-Filho D; De Souza D (2022). Detection of synthetic anti-oxidants: What factors affect the efficiency in the chromatographic analysis and in the electrochemical analysis? Molecules, 27(20): 7137. https://doi.org/10.3390/molecules27207137

González RT; Cisneros HI; Acosta BJ; Ramírez CE; Martínez-GN; Erika Mellado ME; López PM; Molina-TJ; Délano-FJ (2019). Identification of factors linked to higher water-deficit stress tolerance in *Amaranthus*

hypochondriacus compared to other grain Amaranths and *A. hybridus*, Their Shared Ancestor" Plants 8, no. 7: 239. https://doi.org/10.3390/plants8070239

IPLANEG (Instituto de Planeación, Estadística y Geografía De Guanajuato) (2025). Catálogo Geográfico SEIEG, Guanajuato, México. 2025. Disponible en: http://geoinfo.iplaneg.net/

Jain D; Bisht S; Parvez A; Singh K; Bhaskar P; Koubouris G (2024). Effective biotic elicitors for augmentation of secondary metabolite production in medicinal plants. Agriculture, 14(6), 796. https://doi.org/10.3390/agriculture14060796

Kumar N; Goel N (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. Biotechnology Reports, 24, e00370. https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370

Li Y; He N; Hou J; Xu L; Liu C; Zhang J; Wang Q; Zhang X; Wu X (2018). Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. Frontiers in Ecology and Evolution, 6. https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064

Lourenço SC; Moldão-Martins M; Alves VD (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. Molecules, 24(22): 4132. https://doi.org/10.3390/molecules24224132

Medeiros APR; Leite JJF; De Assis RMA; Rocha JPM; Bertolucci SKV; Pinto JEBP (2023). Application of natural elicitors to promote growth, photosynthetic pigments, and the content and composition of essential oil in Melissa officinalis L. *Industrial Crops and Products*, *208*, 117885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117885

Mondragón F (2021). Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas Físicas Y Naturales. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1364

Muscolo A; Mariateresa O; Giulio T; Mariateresa R (2024). Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases. International Journal of

Pisoschi AM; Pop A; Lordache F; Stanca L; Predoi G; Serban AI (2020). Oxidative stress mitigation by antioxidants - an overview on their chemistry and influences on health status. European Journal of Medicinal Chemistry. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112891

Santiago SYO; Hernández FAD; López PCU; Garrido CJH; Alatorre CJM; Monroy TR (2019). Nutritional importance and biological activity of bioactive compounds from quelites consumed in Mexico. Revista Chilena de Nutrición, 46(5), 593-605. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500593

Sherin G; Aswathi KR; Puthur JT (2022). Photosynthetic functions in plants subjected to stresses are positively influenced by priming. Plant Stress, 4, 100079. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100079

Slabbert MM; Krüger GHJ (2014). Antioxidant enzyme activity, proline accumulation, leaf area and cell membrane stability in water stressed Amaranthus leaves, South African Journal of Botany, Vol. 95, Pages 123-128, ISSN 0254-6299, https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.008

Yan Y; Hou P; Duan F; Niu L; Dai T; Wang K; Zhao M; Li S; Zhou W (2021). Improving photosynthesis to increase grain yield potential: an analysis of maize hybrids released in different years in China. Photosynthesis Research, 150(1–3): 295–311. https://doi.org/10.1007/s11120-021-00847-x

Zou Ping; Lu Xueli; Zhao Hongtao; Yuan Y; Meng Lei; Zhang C; Li Yiqiang (2019). Polysaccharides derived from the brown algae Lessonia nigrescens enhance salt stress tolerance to wheat seedlings by enhancing the antioxidant system and modulating intracellular ion concentration. Frontiers in Plant Science, 10. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00048