



AGUA ELECTROLIZADA E INTERMITENCIA DE LUZ COMO POSIBLES ELICITORES EN LA AGRICULTURA

ELECTROLYZED WATER AND LIGHT FLASHING AS POSSIBLE ELICITORS IN AGRICULTURE

Ing. Guadalupe Esmeralda Contreras Morales*

Dr. Luis Miguel Contreras Medina

Mtra. Diana Victoria Melo Sabogal

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Manuel Hernández Pimentel

Universidad Tecnológica de Corregidora

*gcontreras26@alumnos.uaq.mx

Resumen

El consumo de hortalizas ha aumentado en las últimas décadas. En busca de productos que mejoren el rendimiento y la calidad de alimentos, nace el uso de los agroquímicos que, en su mayoría, dañan el suelo y al medio ambiente. Por lo anterior, se proponen alternativas a su uso, como los elicitores, que desencadenan respuestas fisiológicas y morfológicas como defensa. El agua electrolizada (AE) ha sido estudiada como elicitador en germinación de algunas semillas, aplicándola en concentraciones de 10 a 250 mg/L. Evaluado variables metabólicas como flavonoides y compuestos bioactivos. La intermitencia de luz se ha estudiado, ya que su aplicación ha demostrado tener efecto elicitador en algunos cultivos, promoviendo la síntesis de pigmentos fotosintéticos y compuestos fenólicos. El objetivo de esta revisión fue realizar una investigación sobre la aplicación de AE e intermitencia de luz como elicitores. Se utilizaron buscadores internacionales con un criterio de inclusión del año 2014 al 2024, se encontraron un total de 680 artículos. Los reportes de AE presentaron variaciones en el pH y tiempo de exposición, sin embargo, los resultados fueron similares, reportando que su uso si promueve la germinación, producción de metabolitos secundarios y activi-

dad enzimática. Los reportes del uso de intermitencia de luz mostraron variaciones en el modo de aplicación y el nivel de radicación, no obstante, reportaron un incremento en la germinación y aumento en la producción de compuestos fenólicos. Sin embargo, aún no se ha reportado su aplicación de manera conjunta, se requieren más reportes para evaluar su efecto sinérgico.

Palabras clave: Agua electrolizada, intermitencia, luz, elicitador, cultivo, metabolitos secundarios

Abstract

Vegetable consumption has increased in recent decades. In search of products that improve the performance and quality of food, the use of agrochemicals was born, most of which damage the soil and the environment. Therefore, alternatives to its use are proposed, such as elicitors, which trigger physiological and morphological responses as defense. Electrolyzed water (EA) has been studied as an elicitor in the germination of some seeds, applying it in concentrations of 10 to 250 mg/L. Evaluated metabolic variables such as flavonoids and bioactive compounds. Light intermittence has been studied, since its application has shown to have an eliciting effect in some crops, promoting the synthesis of photosynthetic

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

pigments and phenolic compounds. The objective of this review was to conduct an investigation on the application of AE and light intermittence as elicitors. International search engines were used with an inclusion criterion from 2014 to 2024, a total of 680 articles were found. The EO reports presented variations in pH and exposure time, however, the results were similar, reporting that its use does promote germination, production of secondary metabolites and enzymatic activity. The reports on the use of light intermittency showed variations in the application mode and the level of radiation, however, they reported an increase in germination and an increase in the production of phenolic compounds. However, their joint application has not yet been reported; more reports are required to evaluate their synergistic effect.

Keywords: *Electrolyzed water, intermittency, light, elicitors, crop, secondary metabolites*

Introducción

La agricultura es un sector de alto impacto para la población mundial en general ya que se involucra directamente en el ámbito económico, social, ambiental y de la salud. La alimentación básica de la población depende de esta actividad, al igual que la conservación y cuidado del medio ambiente. México tiene un aporte importante a la producción agrícola, pues ocupa el noveno lugar como productor y el octavo como exportador de hortalizas a nivel mundial (CEDERSSA, 2020).

Uno de los grandes cambios para incrementar la producción agrícola fue el uso de agroquímicos como pesticidas, insecticidas, herbicidas, fertilizantes, entre otros. Su aplicación ha permitido beneficios adicionales, como mayor ganancia para el agricultor, reducción de la mano de obra, ahorro de combustibles fósiles, aumento del rendimiento de los cultivos, reducción de costos de los alimentos y mejora en la calidad de los productos (Tasneem *et al.*, 2023).

Pese a las ventajas del uso de los agroquímicos, estos son controversiales debido a que en los últimos años se determinó que impactan de manera negativa a los culti-

vos, medio ambiente e incluso a la salud de los agricultores (CEDERSSA, 2020). La aplicación excesiva de pesticidas deteriora los suelos utilizados para la agricultura y deja como resultado suelos erosionados y alimentos con baja calidad nutricional (Tasneem *et al.*, 2023). Además, la germinación de semillas y el crecimiento de cultivos es más lento por la falta de macro y micro nutrientes como el fósforo, potasio, nitrógeno, calcio y zinc, lo que provoca que sean más susceptibles a plagas e incluso al cambio climático, y afecta la producción del cultivo (Andrade *et al.*, 2018).

Debido al incremento de la población mundial se ha tenido la necesidad de aumentar la producción de alimentos, por lo que se prevé que lo mismo ocurra con el uso de agroquímicos. Por tanto, se han buscado alternativas para disminuir su empleo y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de producción de los agricultores. Entre las posibles opciones destacan los elicitors, que son estímulos de estrés en las plantas los cuales, aplicados en pequeñas cantidades, pueden activar su respuesta de defensa y capacidad de adaptación mediante la producción de metabolitos secundarios y otros mecanismos de defensa (Andrade *et al.*, 2018).

La combinación de elicitors puede activar múltiples vías de defensa en la planta, lo que resulta en una respuesta más robusta y efectivos contra patógenos y estrés ambiental. Algunos elicitors pueden actuar sinérgicamente, potenciando la respuesta de defensa de la planta más allá de lo que podría lograrse con un solo elicitor, esto puede traducirse en una mejora significativa en la resistencia de la planta. Igualmente, las condiciones ambientales cambiantes pueden afectar la efectividad de un elicitor en particular. Se ha reportado el uso de ácido salicílico y peróxido de hidrógeno en conjunto con riego deficitario controlado, los resultados fueron favorables puesto que se incrementó el contenido de fenoles y flavonoides en plantas de pimiento dulce (Tovar-Zamora *et al.*, 2024).

Utilizar dos elicitors permite adaptarse mejor a estas variaciones y mantener una protección constante y efectiva, además la alternancia o combinación de estos

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

puede a reducir la posibilidad de que los patógenos desarrollen resistencia a un elicitador específico, lo cual es crucial para mantener la eficacia a largo plazo de las estrategias de protección de cultivos. Se ha reportado el uso de reguladores de crecimiento vegetal comerciales y el uso de intermitencia de luz en cultivo de espinaca, donde se identificó un incremento de la capacidad antioxidante y en la concentración de pigmentos fotosintéticos (Frutos-Tortosa, 2024). En este estudio se explora la aplicación de agua electrolizada e intermitencia lumínica individualmente como elicitores en la agricultura, se analiza su efectividad y los beneficios potenciales para los cultivos, en este sentido, se busca saber si sería

posible emplearse en un futuro en combinación como se han estudiado algunos otros elicitores, en busca de un efecto sinérgico, ya que hasta el momento no hay reportes donde se haga el análisis conjunto de estos factores.

En la revisión bibliográfica, se utilizaron tres buscadores internacionales con diversas combinaciones de palabras clave (Tabla 1) y se obtuvo un total de 1,108 artículos referentes a la aplicación de AE e intermitencia de luz en la agricultura, sin embargo, para la discusión se excluyeron aquellos con una antigüedad mayor al año 2014.

Tabla 1

Criterios de búsqueda de artículos de la aplicación de AE e intermitencia de luz en la agricultura.

Buscadores científicos internacionales	Sciencedirect, SCOPUS y NCBI
Criterios de inclusión	Desde el año 2014 para el análisis estadístico descriptivo Desde el año 2015 para la discusión de la literatura más reciente
Combinaciones empleadas para la búsqueda	Electrolyzed water + agriculture “” +seeds “” +elicitador “” +germination “” +vegetables “” +crops “” + secondary metabolites “” +fruit “” +grain Light flashing + agriculture “” +seed “” + intermittency “” +crops “” + plant promoter “” + secondary metabolites “” +bioactive compounds “” +greenhouse “” +leds

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

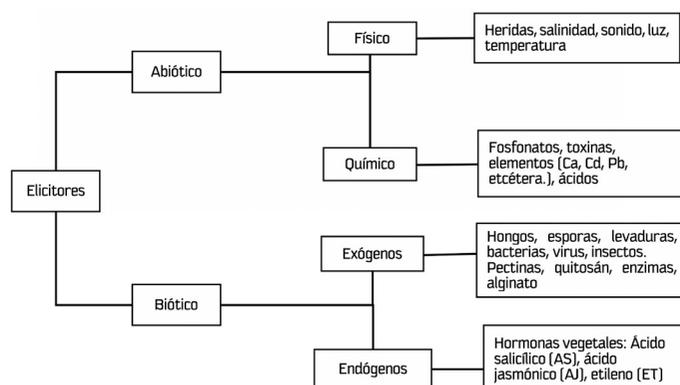
Elicitores

El concepto de elicitores, es relativamente nuevo y sigue en proceso de investigación. Son sustancias de diversas fuentes tanto inorgánicas como orgánicas que pueden desencadenar respuestas fisiológicas y morfológicas, además de cambios como la activación de reacciones defensivas y la acumulación de fitoalexinas. Existen diferentes tipos de elicitores, los más utilizados en la agricultura se mencionan en la Figura (1); todos influyen en el crecimiento, desarrollo y expresión genética de las plantas, aunque su uso en la agricultura varía dependiendo del mecanismo de acción. Asimismo, los elicitores imitan la acción de las moléculas de señalización de las plantas y producen especies reactivas de oxígeno (ROS) que estimulan a la planta para que produzca hormonas de defensa y mecanismos antioxidantes, enzimáticos o no enzimáticos y mitigue los efectos de las ROS. Estos mecanismos inducibles responden a la presencia de condiciones físicas como heridas, temperaturas extremas, compuestos químicos de diferente origen como sales, metales o metabolitos producidos por microorganismos (patógenos y benéficos), insectos o herbívoros.

El agua electrolizada puede actuar como un estímulo estresante para las plantas debido a su composición química, ya que contiene mayoritariamente ácido hipocloroso, entre otros compuestos oxidantes y a la presencia de especies reactivas de oxígeno (ROS). Este tipo de estrés puede activar respuestas de defensa en las plantas, lo que incluye la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana y antioxidante. Por su parte la intermitencia de luz simula condiciones ambientales variables y puede inducir estrés oxidativo en las plantas, por lo cual puede desencadenar respuestas de defensa, como la producción de fitoalexinas y la activación de genes relacionados con la resistencia a patógenos (Radman *et al.*, 2016; Caicedo-López *et al.*, 2021).

Figura 1

Tipos de elicitores más comunes utilizados en la agricultura (Caicedo-López *et al.*, 2021)



Agua electrolizada

El agua electrolizada es un agente antimicrobiano, es considerado de alto espectro, se genera mediante la electrólisis de una solución salina (1 a 3 % p/v) generalmente de cloruro de sodio (NaCl). En la celda electrolítica con una membrana iónica, en el ánodo, se llevan a cabo reacciones de oxidación produciendo agua electrolizada ácida (AEA) con pH de 3 y potencial redox de -1000 mV, en el cátodo se llevan a cabo reacciones de reducción, lo que genera agua electrolizada alcalina (AEB) con pH de 11-12.5 y un potencial redox de -900 mV (Figura 2) (Rahman *et al.*, 2016; Hernández-Pimentel *et al.*, 2020).

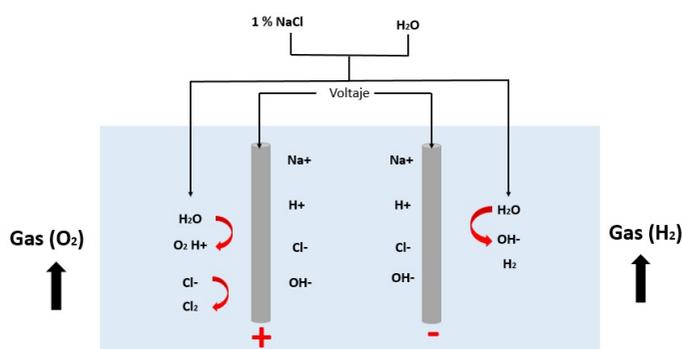
Cuando no se hace uso de la membrana iónica se obtiene el agua electrolizada neutra (AEN), ya que se mezcla la fracción ácida y alcalina obteniendo un pH de 6.5-8.5, y un potencial redox de 660-1080 mV (Rahman *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017). Las propiedades del AEN permanecen estables cuando se mantienen en condiciones de oscuridad con envases cerrados a una temperatura de (4-10 °C) preservando su vida de anaquel hasta por 12 meses; cabe mencionar que el cloro libre total (CLT) se conserva estable en condiciones de refrigeración, el pH, ORP y la

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

conductividad eléctrica se mantienen estables durante su almacenamiento. Debido a sus propiedades, el AE ha captado la atención de la comunidad científica, entre sus ventajas se encuentran; el bajo costo de producción, no genera residuos tóxicos, por lo que tiene bajo impacto al medio ambiente, disminuye peligros relacionado con la elaboración, transportación, manipulación y almacenamiento (Huang *et al.*, 2023; Issa-Zacharia, 2024).

Figura 2

Diagrama de una celda electrolítica sin membrana para generar AEN (Ding *et al.*, 2015)



Se han propuesto algunos mecanismos de acción de AEN, como la disociación de ácido hipocloroso (HOCl) dentro de la célula: al aumentar la acidez en el citoplasma microbiano afecta al material genético, esto por parte de las especies oxidantes a nivel membrana (Rahman *et al.*, 2016). Cabe resaltar que, no genera residuos tóxicos y sus compuestos se inactivan con facilidad en presencia de materia orgánica, lo que genera agua (Liang *et al.*, 2019; Hernández Pimentel *et al.*, 2020).

El AE desencadena distintas vías de regulación, tales como las señales dependientes de calcio, la biosíntesis de moléculas protectoras y activa cascadas de MAP-quinasas (enzimas con proteína cinasa que modifican a otras moléculas mediante la fosforilación, y que activan y desactivan los sustratos que los rodeen). También participa en la síntesis y regulación de la vías de producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Luo *et al.*, 2016; Czarnocka y Karpinski, 2018; Smirnof y Arnaud, 2019).

Intermitencia de luz

La luz es uno de los factores ambientales más importantes debido a la influencia que tiene directamente en el crecimiento y distribución fitográfica de las especies vegetales (Hongxun *et al.*, 2022; Rivas *et al.*, 2022). Además, es fuente de energía que influye en la fotosíntesis de las hojas, la producción biológica de la materia seca y por ende en el rendimiento de los frutos, asimismo, emite señales de cambios ambientales con la finalidad de inducir respuestas fisiológicas en las plantas, lo que reduce la inhibición de la fotosíntesis y el estrés abiótico (Rivas *et al.*, 2022). En condiciones naturales, por lo general, las plantas experimentan fluctuaciones en irradiancia, desde sol pleno hasta sombra, provocada por el sombreado dentro del canopeo o incluso por la proximidad de otras plantas (Ruíz-Rivas *et al.*, 2022). Por lo anterior, debido a la luminosidad a la que se ven expuestas las plantas naturalmente y su importancia sobre el desarrollo vegetal, se han realizado algunas investigaciones en las que se controla esta variable.

Efecto de agua electrolizada e intermitencia de luz en la agricultura.

El agua electrolizada en la agricultura

En los últimos años, las aplicaciones del agua electrolizada con pH ácido, ligeramente ácido, neutro y alcalino, en la agricultura han generado un interés creciente como nueva tecnología debido a su potencial benéfico en el tratamiento de semillas, en la pre y post cosecha, mejora del rendimiento y calidad del producto, supresión y control de enfermedades en las plantas, inactivación de pesticidas y toxinas, aumento del contenido nutracéutico de algunos vegetales y como promotor de metabolitos secundarios (Andrade *et al.*, 2018). Actualmente, se cuenta con evidencia de que el uso de AE puede mejorar la calidad de los cultivos al reducir la carga de patógenos y mejorar la absorción de nutrientes, además promueve la germinación, lo que podría traducirse en cultivos más sanos y con mejores características organolépticas. Debido a la naturaleza química y al modo de obtención,

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

este agente es compatible con los principios de la agricultura orgánica, esto permite a los agricultores cumplir con estándares de producción y ofrecer productos que cumplen con las regulaciones y demandas de producción orgánica. La implementación de AE aunque parece prometedora, enfrenta desafíos como el costo inicial de los equipos de generación y aplicación así como la necesidad de capacitación adecuada para su uso eficaz. Cabe mencionar que el precio de la producción inicial oscila entre los 700 a 8,000 USD, sabiendo que el AE posee pro-

iedades similares a los pesticidas, fertilizantes y elicitores comerciales, por su acción desinfectante y como promotor de crecimiento vegetal, es una opción rentable para los agricultores. Es importante continuar la investigación para entender completamente su impacto en diferentes tipos de cultivos y condiciones agrícolas (Ding *et al.*, 2019). En la Tabla 2 se muestra el resultado de diversas investigaciones donde se ha utilizado el AE como elicitor (Rahman *et al.*, 2016; Suárez-Zúñiga *et al.*, 2023).

Tabla 2

Aplicaciones del AE

Área de aplicación		pH	Concentración (mg/L)	Tiempo	Modo	Beneficios Uso	Referencias
Vegetales	Frijol mugo	6.5	80	70 s	Inmersión	Promueve la GS, aumenta la Aenz, tiene alta CB	Zhang <i>et al.</i> , (2019).
	Arroz integral	5.0-6.5	10-30	90 s		Promueve la GS, tiene alta CB	Liu <i>et al.</i> , (2013).
	Alforfón	6.0	20	12 h		Aumenta la GS, promueve la generación de MS como flavonoides y fenoles totales	Liang <i>et al.</i> , (2019).
	Alfalfa	2.5	20	1 h		Promueve la GS y tiene alta CB	Zhang <i>et al.</i> , (2021).
	Brócoli	6.0	40	3 h		Promueve la GS, favorece el ICB y tiene alta CB	Li <i>et al.</i> , (2018).
	Col china	4.0	30	4 h		Promueve la GS, tiene efectos benéficos sobre la fotosíntesis, el crecimiento, el rendimiento y la calidad nutricional	Adetunji <i>et al.</i> , (2020).
	Trigo negro	5.0	30	8 h		Promueve la GS	Liu <i>et al.</i> , (2016).
	Triticale [cereal híbrido de trigo y centeno]	5.0	30	8 h		Promueve la GS y aumenta la Aenz	Yu y Liu (2019).

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

Área de aplicación	pH	Concentración (mg/L)	Tiempo	Modo	Beneficios Uso	Referencias
Vegetales	Lechuga	6.5	50-100	12 y 24 h	Inmersión	Promueve la GS y la capacidad antimicrobiana
	Tomate					
	Pepino					
Sésamo	8.0	30	25-30 días	Aspersión	Promueve la GS	Li <i>et al.</i> , (2023).

GS: germinación de semillas, Aenz: actividad enzimática, CB: capacidad bactericida, ICB: incremento de componentes bioactivos, MS: metabolitos secundarios

Reportes del efecto de luz intermitente como elicitador

La intermitencia lumínica es un enfoque innovador que está siendo investigado como una nueva alternativa en la agricultura con la finalidad de favorecer la producción y el contenido nutrimental de los cultivos, ya que desencadena una serie de respuestas fisiológicas y morfológicas y optimiza el crecimiento vegetal (Fernández, 2021). Emite señales de cambios ambientales con la finalidad de inducir respuestas fisiológicas en las plantas, ayudándolas a defenderse de la inhibición de la fotosíntesis y del estrés abiótico; la modulación de la luz puede influir en la floración, la formación de frutos y la acumulación de compuestos bioactivos en las plantas, lo cual puede ser útil para ajustar ciclos de crecimiento y calidad de cultivos (Rivas *et al.*, 2022). En ambientes controlados, como invernaderos y sistemas de cultivo vertical, la intermitencia de luz puede ser implementada con mayor precisión y eficacia al ajustar la iluminación según las necesidades específicas de cada planta y fase de crecimiento. Los cultivos como hierbas medicinales, plantas aromáticas y hortalizas de alto valor, pueden beneficiarse significativamente de

estrategias de iluminación intermitente para mejorar la calidad y rendimiento. Determinar los patrones óptimos de intermitencia de luz requiere investigación detallada y adaptación a las necesidades específicas de cada especie vegetal, por lo que, la implementación de dichos sistemas puede requerir inversiones iniciales en tecnología y equipos adecuados, así como un manejo preciso para maximizar los beneficios. Cabe recalcar que el costo estimado de utilizar intermitencia de luz en cultivos agrícolas puede variar significativamente según diversos factores, como el tipo de cultivo, el tamaño de la operación agrícola, el tipo de tecnología de intermitencia utilizada y el costo de la energía en la región específica (Caiza *et al.*, 2023). En la Tabla 3 se presentan los resultados de diversas investigaciones donde se ha utilizado la intermitencia de luz como promotor de crecimiento y aumento de metabolitos secundarios, sin embargo, aún se necesitan más estudios donde se aplique, con la finalidad de aportar mayor información acerca de los periodos de intermitencia y otros efectos que se presenten en el cultivo.

Tabla 3
Aplicaciones de la intermitencia de luz

Área de aplicación	Modo	Intermitencia	Nivel de radiación ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)	Uso	Referencias
Cultivos de <i>Nannochloropsis gaditana</i>	Fotobiorreactor de luz continua	12 h luz- 12 horas oscuridad	45 y 3105	Aumento de biomasa	Resina (2020).

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

Producción hortícola	Malla sombra	NR	NR	MAN y CHL, ACF, MAF, y fotoinhibición de las hojas superiores	Li y Yang (2015).
Cultivo de calafete (<i>Berberis. Microphylla</i>)	Malla sombra	Bajo [24%], medio [57%] y alto [100%]	50-100	ECA, FLA, CF y AF	Arena (2016).
Cultivo de microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	Fotobiorreactor de placa plana con luz led intermitente y un fotobiorreactor con luz fija	12 h luz- 12 h oscuridad	81	Incremento de biomasa, carotenoides, clorofila a y b, además de pigmentos fotosintéticos.	Garzón y Gonzalez (2019).
Cultivo de ginseng siberiano (<i>Eleutherococcus senticosus</i>)	Malla sombra	10:00-13:00 h	7,566 ± 0,218	PCIF, AMS y CPF	Xu <i>et al.</i> , (2020).
Cultivo de col Mizuna (Brassica rapa var. nipposinica)	Paneles solares	9 h luz- 3h oscuridad	11,62±1,24	PC y AEI	Kondrateva <i>et al.</i> , (2021).
Cultivo de pimiento dulce en invernadero	Led de luz roja y azul	NR	55 y 71	Aumento de en el crecimiento y rendimiento del cultivo	Kim <i>et al.</i> , (2022).
Cultivo de lechuga hidropónica	Led continua	48 h	150	Mejora la calidad nutricional	Shen <i>et al.</i> , (2024).

NR: no reportado, MAN: mayor adsorción de nitrógeno, CHL: clorofila, ACF: aumenta la capacidad fotosintética, MAF: menor área foliar, ECA: evaluaron el contenido de antocianinas, FLA: flavonoides y CF: compuestos fenólicos, AF: actividad fotosintética, PCIF: promotor en el crecimiento e inhibitorio en la fotosíntesis, AMS: aumento de metabolitos secundarios, CPF: concentración de pigmentos ficobilínicos, PC: promotor de crecimiento, AEI: ahorro de energía en invernaderos

Perspectivas

El uso de AE y la intermitencia de luz representan dos enfoques innovadores con perspectivas prometedoras en la agricultura moderna, cada uno con beneficios específicos y aplicaciones potenciales. La investigación constante busca optimizar la aplicación de AE para diferentes tipos de cultivos y condiciones agrícolas específicas, así como mejorar su efectividad y maximizar los beneficios para la agricultura. Se necesitan más estudios para comprender mejor los efectos a largo plazo y la interacción con diferentes sistemas de cultivo para impulsar la innovación y la adopción en el campo.

La intermitencia de luz puede mejorar la eficiencia fotosintética y el crecimiento de las plantas al optimizar el uso de la energía lumínica, especialmente en condiciones controladas como invernaderos y cultivos verticales. Con avances en la tecnología de iluminación y control, y el ajuste de los ciclos de luz según las necesidades específicas de las plantas, se espera una mayor aplicación para maximizar la producción y calidad de los cultivos. Su implementación podría ser crucial para plantaciones de alto valor y en mercados especializados que demandan productos de calidad y características específicas.

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

Conclusión

La combinación del uso de AE e intermitencia lumínica como elicitors en la agricultura muestra un potencial significativo para mejorar la resistencia de las plantas a diversas condiciones de estrés biótico y abiótico. Esta técnica innovadora no solo puede inducir respuestas de defensa en las plantas, sino que también tiene el potencial de reducir el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, lo que promueve prácticas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

La aplicación de AE ayuda a modular la respuesta inmune de las plantas y fortalece su capacidad para resistir enfermedades y condiciones adversas, además favorece la germinación de semillas y el crecimiento de los cultivos. Por otro lado, la intermitencia lumínica actúa como un estímulo adicional que puede aumentar la eficacia del AE al sincronizar y potenciar las respuestas fisiológicas de las plantas. Sin embargo, es crucial continuar las investigaciones para optimizar las condiciones de aplicación y entender mejor los mecanismos subyacentes de estos elicitors. La viabilidad económica y la escalabilidad a nivel comercial también deben ser evaluadas para asegurar que estas tecnologías puedan ser adoptadas ampliamente por los agricultores.

Referencias

- Acevedo, F. E., Peiffer, M., Ray, S., Meagher, R., Luthe, D. S. & Felton, G. W. (2018). Intraspecific differences in plant defense induction by fall armyworm strains. *New phytologist*, 218(1), 310–321. <https://doi.org/10.1111/nph.14981>
- Adetunji, A. E., Sershen, Varghese, B. & Pammenter, N. W. (2020). Effects of inorganic salt solutions on vigour, viability, oxidative metabolism and germination enzymes in aged cabbage and lettuce seeds. *Plants*, 9(9), 1164. <https://doi.org/10.3390/plants9091164>
- Andrade, C. A., de Souza, K. R. D., de Oliveira Santos, M., da Silva, D. M. & Alves, J. D. (2018). Hydrogen peroxide promotes the tolerance of soybeans to waterlogging. *Scientia horticultrae*, 232, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.048>
- Arena, M. E. (2016). *Estudio de algunos fenómenos morfo-fisiológicos y cambios bioquímicos en Berberis microphylla G. Forst. (sinónimo B. Buxifolia Lam.) asociados a la formación y maduración de frutos en Tierra de Fuego y su relación con la producción de metabolitos útiles*. [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional Del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3391>
- Caicedo-López, L. H., Aranda, A. L. V., Gómez, C. E. Z., Márquez, E. E. & Zepeda, H. R. (2021). Elicitors: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. *Revista Bioética*, 29, 76–86.
- Caiza-Lincango, K., Soto, G., & Coello, M. (2023). Influencia de las longitudes de onda en el crecimiento de cepas aisladas de *Chlorella* sp. *TESLA Revista Científica*, 3(2). <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e316>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDERSSA]. (2020). *Análisis de la producción y consumo de hortalizas*. http://www.cederssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis_produccion%CC%81n_consumo_hortalizas.pdf
- Ding, T., Xuan, X. T., Liu, D. H., Ye, X. Q., Shi, J., Warriner, K., Xue, S. & Jones, C. L. (2015). Electrolyzed water generated using a circulating reactor. *International journal of food engineering*, 11(1), 79–84. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0217>
- Ding, T., Oh, D. H. & Liu, D. (eds.). (2019). *Electrolyzed water in food: Fundamentals and applications*. Singapore Springer.
- Frutos Tortosa, A. (2024). *Uso de bioestimulantes para mejorar la calidad de hortalizas de hoja en cultivo bajo luz artificial* [Tesis doctoral]. Universidad de Murcia. <http://hdl.handle.net/10201/140944>
- Garzón Fandiño, A. & Gonzalez Cardoso, J. D. (2019). Efecto de la intermitencia de la luz led sobre el crecimiento y producción de metabolitos de *Scenedesmus obliquus*. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/5750>
- Hao, J., Wu, T., Li, H., Wang, W. & Liu, H. (2016). Dual effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) and rutin in germinated buckwheat. *Food Chemistry*, 201, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.037>

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

- Hernández-Pimentel, V. M., Regalado-González, C., Nava-Morales, G. M., Meas-Vong, Y., Castañeda-Serrano, M. P., & García-Almendárez, B. E. (2020). Effect of neutral electrolyzed water as antimicrobial intervention treatment of chicken meat and on trihalomethanes formation. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(3), 622-635. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.04.001>
- Wang, H., Zhang, Y., Jiang, H., Cao, J. & Jiang, W. (2022). A comprehensive review of effects of electrolyzed water and plasma-activated water on growth, chemical compositions, microbiological safety and postharvest quality of sprouts. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 449-462. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.017>
- Huang, W., Zhang, B., Ge, L., He, J., Liao, W., & Ma, P. (2023). Day-ahead optimal scheduling strategy for electrolytic water to hydrogen production in zero-carbon parks type microgrid for optimal utilization of electrolyzer. *Journal of Energy Storage*, 68, 107653. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107653>
- Issa-Zacharia, A. (2024). Application of Slightly Acidic Electrolyzed Water as a Potential Sanitizer in the Food Industry. *Journal of Food Quality*, 2024(1), <https://doi.org/10.1155/2024/5559753>
- Kim, D., Moon, T., Kwon, S., Hwang, I., & Son, J. E. (2023). Supplemental inter-lighting with additional far-red to red and blue light increases the growth and yield of greenhouse sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) in winter. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 64(1), 83-95. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00450-6>
- Kondrateva, N., Filatov, D., Bolshin, R., Krasnolutskaya, M., Shishov, A., Ovchukova, S. & Mikheev, G. (2021). Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 935(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012004>
- Li, J., Ding, T., Liao, X., Chen, S., Ye, X. & Liu, D. (2017). Synergistic effects of ultrasound and slightly acidic electrolyzed water against *Staphylococcus aureus* evaluated by flow cytometry and electron microscopy. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2016.08.029>
- Liang, D., Wang, Q., Zhao, D., Han, X. & Hao, J. (2019). Systematic application of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) for natural microbial reduction of buckwheat sprouts. *LWT - Food Science and Technology*, 108(2), 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.021>
- Liu, R., Yu, Z., Song, Y. & Jing, R. (2016). Application of electrolyzed water in black wheat sprout production. *Modern food science & technology*, 32(6), 265-270. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.041>
- Li, T. & Yang, Q. (2015). Advantages of diffuse light for horticultural production and perspectives for further research. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00704>
- Li, Y., Liu, S., Hao, J., Rao, H., Zhao, D. & Liu, X. (2023). Antioxidant benefits and potential mechanisms of slightly acidic electrolyzed water germination in sesame. *Foods*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/foods12224104>
- Luo, K., Kim, S. Y., Wang, J. & Oh, D. H. (2016). A combined hurdle approach of slightly acidic electrolyzed water simultaneous with ultrasound to inactivate *Bacillus cereus* on potato. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 615-621. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.016>
- Macías, A. M., & García, Y. L. S. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941-2021). *Observatorio medioambiental*, (24), 195-228. <https://doi.org/10.5209/obmd.79522>
- Melo-Sabogal, D. V., García-Sánchez, E. N., Alonso-Segura, D., Contreras-Morales, E., Ojeda-Rodríguez, D., Salinas-Botello, A., Meas, Y. & Hernández-Pimentel, V. M. (2023). In vitro assay of neutral electrolyzed water against *Fusarium oxysporum* and its application as germination pretreatment on tomato (*Lycopersicon esculentum*), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cucumber (*Cucumis sativus*) seeds. *Energy Nexus*, 12(2). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100249>
- Narayani, M. & Srivastava, S. (2017). Elicitation: a stimulation of stress in in vitro plant cell/tissue cultures for enhancement of secondary metabolite production. *Phytochemistry Reviews*, 16, 1227-1252. <https://doi.org/10.1007/s11101-017-9534-0>

Guadalupe Esmeralda Contreras Morales, Víctor Manuel Hernández Pimentel,
Luis Miguel Contreras Medina, Diana Victoria Melo Sabogal

- Rahman, S., Khan, I. & Oh, D.-H. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 471-490. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>
- Resina Rueda, M. J. (2020). Análisis de la influencia de la temperatura en la respuesta fotosintética de cultivos de *Nanochloropsis gaditana* bajo regímenes de luz continua. <http://hdl.handle.net/10835/9886>
- Ruíz-Rivas, M., Téllez-Valerio, C. E., Martínez-Núñez, M., Vera-Hernández, P. F., Martínez-Romero, E. & Rosas-Cárdenas, F. D. F. (2022). Influencia de la luz en la generación de callos y el cultivo *in vitro* de plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (27), 11-21. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3156>
- Suárez-Zúñiga, O., Contreras-Morales, G. E., Melo-Sabogal, D. V. & Hernández-Pimentel, V. M. (2023). Tendencias recientes en aplicaciones de agua electrolizada: áreas de estudio y perspectivas. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 26. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.549>
- Shen, W., Zhang, W., Li, J., Huang, Z., Tao, Y., Hong, J., Zhang, L. & Zhou, Y. (2024). Pre-harvest short-term continuous LED lighting improves the nutritional quality and flavor of hydroponic purple-leaf lettuce. *Scientia Horticulturae*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113304>
- Elmakki, T., Zavahir, S., Gulied, M., Qiblawey, H., Hammadi, B., Khraisheh, M., Shon, H. K., Park, H. & Han, D. S. (2023). Potential application of hybrid reverse electrodialysis (RED)-forward osmosis (FO) system to fertilizer-producing industrial plant for efficient water reuse. *Desalination*, 550. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116374>
- Tovar-Zamora, I., Guevara-González, R. G., Macías-Bobadilla, I., Guzmán-Cruz, R., Vera-Morales, J. M., Torres-Pacheco, I., & Vargas-Hernández, M. (2024). Efecto del elicitores químicos y un físico sobre la actividad antioxidante y antimicrobiana de pimiento. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 119-139.
- Xu, M. Y., Wu, K. X., Liu, Y., Liu, J. & Tang, Z. H. (2020). Effects of light intensity on the growth, photosynthetic characteristics, and secondary metabolites of *Eleutherococcus senticosus* Harms. *Photosynthetica*, 58(3). <https://doi.org/10.32615/ps.2020.045>
- Yu Z. L. & Liu, R. (2019). Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticale malt during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1495-1501. <http://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
- Zhang, C., Zhang, Y., Zhao, Z., Liu, W., Chen, Y., Yang, G., Xia, X. & Cao, Y. (2019). The application of slightly acidic electrolyzed water in pea sprout production to ensure food safety, biological and nutritional quality of the sprout. *Food Control*, 104, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.029>
- Zhang, C., Zhao, Z., Yang, G., Shi, Y., Zhang, Y., Shi, C. & Xia, X. (2021). Effect of slightly acidic electrolyzed water on natural Enterobacteriaceae reduction and seed germination in the production of alfalfa sprouts. *Food microbiology*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103414>