



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Efecto del uso de luz intermitente y agua
electrolizada neutra sobre el rendimiento y calidad
de *Capsicum annum L.*

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ciencias (Ingeniería en Biosistemas)

Presenta

IBT. Guadalupe Esmeralda Contreras Morales

Dirigido por:

Luis Miguel Contreras Medina

Co-Director:

Víctor Manuel Hernández Pimentel

Querétaro, Qro. a 11 de noviembre de 2024

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias (Ingeniería en Biosistemas)

Efecto del uso de luz intermitente y agua electrolizada neutra sobre el
rendimiento y calidad de *Capsicum annum L.*

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ciencias (Ingeniería en Biosistemas)

Presenta

IBT. Guadalupe Esmeralda Contreras Morales

Dirigido por:

Luis Miguel Contreras Medina

Co-dirigido por:

Víctor Manuel Hernández Pimentel

Presidente: Luis Miguel Contreras Medina

Secretario: Víctor Manuel Hernández Pimentel

Vocal: Ana Angélica Feregrino Pérez

Suplente: Irineo Torres Pacheco

Suplente: Diana Victoria Melo Sabogal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (12 de diciembre de 2024) México

DEDICATORIA

A mis abuelitos José y Luz:

Mamá Luz gracias por tantos años de paciencia, motivación y amor, siempre creíste en mí y aunque hoy no estas físicamente conmigo, este logro es tuyo, gracias por siempre confiar en mí y hacerme confiar en mí, gracias por siempre apoyar todas mis locuras sin importar nada y por seguir guiando mi camino, sé que desde el cielo celebras junto con conmigo. Mamita sí se pudo.... Te amo mucho.

Papá José gracias por no soltarme nunca, han sido tiempos difíciles pero siempre estás conmigo, gracias por cada consejo, cada palabra de aliento y por siempre hacerme creer que puedo ser y lograr lo que yo quiera. Sin tu ayuda, comprensión y amor no estaría donde estoy hoy... Te amo mucho.

A mi sobrino hermoso:

Mí Matí que desde tu llegada me llenaste la vida de luz y felicidad, tengo tanto que agradecerte y sé que con nada podré pagarte todo el amor y la alegría que me das día con día, gracias por nunca dejarme sola... Te amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Daphis, gracias por seguirme en esta locura del posgrado, gracias por siempre apoyarme en todo, escucharme, aconsejarme, por darme tu cariño y ser mi incondicional en todo. Y ni que decir de las horas calurosas de trabajo en el invernadero, te quiero millones.

A Carlitos, gracias por todo el apoyo brindado a lo largo de estos dos años, gracias por la ayuda en las horas calurosas de trabajo en el invernadero, gracias porque cuando había mil y un cosas por hacer tú siempre estuviste al pie del cañón apoyándome en todo, gracias por todas las palabras de aliento y motivación. Te quiero mucho.

A Mar, gracias por siempre tender la disposición y la mejor actitud para ayudarme en el invernadero, con tus frases, las risas y tus chistes hiciste más ameno el trabajo en el invernadero y mi último semestre en la maestría. Te quiero mucho Mary.

Al team muégano, gracias por estos dos años de acompañamiento y complicidad en todo, gracias por los días de juego, chisme, risas y convivencia, definitivamente no hubiera sido lo mismo sin ustedes. Los quiero mucho.

A mi tutora, la Dra. Rosario, gracias por siempre escucharme y aconsejarme, gracias por siempre tener la disposición de ayudarme a lo largo de la maestría. Sin duda es la mejor tutora.

Al CIAB, por prestarme sus instalaciones para realizar los análisis de mi proyecto a lo largo de la maestría.

A la Dra. Gely y su equipo de trabajo del laboratorio de metabolitos y nanocompósitos por su apoyo y disposición para ayudarme con mis análisis.

A mis sinodales, Dr. Luis Miguel Contreras Medina, Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez, Dr. Irineo torres Pacheco, Dr. Víctor Manuel Hernández Pimentel y M.C Diana Victoria Melo Sabogal, gracias por compartirme sus conocimientos y brindarme su apoyo durante la realización de este proyecto.

Al Concejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada a lo largo del posgrado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. ANTECEDENTES	12
1.1 Intensidad lumínica en cultivos	12
1.2 Reguladores de crecimiento vegetal	14
1.3 Aplicación de Agua Electrolizada (AE) en la agricultura	15
1.3.1 Aplicación de AE en el riego de plantas	15
1.3.2 Aplicación en el control de enfermedades de las plantas	17
1.3.3 Aplicación en descontaminación y germinación de semillas	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
4.1 Pimiento	21
4.1.1 Morfología	21
4.1.2 Requerimientos edafoclimáticos	22
4.2 Agua electrolizada neutra	23
4.3 Composición química y almacenamiento	23
4.4 Mecanismo de acción	24
5. REGULADORES DE CRECIMIENTO VEGETAL	26

5.1	Ácido gibelérico	26
5.2	Ácido salicílico	27
5.3	Peróxido de hidrógeno	27
6.	INTERMITENCIA LUMÍNICA	29
6.1	Fotosíntesis y luz	30
6.2	Reacciones dependientes de la luz	31
6.3	Aplicaciones de la intermitencia lumínica	33
7.	HIPÓTESIS	35
8.	OBJETIVOS	36
8.1	Objetivo General	36
8.2	Objetivos específicos	36
9.	METODOLOGÍA	37
9.1	Diseño experimental para invernadero	37
9.2	Diseño experimental para germinación	37
9.3	Determinación <i>in vivo</i> del efecto de AEN como pretratamiento en la germinación de semillas	38
9.4	Determinación <i>in vitro</i> del efecto de AEN como pretratamiento en la germinación de semillas	38
9.5	Material vegetal	40
9.6	Mediciones morfológicas	40
9.7	Determinación de variables fisiológicas mediante fitomonitor	40
9.8	Obtención de extractos metanólicos del fruto	41
9.9	Contenido de Flavonoides	41
9.10	Contenido de Fenoles	41
9.11	Capacidad antioxidante	42
9.12	Método DPPH	42

9.13	Método ABTS	42
9.14	Determinación de cloro libre total en AEN mediante método DPD	43
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
10.1	Porcentaje de germinación de semillas <i>in vivo</i>	44
10.1.2	Porcentaje de germinación de semillas <i>in vitro</i>	45
10.2	Contenido de fenoles totales en fruto de pimiento	47
10.3	Contenido de flavonoides totales en fruto de pimiento	49
10.4	Actividad antioxidante ABT en fruto de pimiento	52
10.5	Actividad antioxidante DPPH en fruto de pimiento	54
10.6	Plantas y frutos de pimiento	56
10.7	Pimiento	60
10.8	Hojas del cultivo de pimiento	62
11.	CONCLUSIONES	64
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reacciones químicas reportadas durante la obtención de AEN	24
Tabla 2. Diseño experimental	37
Tabla 3. Descripción y ecuaciones para calcular parámetros de germinación.	39
Tabla 4. Parámetros de germinación in vivo de semillas pretratadas por 12 h con diferentes con diferentes concentraciones de AEN y una concentración de AS.	44
Tabla 5. Parámetros de germinación <i>in vitro</i> de semillas pretratadas por 12 h con diferentes con diferentes concentraciones de AEN y una concentración de AS.	46
Tabla 6. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de fenoles totales en frutos de pimiento.	49
Tabla 7. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de flavonoides totales en frutos de pimiento.	50
Tabla 8. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante (ABTS) en frutos de pimiento.	53
Tabla 9. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante (DPPH) en frutos de pimiento.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la hoja de pimiento.....	22
Figura 2. Diagrama de una celda electrolítica para generar AEN sin membrana	23
Figura 3. Estructura química de las gibelinas.....	26
Figura 4. Estructura química del ácido salicílico.....	27
Figura 5. Reacciones de la fotosíntesis.....	31
Figura 6. Reacciones dependientes de la luz.....	32
Figura 8. Efecto in vivo de los tratamientos de AEN, AS, agua potable e intermitencia de luz, sobre la germinación de pimiento.....	45
Figura 9. Efecto in vitro de los tratamientos de AEN, AS, agua potable e intermitencia de luz, sobre la germinación de pimiento.....	46
Figura 10. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de fenoles totales en frutos de pimiento.....	47
Figura 11. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de flavonoides totales en frutos de pimiento.....	50
Figura 12. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante en frutos de pimiento.....	52
Figura 13. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante en frutos de pimiento.....	54
Figura 14. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el número de frutos de pimiento.....	56
Figura 15. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica.....	57
Figura 16. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia en el peso de pimiento.....	58
Figura 17. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia en el área foliar de las plantas de pimiento.....	59
Figura 18. Efecto del AEN en conjunto con intermitencia lumínica en la forma de frutos de pimiento.....	60
Figura 19. Efecto del AEN en conjunto sin intermitencia lumínica en la forma de frutos de pimiento.....	61

Figura 20.Efecto del AEN en conjunto con intermitencia lumínica en el tamaño, color y forma de las hojas del cultivo de pimiento.	62
Figura 21. Efecto del AEN en conjunto sin intermitencia lumínica en el tamaño, color y forma de las hojas del cultivo de pimiento.	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para calcular el efecto secuestrador DPPH	42
--	----

RESUMEN

El pimiento es el tercer solanáceo más importante a nivel mundial, debido a la alta demanda del mercado, ha incrementado la importancia y el crecimiento de esta hortaliza. México en 2022 ocupó el segundo lugar a nivel mundial como exportador de pimiento, exportando 111,034 t. Los principales productores de pimiento en México son Sinaloa, Sonora y parte del centro del país. Con el paso de los años se han buscado alternativas que favorezca el rendimiento y la calidad de los alimentos, dejando de lado el uso de agroquímicos que, en su mayoría, dañan el suelo y al medio ambiente. Se ha propuesto el uso de elicitores, son moléculas o factores que activan mecanismos en las plantas que permite adaptarse o defenderse de condiciones adversas. La combinación de agua electrolizada neutra (AEN) e intermitencia de luz puede contribuir a la reducción de costos en el manejo del cultivo de pimiento y la disminución al uso de fungicidas, además promueve el crecimiento vegetal y la producción de metabolitos secundarios. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido nutracéutico en pimiento cultivado en invernadero así como el porcentaje de germinación de semillas de pimiento mediante la aplicación de AEN e intermitencia de luz. La mejor concentración de AEN para la germinación de semillas *in vitro* e *in vivo* fue la C1 (150 mg/L). El mayor contenido de fenoles (147.293 mg eq ác gálico/g) se obtuvo aplicado el tratamiento C1 con intermitencia comparado con el control (139.679 mg eq ác gálico/g). El mejor resultado para el contenido de flavonoides (16.95 mg eq rutina/g) fue el tratamiento C1 sin intermitencia comparado con el control (12.67 mg eq rutina/g). La actividad antioxidante se evaluó con el método de ABTS y DPPH, el mejor tratamiento en ambos casos fue el C1 sin intermitencia, en el caso del ABTS se obtuvo el 80.56% con respecto al control (51.60%) para DPPH el porcentaje fue de 98.61%, mientras que el control tuvo el 92.46% de inhibición. En el área foliar hubo diferencia significativa con el tratamiento C2 (250 mg/L) en las plantas con intermitencia comparado con el control.

Palabras clave: Agua electrolizada, luz intermitente, metabolitos secundarios, actividad antioxidante y elicitores.

ABSTRACT

Pepper is the third most important solanaceous crop worldwide, due to the high market demand, the importance and growth of this vegetable has increased. Mexico in 2022 ranked second worldwide as an exporter of pepper, exporting 111,034 t. The main producers of pepper in Mexico are Sinaloa, Sonora and part of the center of the country. Over the years, alternatives have been sought that favor the yield and quality of food, leaving aside the use of agrochemicals that, for the most part, damage the soil and the environment. The use of elicitors has been proposed, which are molecules or factors that activate mechanisms in plants that allow them to adapt or defend themselves from adverse conditions. The combination of neutral electrolyzed water (NEW) and intermittent light can contribute to the reduction of costs in the management of pepper crops and the decrease in the use of fungicides, in addition to promoting plant growth and the production of secondary metabolites. The aim of this study was to evaluate the nutraceutical content in greenhouse-grown peppers as well as the germination percentage of pepper seeds by applying ENA and light intermittence. The best ENA concentration for seed germination in vitro and in vivo was C1 (150 mg/L). The highest phenol content (147.293 mg eq gallic acid/g) was obtained by applying the C1 treatment with intermittence compared to the control (139.679 mg eq gallic acid/g). The best result for flavonoid content (16.95 mg eq rutin/g) was the C1 treatment without intermittence compared to the control (12.67 mg eq rutin/g). The antioxidant activity was evaluated with the ABTS and DPPH method, the best treatment in both cases was C1 without intermittence, in the case of ABTS 80.56% was obtained with respect to the control (51.60%) for DPPH the percentage was 98.61%, while the control had 92.46% inhibition. In the leaf area there was a significant difference with the C2 treatment (250 mg/L) in the plants with intermittence compared to the control.

Keywords: Electrolyzed water, flashing light, secondary metabolites, antioxidant activity and elicitors.

1. ANTECEDENTES

La agricultura es un sector de alto impacto para la población en general, ya que se involucra directamente en el ámbito económico, social, ambiental y de salud. El Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2020), menciona que la alimentación básica de la población depende de este sector, al igual que la conservación y cuidado del medio ambiente.

México se caracteriza por ser uno de los líderes en la producción agrícola en América Latina, es líder en la producción de hortalizas en la región y el segundo mayor productor de frutas, solo detrás de Brasil. Además es de los principales países productores de chile, este cultivo ocupa el octavo lugar de los cultivos con mayor producción a nivel nacional (Statista Research Department, 2024). Se tienen registrados 64 tipos de chiles a nivel nacional, denotando la diversidad, distribución y demanda. Los chiles pertenecen al género *Capsicum*, familia Solanaceae. En México se tiene el registro de la domesticación de al menos dos especies; *C. frutescens* y *C. annuum var.*, esta última especie es la de mayor importancia por la gran variabilidad genética y morfotipos que presenta, ya que incluye a los chiltepines, jalapeños, serranos, pimientos morrones, de árbol, ancho, guajillo, pasilla, entre otros (Aguilar-Rincón et al., 2010).

1.1 Intensidad lumínica en cultivos

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 (Boardman, 1977; Lambers et al., 1998), por ser fuente de energía influye en la fotosíntesis de las hojas, la producción biológica de la materia seca y por ende en el rendimiento de los frutos, también 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 (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 (parte de la planta

por sobre el nivel del suelo que absorbe y/o intercepta luz) o incluso por la proximidad de otras plantas (Knapp y Smith, 1987; Casierra et al., 2015).

Es por esto que a partir de la luminosidad a la que se ven expuestas las plantas naturalmente y a la importancia de esta sobre el desarrollo vegetal, se han realizado algunas investigaciones en las que controlan esta variable.

Blanchard y Runkle (2010), evaluaron la intensidad lumínica en cultivos ornamentales sobre a floración, así como la interrupción nocturna con luz incandescente en tratamientos de 12 horas. El 80% de las plantas que recibieron los tratamientos con iluminación en interrupción nocturna no presentaron capullo o inflorescencia macroscópica, con lámpara rotatoria presentaron un retraso en la floración de 14 a 31 días en comparación con las lámparas incandescentes.

Li y Yang (2015), aplicaron luz difusa en producción hortícola, la luz difusa penetra el dosel de las plantas, lo que provoca que las hojas que se ubican en la parte inferior reciban mayor intensidad lumínica, y con ello mayor adsorción de nitrógeno y clorofila en el dosel y mayor capacidad fotosintética en las hojas de la parte inferior. En este sentido, el uso de luz intermitente promueve la producción hortícola.

Arena (2016), utilizó tres niveles de sombreado, bajo (24%), medio (57%) y alto (100%) en cultivos de *B. microphylla*, utilizando malla sombra. En esta investigación evaluaron el contenido de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos; los resultados mostraron un incremento significativo de antocianinas y compuestos fenólico en las plantas cultivadas en sombreado alto, sin embargo, para flavonoides el incremento significativo se mostró en las plantas cultivadas en sombreado medio.

Garzón y Gonzalez (2019), utilizaron un fotobiorreactor de placa plana con luz led intermitente y un fotobiorreactor con luz fija en cultivos de microalga *Scenedesmus obliquus*, el fotoperiodo aplicado fue de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. En la investigación se evaluó el incremento de biomasa, carotenoides, clorofila a y b, además de pigmentos fotosintéticos. La producción de biomasa fue menor en el cultivo con luz intermitente, sin

embargo, la producción de carotenoides, pigmentos, así como clorofila a y b fue mayor.

Xu et al., (2020), utilizaron dos tipos de sombreado (moderado y severo), las mediciones de intensidad de luz se realizaron a medio día en días soleados con un sensor PAR (6400XT portable photosync system, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE), en cultivos de *Eleutherococcus senticosus* y observaron que, en el sombreado moderado tuvo un efecto promotor en el crecimiento e inhibitorio en la fotosíntesis de las plantas. El tratamiento del sombreado severo, inhibió ambos en la planta. Por su parte, en el tratamiento moderado observaron mayor concentración de fenoles en casi un 51.8% con respecto al grupo control y la acumulación de metabolitos secundarios de la planta, por lo que, el sombreado promueve el crecimiento de las plantas y la acumulación de metabolitos secundarios.

Kondrateva et al., (2021), mencionaron que el uso de paneles solares es una opción viable y económica en el consumo de energía eléctrica en invernaderos para aprovecharlo en los cultivos verticales, ya que, se capta energía solar durante el día y así suministrar luz al cultivo en los periodos nocturnos. Los períodos de funcionamiento del sistema de iluminación son de 11:00 a 19:00 y de 23:00 a 07:00, sin embargo, en ninguno de sus tratamientos observaron efecto de estimulación al crecimiento de los cultivos de hortalizas.

En este apartado los autores de las investigaciones mencionadas evaluaron características morfológicas en cultivos ornamentales, hortícolas y en arbustos, mientras que las variables metabólicas como; flavonoides, clorofila, fenoles y compuestos fenólicos únicamente se midieron en microalgas y arbustos.

1.2 Reguladores de crecimiento vegetal

Los reguladores de crecimiento vegetal actúan sobre el desarrollo de las plantas y pueden diferenciarse entre las que son producidas por la planta y las de origen sintético, las primeras se conocen como fitohormonas u hormonas vegetales mismas que, ejercen su función en muy bajas concentraciones (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Estas moléculas brindan una solución a dificultades en la producción agrícola a corto plazo y su uso resulta relevante para poder garantizar un rendimiento

óptimo de los cultivos (Luckwill, 1994).

1.3 Aplicación de Agua Electrolizada (AE) en la agricultura

1.3.1 Aplicación de AE en el riego de plantas

Se tiene registro de que el agua electrolizada ácida (AEA) tiene efecto antifúngico contra enfermedades foliares de las plantas, asimismo se ha reportado que es efectivo contra *Botrytis cinérea*, es un hongo necrotrófico que afecta a muchas especies de plantas, aunque principalmente ataca a la uva vinícola (Rahman et al., 2016). Por otro lado, el riego por aspersión con AEN es una alternativa para controlar *Colletotrichum fructicola* en fresas y no genera fitotoxicidad visible (Hirayama et al., 2016).

Hou et al., (2011) evaluaron el uso de AE en el cultivo de col china y otras hortalizas de hoja, y su efecto sobre la fotosíntesis, el crecimiento, el rendimiento y la calidad nutricional. El AE mejoró la tasa fotosintética de las hojas, aumentó el número de hojas y el rendimiento. Por otro lado, mencionaron que el uso de agua electrolizada básica (AEB) en la raíz podría aumentar el contenido de vitamina C en la col china.

Rui et al., (2011), reportaron que la actividad de la catalasa en la germinación de frijol mungo, incrementó significativamente, al tratarlo con AE a pH 4 a 6, logrando mayor desarrollo de sus brotes, mientras que al utilizar AE con pH que oscila de 2-3 y 8-10, la actividad de la catalasa disminuía notoriamente junto con el tamaño del brote. No obstante, Zhang et al., (2019), reportaron que no se ve modificado el proceso germinativo del frijol mungo por el uso de AEN a una concentración de 80 mg/L, además mostró gran capacidad bactericida contra *E. coli* y *S. enteritidis* teniendo una reducción de 0.99-1.58 log UFC / g en comparación con su grupo control.

Liu et al., (2014), mencionaron que el AEN tiene actividad antimicrobiana, es capaz de reducir la carga microbiana en semillas de arroz integral, además de promover el crecimiento vegetal en dichas semillas.

Hao et al., (2016), observaron que al pretratar semillas de alforfón por 12 h con

20 mg/L de AEN, se promueve la acumulación de metabolitos secundarios como γ -ácido aminobutírico y rutina, generados durante el proceso germinativo y desarrollo de plántulas.

Liang et al., (2019), reportaron que el usar hasta 30 mg/L de AEN puede ser un proceso relevante para la industria de la producción de alforfón, ya que es capaz de controlar *L. monocytogenes* y *E. coli*, sin tener efectos adversos en los brotes de esta especie, sin embargo, al emplear mayores concentraciones como 100 mg/L el porcentaje de germinación y desarrollo de plántulas se ve reducido.

Yu y Liu, (2019) reportaron que al usar pretratamientos con AEN se incrementan la actividad de α -amilasa, proteasas, fitasas y lipasas en triticale (cereal híbrido de trigo y centeno). Asimismo, Li et al., (2018), indicaron que al aplicar AEN a 40 mg/L durante la germinación de brócoli, se incrementan algunos componentes bioactivos como glucosinolatos y sulfurofano, y se inhibe el desarrollo de la planta.

Melo-Sabogal et al., (2023) evaluaron de manera *in vitro* el uso de AEN como antifúngico contra *Fusarium oxysporum* y su aplicación como pretratamiento de germinación en semillas de lechuga, tomate y pepino, además evaluaron el efecto como pre tratamiento de manera *in vivo*, mencionan que el AEN a una concentración de 50-75 mg/L no mostró efecto sobre los parámetros de germinación, sin embargo, al aplicarla a una concentración de 100 mg/L tuvo efecto adverso. Por otro lado, mencionan que el AEN muestra efecto antifúngico, con AEN a 50 mg/L contra *F. oxysporum* al disminuir la concentración de esporas en más de 4 log esporas/mL. Para el estudio *in vivo*, el pretratamiento de AEN de 100 mg/L tuvo un efecto estimulante sobre la tasa de germinación en semillas de pepino (100 % PFG frente a 83 % PFG para el control del agua). En el caso de las semillas de tomate, no observaron ni estimulación ni efecto adverso. Para la germinación de semillas de lechuga reportaron un efecto inhibitor durante 12 y 24 h de tiempo de exposición. Para semillas de tomate y lechuga, el pre tratamiento de AEN de 50 mg/L durante 12 h aumentó su capacidad germinativa.

1.3.2 Aplicación en el control de enfermedades de las plantas

Un estudio que utilizó agua electrolizada a un pH casi neutro para el manejo de *Botrytis cinerea* en plantas de fresa mostró que no solo el tratamiento con agua electrolizada fue efectivo en la prevención de la enfermedad, sino que tampoco mostró efectos fitotóxicos en la planta (Guentzel et al., 2011). Los resultados de este estudio sugirieron que las soluciones de agua electrolizada podrían usarse para controlar la infección de los hongos *Botrytis cinerea* que causan enfermedades en las uvas, fresas y frutas de hueso, y *Monilinia fructicola*, que es responsable de la enfermedad de la pudrición parda en melocotones, manzanas y otras frutas de hueso (Al-Haq et al., 2005; Imran et al., 2005).

1.3.3 Aplicación en descontaminación y germinación de semillas

La aplicación de agua electrolizada para la descontaminación de semillas y la mejora de la germinación parece ser otra área prometedora. Un estudio que investiga los efectos del tratamiento con agua electrolizada ácida del grano de trigo, reveló que el agua electrolizada no sólo tuvo un efecto desinfectante sobre los granos de trigo sino que también mejoró su germinación (Yu y Liu, 2019). El estudio informó que el agua electrolizada ácida tiene ciertas ventajas sobre el NaOCl a este respecto. Teniendo en cuenta la creciente demanda de alimentos secos más seguros, especialmente los diferentes tipos de harina producidos, la aplicación de agua electrolizada como componente de riego antes de la cosecha y la molienda puede ser una estrategia adecuada para mejorar la seguridad microbiana de dichos productos, considerando el hecho de que hasta la fecha existen muchas intervenciones limitadas disponibles durante el proceso de molienda para la descontaminación microbiana.

Tyagi et al., (2022), evaluaron el uso de agua electrolizada ligeramente ácida en brotes de arroz integral sobre la acumulación del contenido total de flavonoides, contenido total de fenoles, antioxidantes y compuestos bioactivos, además mencionan que el AE es un promotor de crecimiento vegetal.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La germinación de la semilla de pimiento tarda 8 días aproximadamente, mientras que para la cosecha se estima un periodo de 40-50 días (Cruz-Huerta et al., 2005). Con el paso del tiempo, se ha observado que el uso continuo de los agroquímicos deteriora los suelos, dejando como resultado suelos erosionados y alimentos con baja calidad nutricional. Además, la germinación de semillas y el crecimiento de cultivos es más lento por la falta de nutrientes, provocando que los cultivos sean más susceptibles a plagas e incluso a los cambios climáticos, lo que afecta a la producción del cultivo (Macías et al., 2012; Andrade et al., 2018; Fernández, 2021).

3. JUSTIFICACIÓN

Se han ido implementando nuevas alternativas que favorezcan la producción y valor nutracéutico de los cultivos. Se ha reportado que el uso de luz intermitente en los cultivos estimula el crecimiento de las plantas y potencia la producción de metabolitos secundarios como flavonoides, carotenoides y metabolitos primarios como las clorofilas (Li y Yang, 2015; Ruíz et al., 2022). Asimismo, se ha reportado el uso de agua electrolizada neutra (AEN) como un posible elicitor y promotor de metabolitos secundarios como flavonoides, fenoles y enzimas como la catalasa, amilasa, proteasas, fitasas y lipasas, aunado a esto el AEN es ampliamente utilizada como un agente desinfectante y promotor de germinación de semillas, reduciendo el tiempo promedio de la germinación (Mendoza et al., 2019; Hernández-Pimentel et al., 2020), por lo que el uso de AEN en conjunto con la aplicación de luz intermitente podrían aumentar significativamente las variables morfológicas (tamaño de la planta y área foliar), fisiológicas (fotosíntesis, transpiración), y metabólicas (fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante), con la finalidad de favorecer la calidad funcional y nutricional del cultivo, así como reducir el tiempo de germinación de las plantas.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

4.1 Pimiento

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es cultivado en centro y Sudamérica, principalmente en Bolivia y Perú donde se cultivan al menos cuatro especies de pimiento (FAO 2023). México es centro de origen, domesticación y diversidad del cultivo de chile con una gran variedad genética no explorada. Se ha registrado su domesticación en los estados de Puebla, Oaxaca y Tamaulipas, por lo que el género *Capsicum* ha sido domesticado en dos zonas diferentes: un tipo de *Capsicum annuum* en México y un tipo *Capsicum chinense* en la Amazonía

El pimiento es el tercer solanáceo más importante a nivel mundial, después de la papa y el tomate, debido al alta del mercado, ha incrementado la importancia y el crecimiento de esta hortaliza (FAO, 2023). Europa representa un mercado atractivo para el pimiento fresco mexicano, derivado de la alta demanda del consumo de productos frescos libres de residuos químicos. Los principales países productores de pimiento entre el periodo de 2019-2024 fueron: China, México, Indonesia, Turquía y España los cuales produjeron aproximadamente 3, 000, 000 t. Según la Organización Mundial de la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2022, la producción de pimiento a nivel mundial fue de casi 38, 000, 000 t. México en 2022 exportó 111,034 t, ocupando el segundo lugar como exportador en el mundo.

Los principales productores de pimiento en México a campo abierto son de Sinaloa y Sonora, y parte del centro del país, sin embargo, han tenido que detener su expansión debido a la falta de agua, lo que ha dado pie a la producción de pimiento en invernaderos.

4.1.1 Morfología

El pimiento es un pequeño arbusto, tiene un tallo frágil, erecto y herbáceo, las ramas se subdividen en dos partes, tiene hojas grandes y son de color verde intenso con forma oblonga (más larga que ancha) (Figura 1) (CEDEPAS-INCAGRO, 2003). Mientras que el sistema radical tiene numerosas raíces

adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud de entre 50 cm y 100 cm. Las flores son de color blanco o amarillento, el fruto es una baya hueca que dependiendo a la posición del pedúnculo puede desarrollarse total o parcialmente (FAO, 2013).



Figura 1. Morfología de la hoja de pimiento.

El tamaño del fruto varía dependiendo la semilla, las semillas del fruto se encuentran envueltas en una placenta cónica. El grosor del pericarpio es una de las características más importantes para la valoración de la variedad del cultivo, es decir, el pimiento para consumo como vegetal, debe tener un pericarpio carnoso. El fruto del pimiento está formado por 2 o 3 carpelos normalmente (CEDEPAS-INCAGRO, 2003).

4.1.2 Requerimientos edafoclimáticos

El cultivo de pimiento requiere humedad (50-70%) y temperaturas (20-30°C) específicas para lograr una germinación eficiente de las semillas (20-30°C). EL trasplante se realiza entre los 35- 40 días después de la germinación de la semilla, los criterios para que la planta sea trasplantada son los siguientes; la plántula debe medir entre 15-20 cm de altura, el tallo debe entre 5- 7 mm de grosor y entre 4 y 5 hojas verdaderas (Reséndiz-Melagar et al., 2010).

4.2 Agua electrolizada neutra

El agua electrolizada (AE) 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, generando agua electrolizada alcalina (AEB) con pH de 11-12.5 y un potencial redox de -900 mV Figura (2). 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 (Al- Haq et al., 2005; Rahman et al., 2016).

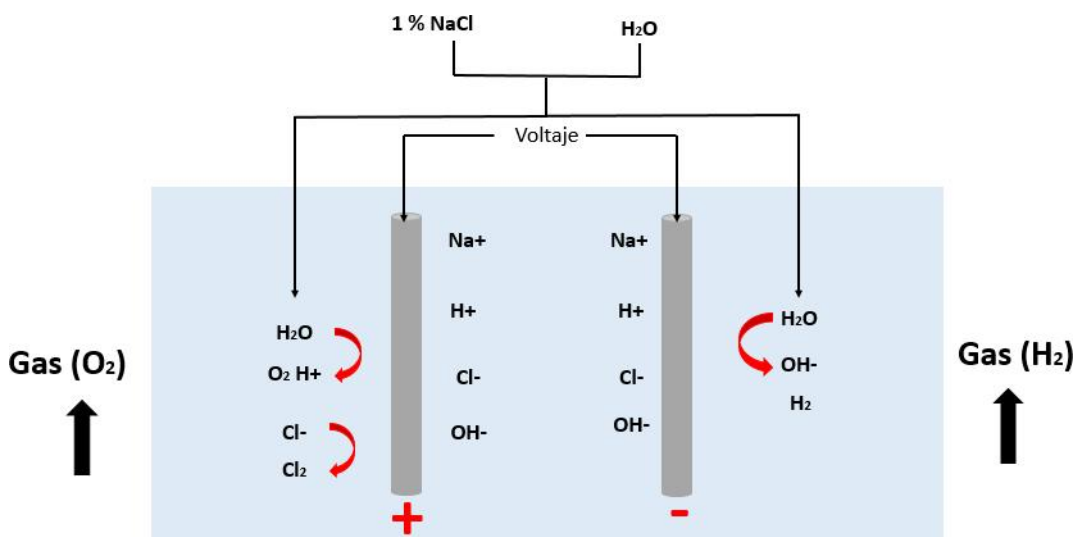


Figura 2. Diagrama de una celda electrolítica para generar AEN sin membrana (Rahman et al., 2012).

4.3 Composición química y almacenamiento

Al-Haq et al., (2005) reportaron la composición química de AEN que contiene 75% de ácido hipocloroso (HOCl), 15% de ion hipoclorito (ClO⁻) (estos compuestos se encuentran en equilibrio en función del pH), 8% de dióxido de cloro (ClO₂) y 2% de ozono (O₃). En la Tabla (1) se muestran las principales reacciones que se llevan a cabo en la celda electrolítica.

Tabla 1. Reacciones químicas reportadas durante la obtención de AEN (Al-Haq et al., 2005).

Reacciones en el ánodo	Reacciones en el cátodo
Generaciones de radicales libres, oxígeno activo y peróxido de hidrógeno.	Generación de gas hidrógeno.
Generación de ozono gas.	Generación de hidrógeno e hidróxido de sodio.
Generación de oxígeno gas.	Generación de ion hidróxido y separación de sodio
Generación de cloro gas y cloro disuelto.	
Generación de ácido hipocloroso y ácido hipocloroso.	
Generación de ion hipoclorito.	

Las propiedades del AEN permanecen estables cuando se mantienen en condiciones de oscuridad con envases cerrados a una temperatura de (4-10 °C) manteniendo su vida de anaquel hasta por 12 meses. Cabe mencionar que, el cloro libre total (CLT) se mantiene estable en condiciones de refrigeración, el pH, ORP y la conductividad eléctrica se mantienen estables durante su almacenamiento (Hsu & Kao, 2005; Rahman et al., 2012; Robinson et al., 2012).

4.4 Mecanismo de acción.

Se han propuesto algunos mecanismos de acción de AEN, como la disociación de ácido hipocloroso (HOCl) dentro de la célula aumentando la acidez en el citoplasma microbiano afectando el material genético, esto por parte de las especies oxidantes a nivel membrana (Rahman et al., 2016). Cabe mencionar que esta sustancia, no genera residuos tóxicos y sus compuestos se inactivan

con facilidad en presencia de materia orgánica generando agua (Al-Haq et al., 2005).

El AE al ser absorbida por las plantas, ayuda a reducir el estrés oxidativo causado por especies reactivas de oxígeno (ROS), que se generan en situaciones de estrés ambiental, como sequía, exceso de luz solar o contaminantes. Existen diversos estudios donde se ha reportado que el AE estimula el crecimiento vegetal, debido al contenido de agentes oxidantes que tienen características similares a elicitores como las giberelinas, peróxido de hidrógeno o el ácido salicílico (Al-Haq et al., 2005; Azcón-Bieto & Talón, 2003). Algunos de estos compuestos, funcionan como moléculas de señalización en el control de los procesos metabólicos de las plantas, se hacen presentes cuando la planta se encuentra en condiciones de estrés, ya que, es de los principales compuestos que se producen ante distintos tipos de estímulos y participan en los mecanismos de tolerancia, mediante el envío de señales que desencadenan los factores de crecimiento vegetal y participa en la producción de metabolitos secundarios y compuestos bioactivos (Czarnocka y Karpinski, 2018). Cabe mencionar que, el AEN desencadena distintas vías de regulación, tales como las señales dependientes de calcio, la biosíntesis de moléculas protectoras y activa cascadas de MAP- cinasas (enzimas con proteína cinasa que modifican a otras moléculas mediante la fosforilación, activando y desactivando sustratos que los rodeen) y también participa en la síntesis y regulación de la vías de producción de ROS (Poli et al., 2004; Groeger et al., 2009).

Mejora la absorción de nutrientes en las plantas. Los iones presentes en el AE facilitan el movimiento de nutrientes desde el suelo hacia las raíces, optimizando el proceso de absorción. Esto permite que las plantas tengan acceso a nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para su crecimiento, floración y producción de frutos (Czarnocka y Karpinski, 2018; Smirnov y Arnaud, 2019).

5. REGULADORES DE CRECIMIENTO VEGETAL

Los reguladores de crecimiento se pueden clasificar dependiendo de su estructura molecular, actividad a nivel vegetal, efectos estimulantes o inhibitorios, por mencionar algunos. Las giberelinas son fitohormonas encargadas de regular diferentes respuestas del crecimiento vegetal de la planta como la elongación del tallo entre otros tejidos (Taiz & Zeiger, 2006).

5.1 Ácido giberélico

El descubrimiento de las giberelinas se remonta hacia la década 1930 en Japón, cuando científicos japoneses lograron aislar por primera vez esta hormona a partir del hongo *Gibberella fujikuroi*, el agente causal de la enfermedad de las plantas de arroz misma que origina que las plantas crezcan muy altas y no liberen semillas. Lograron aislar cristales fúngicos impuros capaces de activar el crecimiento y recibieron el nombre de giberelinas A y B (Taiz & Zeiger, 2006).

En 1950, investigadores de Inglaterra y Estados Unidos caracterizaron material aislado de cultivos fúngicos y lo llamaron ácido giberélico (AG3). En Tokio, en la misma década, lograron aislar tres giberelinas más a las que denominaron giberelina 1 (AG1), giberelina 2 (AG2) y giberelina 3 (AG3) la cual corresponde al ácido giberélico (Taiz & Zeiger, 2006). Las interacciones que se realizan para poder cumplir con ciertas funciones de los reguladores de crecimiento vegetal dependen completamente de su estructura química. En la Figura (3) se muestra la estructura química de las giberelinas, mismas que actúan a nivel vegetal aumentando el desarrollo de tejidos, la elongación de tallo, raíces y hojas, alarga los segmentos nodales y favorece el proceso de floración e induce la germinación de semillas estimula la elongación celular como respuesta a condiciones de luz y oscuridad (Alcántara-Cortes et al., 2019).

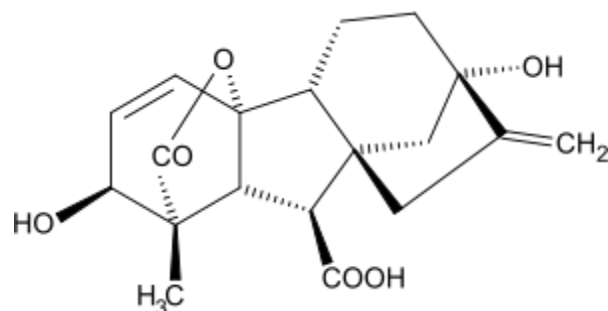


Figura 3. Estructura química de las giberelinas (Alcántara-Cortes et al., 2019).

El mecanismo de acción del AG3 se basa en la activación la síntesis de enzimas (proteasas y amilasas) que son responsables de activar el mecanismo celular, de tal forma que exista un incremento en eficacia y velocidad de los procesos celulares. Existe una familia de proteínas de nombre DELLA que se ubican en el núcleo de las células de las plantas, que actúan como inhibidores de crecimiento que son eliminadas gracias al AG3 (Harberd, 2003).

5.2 Ácido salicílico

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico e incoloro que suele cristalizarse en forma de agujas, es sintetizado por las plantas y es considerado como fitohormona debido a que funge como regulador de crecimiento e interviene en el desarrollo de la planta (Ho et al., 2018). En la Figura (4) se muestra la estructura química del ácido salicílico, actúa a nivel vegetal en el control y protección en el proceso de estrés, induce tolerancia en la germinación cuando se expone a bajas temperaturas y aumenta la resistencia de la planta en ambientes de alta salinidad o sequía.

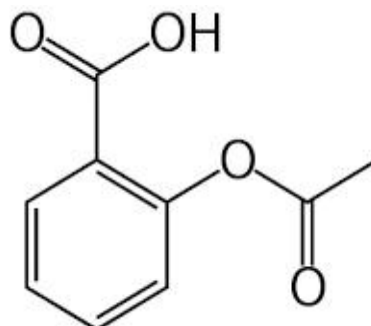


Figura 4. Estructura química del ácido salicílico (Ho et al., 2018).

5.3 Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H₂O₂) es un compuesto líquido incoloro, se produce durante el metabolismo aerobio, pertenece a las EROS (Mhamdi & Van Breusegem, 2018).

El H₂O₂ funciona como fungicida, y bactericida. Durante mucho tiempo se consideró dañino debido a su actividad oxidante, aunque funciona como molécula de señalización en el control de los procesos metabólicos de las plantas

(Czarnocka y Karpinski, 2018). Es el primer mecanismo de respuesta que se presenta en condiciones de estrés, ya que es de los principales compuestos que se producen ante distintos tipos de estímulos y participan en los mecanismos de tolerancia. El mecanismo de acción del H_2O_2 es a través de la oxidación de moléculas específicas, aunque si su concentración es muy alta, el resultado podría ser desfavorable, ya que podría causar daño celular irreversible. Esta molécula es capaz de actuar como un inhibidor reversible de algunas enzimas, como las fosfatasa quienes son reguladores negativos (Groeger et al., 2009).

Cuando las células se estimulan gracias al H_2O_2 , existe una transferencia de señales a través de las mismas vías de señalización que desencadenan los factores de crecimiento (Poli et al., 2004).

Cuando las células se estimulan gracias al H_2O_2 , existe una transferencia de señales a través de las mismas vías de señalización que desencadenan los factores de crecimiento (Poli et al., 2004).

El H_2O_2 desencadena distintas vías de regulación, tales como las señales dependientes de calcio, la biosíntesis de moléculas protectoras y tiene efecto sinérgico con fitohormonas como el AS y el ácido abscísico, activa cascadas de MAP- cinasas (enzimas con proteína cinasa que modifican a otras moléculas mediante la fosforilación, activando y desactivando sustratos que los rodeen) y también participa en la síntesis y regulación de la vías de EROS (Czarnocka y Karpinski, 2018; Smirnoff y Arnaud, 2019). En la agricultura se utiliza en la desinfección de agua, es aplicado para controlar y reducir el crecimiento de maleza y algas en depósitos de sistema de riego, favorece el sistema radicular de plantas (Fernández, 2021).

Cabe mencionar que, el H_2O_2 muestra efecto positivo en la tolerancia a estrés salino (Andrade et al., 2018). Si se aplica de manera exógena genera tolerancia a infecciones por virus y otros patógenos (Mejía-Teniente et al., 2010).

6. INTERMITENCIA LUMÍNICA

La luz es fundamental para las plantas porque es la fuente principal de energía que necesitan para realizar la fotosíntesis, el proceso mediante el cual convierten dióxido de carbono y agua en glucosa y oxígeno. Este proceso no solo permite que las plantas crezcan y se desarrollen, sino que también las mantiene vivas (Rivas et al., 2022). Además de ser 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, también 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 (Rivas et al., 2022).

En condiciones naturales, por lo general, las plantas presentan fluctuaciones en irradiancia, provocada por el sombreado dentro del canopy (parte aérea de una población vegetal, que absorbe o intercepta la luz), cabe mencionar que, la cantidad y calidad de la luz, afectan la forma en que una planta crece. Las plantas crecen más robustas y saludables con suficiente luz. Cuando falta luz, las plantas tienden a crecer más largas y delgadas en un intento por acercarse a una fuente de luz (Knapp y Smith, 1987; Casierra et al., 2015). La duración de la exposición a la luz (fotoperiodo) también influye en ciertos procesos de las plantas, como la floración. Algunas plantas necesitan días largos (más horas de luz) para florecer, mientras que otras requieren días cortos (menos horas de luz). Este fenómeno les permite sincronizar su ciclo de vida con las estaciones. De igual forma, la luz influye en la transpiración, el proceso mediante el cual las plantas liberan agua a través de sus hojas. La transpiración ayuda a regular la temperatura de la planta y facilita el transporte de nutrientes desde las raíces hasta las hojas (Hongxun et al., 2022; Rivas et al., 2022).

La intermitencia de luz regula procesos fisiológicos y de crecimiento esenciales en las plantas. Este patrón, conocido como fotoperiodismo, permite a las plantas sincronizar su ciclo biológico con los ritmos del día y la noche, y con las estaciones del año. Algunos de los principales beneficios y efectos de la luz

intermitente en las plantas incluyen; control del fotoperiodo, descanso metabólico, crecimiento balanceado, estimulación de pigmentos y producción de hormonas vegetales, además promueve la síntesis de metabolitos secundarios como flavonoides y fenoles, mismos que poseen un rol importante en la defensa de las plantas (Gundogdu, 2013). 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).

A partir de la luminosidad a la que se ven expuestas las plantas naturalmente y a la importancia de esta sobre el desarrollo vegetal, se han realizado diversas investigaciones en las que aplican intermitencia lumínica. Cabe mencionar que, la oscuridad es tan importante como la luz para el crecimiento de las plantas debido a que durante el período de oscuridad, las plantas entran en un "modo de descanso" metabólico, lo cual reduce la acumulación de estrés oxidativo (desequilibrio de moléculas reactivas de oxígeno que pueden dañar las células) y permite que los procesos de reparación celular ocurran, lo que permite a las plantas recuperarse, almacenar energía, y regular hormonas y procesos que son críticos para su salud, crecimiento y reproducción (Ruíz-Rivas et al., 2022).

6.1 Fotosíntesis y luz

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, algas y algunas bacterias transforman la luz solar en energía química, produciendo oxígeno como subproducto. En las plantas, este proceso ocurre en los cloroplastos, específicamente en la clorofila, el pigmento verde que captura la luz solar. Durante la fotosíntesis, el dióxido de carbono del aire y el agua absorbida por las raíces se combinan en presencia de luz para producir glucosa y oxígeno. La glucosa actúa como fuente de energía y materia prima para la planta, permitiéndole crecer, desarrollarse y reproducirse (Martínez-Aguirre et al., 2020; Urquieta et al., 2024).

La luz, específicamente la del sol, es el motor que impulsa la fotosíntesis. Las plantas utilizan la energía de los fotones de la luz para separar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno en un proceso conocido como "reacción de luz" o fase luminosa. Este paso genera el oxígeno que liberan las plantas y produce energía química en forma de ATP (adenosín trifosfato) y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), moléculas que luego se utilizan en la segunda etapa de la fotosíntesis, la fase oscura o ciclo de Calvin, para sintetizar glucosa como se muestra en la Figura (5) (Soto-Hernández 2021).

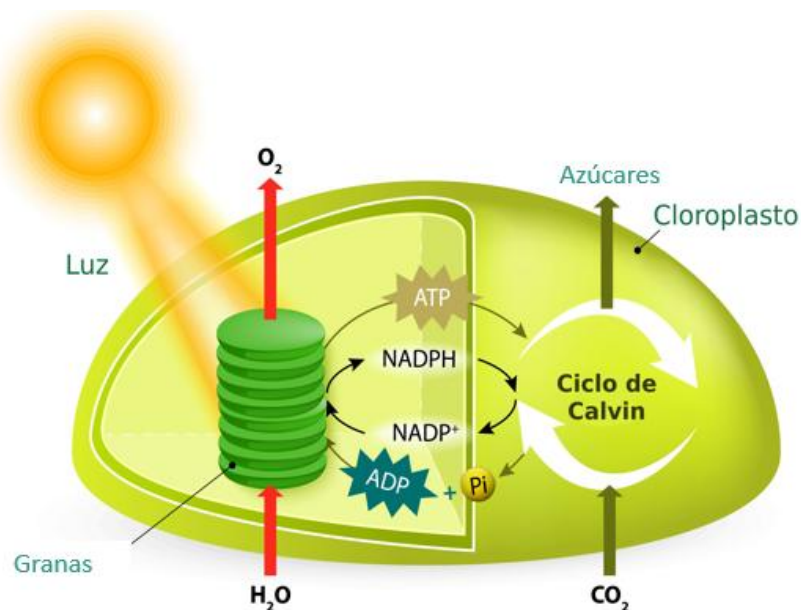


Figura 5. Reacciones de la fotosíntesis Shutterstock.com (adaptado).

6.2 Reacciones dependientes de la luz

Las reacciones dependientes de la luz son la primera fase del proceso de la fotosíntesis, que tiene lugar en las membranas de los tilacoides de los cloroplastos en las células vegetales como se muestra en la Figura (6). Estas reacciones son fundamentales porque convierten la energía de la luz solar en energía química almacenada en moléculas de ATP y NADPH, que luego se utilizan en la segunda fase de la fotosíntesis, conocida como las reacciones independientes de la luz o el ciclo de Calvin. (Lodish et al., 2000; Soto-Hernández 2021).

La energía de la luz que absorben los pigmentos en las hojas se convierte en energía química, esto sucede durante la primera etapa de la fotosíntesis, consiste en una serie de reacciones químicas conocidas como reacciones dependientes de la luz (Soto-Hernández 2021).

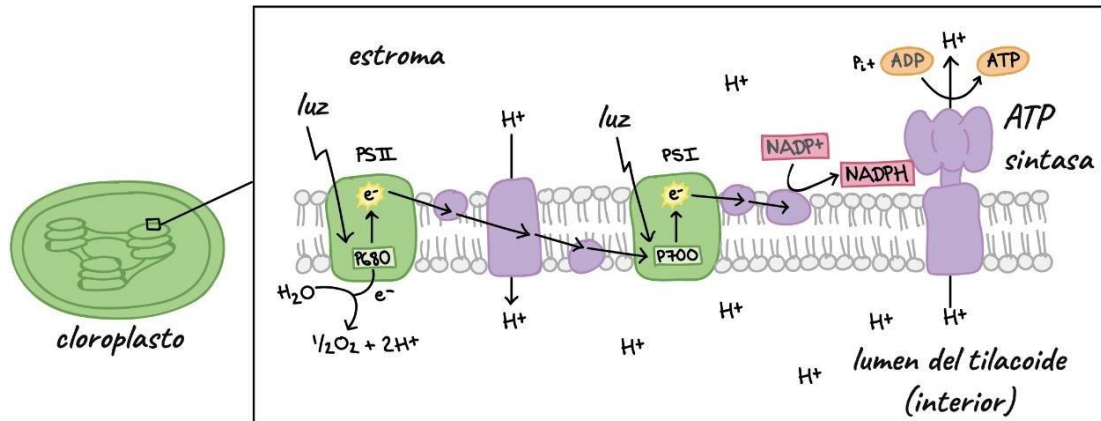


Figura 6. Reacciones dependientes de la luz (Lodish et al., 2000).

Los fotosistemas son complejos de proteínas y pigmentos (molécula que absorbe la luz). Cabe mencionar que, hay dos tipos de fotosistemas: fotosistema I (PSI) y fotosistema II (PSII) (Lodish et al., 2000).

En la absorción de la luz en PSI, el electrón llega al fotosistema I y se une al par especial de clorofilas P700 en el centro de la reacción. Los pigmentos absorben la energía lumínica, pasando hacia el centro de la reacción, el electrón en P700 es impulsado a un nivel muy alto de energía y se transfiere a una molécula que lo acepta. El electrón que falta del par especial es reemplazado por un nuevo electrón de PSII (que llega a través de la cadena de transporte de electrones) (Lodish et al., 2000).

En la absorción de la luz en PSII, los pigmentos del fotosistema II absorben luz, la energía pasa de un pigmento a otro hacia el interior hasta alcanzar el centro de reacción. Ahí la energía se transfiere a P680, impulsando un electrón a un alto nivel de energía donde el electrón de alta energía pasa a una molécula receptora y es reemplazado por un electrón del agua. Esta división del agua libera el O₂ que respiramos (Lodish et al., 2000).

6.3 Aplicaciones de la intermitencia lumínica

Blanchard y Runkle (2010) utilizaron lámparas estacionarias de alta tensión con un reflector parabólico oscilante de aluminio para evaluar la intensidad lumínica en cultivos de ornamentales sobre la floración y también evaluaron la interrupción nocturna utilizando lámparas incandescentes. Las plantas que se sometieron a dichos tratamientos se expusieron durante 12 h. El 80% de las plantas que recibieron los tratamientos con iluminación en interrupción nocturna no presentaron capullo o inflorescencia macroscópica visible, mientras que, las especies cultivadas a 13 m de la lámpara rotatoria presentaron un retraso en la floración de 14 a 31 días en comparación con las lámparas incandescentes.

Li y Yang (2015) aplicaron luz difusa en producción hortícola, la luz difusa penetra el dosel de las plantas, provocando que las hojas que se ubican en la parte inferior reciban mayor intensidad lumínica, logrando mayor adsorción de nitrógeno y clorofila en el dosel y a su vez aumenta la capacidad fotosintética en las hojas de la parte inferior. Por lo anterior, se concluyó que el uso de luz intermitente promueve la producción hortícola.

Arena (2016) utilizó tres niveles de sombreado, bajo (24%), medio (57%) y alto (100%) en cultivos de *B. microphylla*, utilizando malla sombra. En esta investigación evaluaron el contenido de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos; los resultados mostraron un incremento significativo de antocianinas y compuestos fenólico en las plantas cultivadas en sombreado alto, sin embargo, para flavonoides el incremento significativo se mostró en las plantas cultivadas en sombreado medio.

Garzón y Gonzalez (2019) utilizaron un fotobiorreactor de placa plana con luz led intermitente y un fotobiorreactor con luz fija en cultivos de microalga *Scenedesmus obliquus*, el fotoperiodo aplicado fue de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. En la investigación, se evaluó el incremento de biomasa, carotenoides, clorofila a y b, además de pigmentos fotosintéticos. La producción de biomasa fue menor en el cultivo con luz intermitente, sin embargo, la producción de carotenoides, pigmentos, así como clorofila a y b fue mayor.

Xu et al., (20220), utilizaron dos niveles de sombreado (moderado y severo), las mediciones de intensidad de luz se realizaron a medio día en días soleados con un sensor PAR (6400XT portable photosync system, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE), en cultivos de *Eleutherococcus senticosus* y observaron que, en el sombreado moderado tuvo un efecto promotor en el crecimiento e inhibitorio en la fotosíntesis de las plantas. El tratamiento del sombreado severo, inhibió ambos en la planta. Por su parte, en el tratamiento moderado observaron mayor concentración de fenoles en casi un 51.8% con respecto al grupo control y la acumulación de metabolitos secundarios de la planta, además mencionan que, por esta razón, el sombreado podría promover el crecimiento de las plantas y la acumulación de metabolitos secundarios.

Kondrateva et al., (2021), mencionaron que el uso de paneles solares es una opción viable y económica en el consumo de energía eléctrica en invernaderos para aprovecharlo en los cultivos verticales, captando la energía solar durante el día y así suministrar luz al cultivo en los periodos nocturnos. Los autores probaron diversos tratamientos de exposición a la luz y oscuridad en una relación de 8:4 horas (8 horas luz, 4 horas oscuridad), con dos ciclos durante el día. Los períodos de funcionamiento del sistema de iluminación son de 11:00 a 19:00 y de 23:00 a 07:00, sin embargo, en ninguno de sus tratamientos observaron efecto de estimulación al crecimiento de los cultivos de hortaliza.

7. HIPÓTESIS

Debido a la presencia de HClO en AEN como principal componente y en combinación con intermitencia de luz, es posible que presenten un efecto elicitor en plantas de pimiento cultivado en invernadero, desde su proceso germinativo como en desarrollo de planta y en el valor nutracéutico del fruto.

8. OBJETIVOS

8.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del AEN e intermitencia lumínica sobre la germinación, y rendimiento de plantas de pimiento (*Capsicum annum L.*) cultivado en invernadero, así como sobre la calidad fisicoquímica del fruto.

8.2 Objetivos específicos

Determinar de manera *in vitro* e *in vivo* el efecto del AEN e intermitencia lumínica como pre tratamiento en la germinación de semillas de pimiento.

Evaluar el efecto de AEN e intermitencia lumínica sobre variables morfológicas (altura, diámetro y área foliar) y rendimiento de plantas de pimiento cultivadas en invernadero.

Evaluar el efecto de AEN e intermitencia lumínica sobre variables bioquímicas (fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante) de frutos de pimiento cultivado en invernadero.

9. METODOLOGÍA

9.1 Diseño experimental para invernadero

Las plantas de pimiento fueron sometidas bajo dos factores; intermitencia lumínica y aplicación de AEN, donde la intermitencia se evaluó con dos niveles (intermitencia y continua) y el AEN se evaluó en tres niveles (blanco, concentración 1 y concentración 2) Tabla (2). Para evaluar el efecto de cada factor, se realizaron tres experimentos independientes con una unidad experimental de 16 plantas por tratamiento (n=96). Se trabajó con un diseño de bloques completamente al azar con tres réplicas cada tratamiento.

Tabla 2. Diseño experimental

FACTORES	NIVELES		
Intermitencia de luz	Sí	No	
AEN	Control	C1	C2

9.2 Diseño experimental para germinación

Para la germinación de semillas de pimiento se utilizó un diseño unifactorial 1X5 con factor de concentración de 5 niveles (0, 50, 150 y 100 mg/L) de AEN, 0.02 mM de AS y factor de tiempo de exposición de un nivel (12 h luz y 12 h oscuridad). Se realizaron tres réplicas independientes para cada experimento. Para evaluar el efecto del AEN y la intermitencia de luz sobre la germinación de semillas de pimiento se determinaron diferentes parámetros de germinación, los cuales se describen en la Tabla (3) (Al Sahil, 2016; Youssef et al., 2017; Miceli et al., 2019).

9.3 Determinación *in vivo* del efecto de AEN como pretratamiento en la germinación de semillas

Las semillas pretratadas se sembraron a un centímetro de profundidad en bandejas de germinación con peat moss como mezcla de crecimiento (Theriat & Hachey®). Las charolas de germinación se incubaron en una cámara de crecimiento vegetal (ThermoFisher) a 25 ± 1 °C y 68% de humedad en oscuridad hasta que crecieron las primeras plántulas, posteriormente, se expusieron a 12 h de luz ($812.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y 12 h de oscuridad. Las bandejas se humedecieron diariamente con agua.

9.4 Determinación *in vitro* del efecto de AEN como pretratamiento en la germinación de semillas

Las semillas se colocaron en cajas Petri con algodones circulares con un diámetro de 12.5 cm. En cada caja se depositaron 10 semillas previamente tratadas, mismas que fueron humedecidas con 5 mL de agua destilada diariamente durante 15 días. Las semillas se incubaron en una cámara de crecimiento vegetal (ThermoFisher) a 25 ± 1 °C y 68% de humedad en oscuridad hasta que crecieron las primeras plántulas, posteriormente, se expusieron a 12 h de luz ($812.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y 12 h de oscuridad. Se determinaron diferentes parámetros de germinación, los cuales se describen en la Tabla (3) de acuerdo a trabajos previos (Al Sahil, 2016; Youssef et al., 2017; Miceli et al., 2019).

Tabla 3. Descripción y ecuaciones para calcular parámetros de germinación.

Parámetro y ecuación	Descripción
<p>Porcentaje final de germinación (FGP)</p> $FGP = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas}} * 100$	<p>Número de semillas germinadas en un grupo de tratamiento de semillas. Unidad = %</p>
<p>Tiempo medio de germinación (MGT)</p> $MGT = \frac{\sum G_i * t_i}{\sum G_i}$	<p>Los valores más bajos significan un tiempo de germinación más rápido. Unidad = día</p>
<p>Primer día de germinación (FDG)</p>	<p>Día en el que se observa la primera semilla germinada. Unidad = día</p>
<p>Último día de germinación (LDG)</p>	<p>Día en que se observó la última semilla germinada. Unidad = día</p>
<p>(Tiempo de propagación de la germinación (TSG))</p>	
<p>Coefficiente de velocidad de germinación (CVG)</p> $100 * \frac{G_{Y_0} + G_{j_1} + \dots + G_n}{G_{Y_0} * D_{Y_0} + G_{j_1} * D_{j_1} + \dots + G_n * D_n}$	<p>Relación entre las semillas germinadas en cada día y un factor de cada día de germinación por número de semillas germinadas</p>
<p>Índice de germinación (IG)</p> $GI = (Día_n * G_{Y_0}) + (Día_j * G_j) + (Día_{Y_0} * G_n)$	<p>Relación inversa de las semillas germinadas en 1^a, 2^a.. n^{ésimo} día por día para el período de evaluación de la germinación.</p>

9.5 Material vegetal

La especie vegetal que fue modelo de estudio para esta investigación es *Capsicum annuum L.*, la cual será crecida en condiciones de invernadero y en cámara de crecimiento vegetal, en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, municipio El Marqués, estado de Querétaro.

Las plántulas se trasplantaron en cuando tenían 5 hojas verdaderas en bolsa de 3 L, con un sustrato de peat moss, tezontle y arenilla en condiciones de invernadero. Se asperjaron 20 mL de AEN (150 y 250 mg/L) y agua potable (control) de manera manual durante la etapa de floración y fructificación (únicamente hasta la primera cosecha) a las 11:00 a.m. Se regaron las 96 plantas con solución Steiner desde el trasplante de la plántula en el invernadero hasta la primera cosecha, el riego fue automatizado.

9.6 Mediciones morfológicas

La altura de las plantas se midió con un flexómetro. El número de frutos se contaron manualmente. El área foliar de cada planta se determinó a partir de imágenes tomadas con una cámara RGB A480 sin infrarrojos (Canon, China) y procesadas en MATLAB R2016a (MathWorks, USA). Las mediciones de las plantas, el conteo de flores y frutos se realizaron cada tercer día durante dos meses. La masa de plantas y frutos, se tomaron al finalizar el experimento con una balanza electrónica modelo LPCR20 (Torrey, México), del mismo modo las fotografías .

9.7 Determinación de variables fisiológicas mediante fitomonitor

Para las plantas sometidas a las diferentes condiciones de los dos tratamientos y el control, bajo invernadero, se realizaron las mediciones de la tasa fotosintética y la transpiración, mediante el método de intercambio de gases y de acuerdo a la metodología mostrada por Millan-Almaraz et al., (2013), el cual muestra un sistema para la medición de estas variables a través del uso de sensores de CO₂, temperatura, humedad relativa, radiación, entre otros. El

sistema se basa en un Arreglo de Compuertas Programable en Campo (FPGA) el cual es el encargado de calcular de manera indirecta y a través de ecuaciones preestablecidas, las variables citadas.

9.8 Obtención de extractos metanólicos del fruto

Se pesaron 500 mg de muestra pimiento liofilizado en una balanza analítica serie 321 LS (Precisa), se añadieron 10 mL de metanol (100% v/v) (J.T. Baker), se mantuvieron en sonicación Branson 1510R-MT Ultrasonic Cleaner (Branson Ultrasonics Corporation) durante 1 h. Las muestras se conservaron a -20°C durante 24 h, antes de realizar las mediciones se filtró el extracto con un filtro Millipore 0.25 mm modificado de Cantador- Martínez et al., 2002.

9.9 Contenido de Flavonoides

Se tomaron 50 µL del extracto metanólico, se añadieron 180 µL de agua destilada y 20 µL de 2-aminoetildifenil (p/v) (Sigma-Aldrich), en una microplaca y se dejó reposar la mezcla durante 5 min. La absorbancia se leyó a 404 nm en el espectrofotómetro de microplacas Multiskan SkyHigh. Se realizó una curva de calibración usando rutina (Sigma-Aldrich) como estándar con los siguientes puntos; 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200 los resultados fueron expresados como mg equivalente rutina por g de muestra (Singleton et al., 1999).

9.10 Contenido de Fenoles

Se tomaron 40 µL de extracto metanólico, se añadieron 40 µL de agua destilada, 1250 µL Na₂CO₃ al 20% (p/v) (Sigma-Aldrich) y 250 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu 50% (v/v) (Sigma-Aldrich), se dejó reposar durante 2 horas en oscuridad. La absorbancia se leyó a 760 nm en un espectrofotómetro de microplacas Multiskan SkyHigh. Se realizó una curva de calibración usando ácido gálico (Sigma-Aldrich) como estándar, con los siguientes puntos; 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160, los resultados fueron expresados como mg equivalente de ácido gálico por g de muestra (Oomah et al., 2005).

9.11 Capacidad antioxidante

9.12 Método DPPH

Se colocaron 20 μ L del extracto metanólico en una microplaca, posteriormente se añadieron 200 μ L 2,2- difenil-1-picrilhidracilo 0.1 mM (Sigma-Aldrich) y se dejó reposar durante 30 min en oscuridad. Luego se midió la absorbancia a 520 nm contra un blanco usando un espectrofotómetro de microplacas Multiskan SkyHigh.

Se calculó la capacidad de los extractos metanólicos de secuestrar radicales DPPH con la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Ecuación para calcular el efecto secuestrador DPPH

$$\text{Efecto secuestrador DPPH (\%)} = [(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}} / A_{\text{blanco}}) \times 100]$$

Donde A_{blanco} es la absorbancia de la solución resultante de la reacción control (conteniendo todos los reactivos excepto el compuesto a ensayar) y A_{muestra} es la absorbancia de la mezcla de reacción para el efecto secuestrador del compuesto.

Para evitar la interferencia de las antocianinas, A_{muestra} se restó la absorbancia obtenida con los extractos de los frutos en ausencia de DPPH. Se calcularon los valores de efecto secuestrador de DPPH para los extractos metanólicos y concentraciones de antioxidantes estándar. Se usó Trolox para la curva patrón con los siguientes puntos; 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800, los resultados fueron expresados mg equivalente trolox por g de muestra (Zenil et al., 2014).

9.13 Método ABTS

Se colocaron 20 μ L del extracto metanólico en una microplaca, se añadió 230 μ L de solución radical de ABTS⁺ (Sigma-Aldrich). Para preparar la solución de radical de ABTS⁺ se mezclaron 5 mL de solución ABTS 7 mM con 88 μ L de solución de persulfato de potasio 140 mM (Sigma-Aldrich) posteriormente se diluyó en buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 5) (Sigma-Aldrich). Se leyó a una absorbancia de 734 nm inmediatamente en un espectrofotómetro de microplacas Multiskan SkyHigh. Se usó Trolox para la curva patrón con los siguientes puntos; 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 y 700, los resultados

fueron expresados mg equivalente trolox por g de muestra (Pellegrini et al., 1999).

9.14 Determinación de cloro libre total en AEN mediante método DPD

Se tomaron 10 mL de muestra de agua clorada en una celda, se metió la celda en el colorímetro HI771 (HANNA Instruments), posteriormente se sacó la celda y se añadió el indicador "A", se agitó de manera vigorosa y posteriormente se añadió el indicador "B", finalmente se metió la celda al colorímetro. Para calibrar el equipo se utilizó una celda con agua normal (Martínez-Guijarro & Pachés-Giner, 2019).

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar, se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y se compararon las medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) con el paquete estadístico JMP v.8.

10.1 Porcentaje de germinación de semillas *in vivo*

En todos de los tratamientos se logró una germinación de más del 50% (PFG) en el día 7 Tabla (4). El índice de germinación (IG) fue mayor en las semillas pretratadas con la concentración de AS (0.02 mM), sin embargo el tiempo medio de germinación (TMG) fue el mismo entre las semillas pretratadas con AEN y AS.

Tabla 4. Parámetros de germinación *in vivo* de semillas pretratadas por 12 h con diferentes con diferentes concentraciones de AEN y una concentración de AS.

Semilla	AEN [mg/L]	Día							N° Semillas germinadas	PFG %	TMG	CVG	PDG	UDG	IG	TSG
		1	2	3	4	5	6	7								
Pimiento	0	0	1	3	16	19	23	23	23	52	3	20,130	2	6	126	4
	50	0	2	9	16	19	19	24	24	55	5	18,856	2	7	240	5
	150	0	4	4	11	16	21	25	25	57	5	18,202	2	7	203	5
	250	2	3	3	11	16	17	23	23	52	5	18,564	1	7	196	6
	0.02mM AS	0	6	8	12	17	22	24	24	55	5	18,977	2	7	243	5

PFG: Porcentaje final de germinación **TMG:** Tiempo medio de germinación **CVG:** Coeficiente de velocidad de germinación **PDG:** Primer día de germinación **UDG:** Último día de germinación **IG:** Índice de germinación **TSG:** Tiempo de extensión de la germinación.

Cabe mencionar que no hubo diferencias significativas estadísticamente en el porcentaje final de germinación (PFG) en los tratamientos de AEN, como se muestra en la Figura (8), con respecto a los controles en los días germinación.

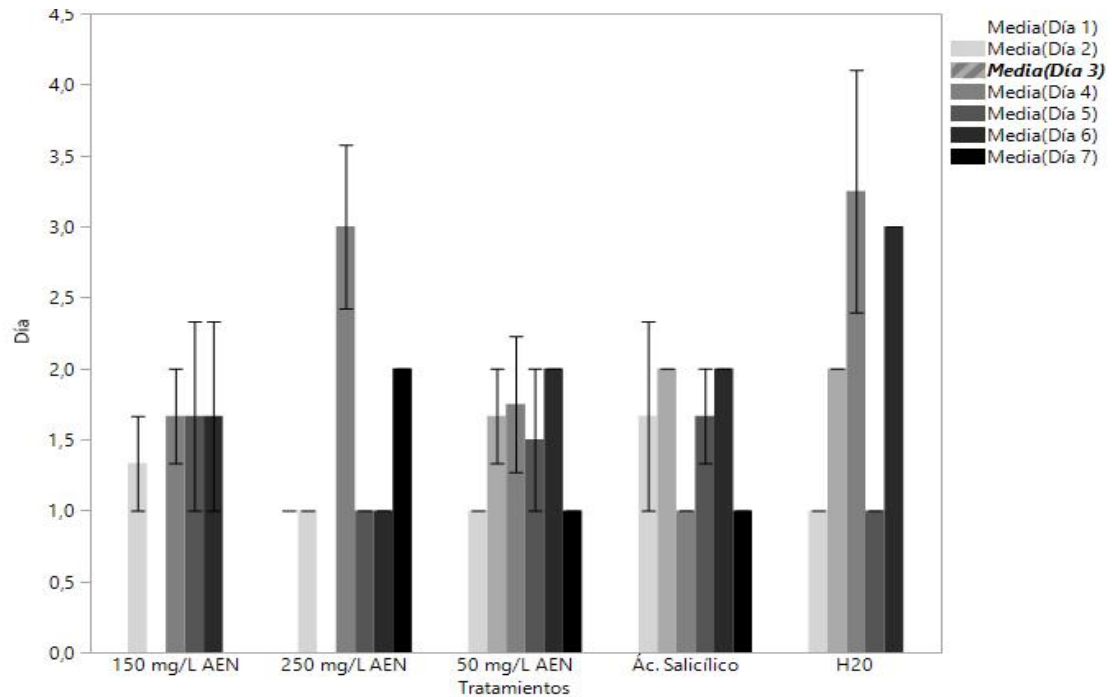


Figura 8. Efecto *in vivo* de los tratamientos de AEN, AS, agua potable e intermitencia de luz, sobre la germinación de pimienta (n=220). Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$).

Sabogal et al., 2023 encontraron un efecto estimulante sobre la capacidad de germinación de semillas de pepino en concentraciones de hasta 100 mg/L de AEN con las semillas pretratadas durante 12h. Otro estudio reportó un incremento significativo (96%) en el porcentaje de germinación en frijol mugo utilizando concentraciones de 10-30 mg/L de AEN con un tiempo de exposición de 8 h comparado con el control (agua), el cual fue de 86% (Ding, et al., 2019). Por su parte Dzib-Ek et al., 2021 mencionan que la concentración de 0.01 mM de AS promueve la germinación de semillas y el crecimiento de raíz en tomate con un tiempo de exposición de 24 h.

10.1.2 Porcentaje de germinación de semillas *in vitro*

Para las semillas germinadas de manera *in vitro*, el mejor tratamiento fue de 50 mg/L, logrando una germinación del 100% (n=30) en el día 7, el tratamiento de 150 mg/L logró una germinación del 97% en el día 7 (n=29). Mientras que el TMG fue el mismo para todos los tratamientos y controles Tabla (5).

Tabla 5. Parámetros de germinación *in vitro* de semillas pretratadas por 12 h con diferentes con diferentes concentraciones de AEN y una concentración de AS.

Semilla	AEN [mg/L]	Día							N° Semillas germinadas	% PFG	TMG	CVG	PDG	UDG	IG	TSG
		1	2	3	4	5	6	7								
Pimiento	0	1	2	3	9	15	20	27	27	90	3	16,949	1	7	105	6
	50	0	3	9	13	19	25	30	30	100	2	17,293	2	7	153	5
	150	3	3	4	11	16	23	29	29	97	2	17,493	1	7	137	6
	250	2	3	3	8	16	17	28	28	93	2	17,500	1	7	112	6
	0.02 mM AS	0	1	6	12	17	21	28	28	93	2	16,964	2	7	120	5

PFG: Porcentaje final de germinación **TMG:** Tiempo medio de germinación **CVG:** Coeficiente de velocidad de germinación **PDG:** Primer día de germinación **UDG:** Último día de germinación

IG: Índice de germinación **TSG:** Tiempo de extensión de la germinación.

No hubo diferencia significativa estadísticamente en la germinación de las semillas los primeros 5 días, caso contrario en el día 6, donde si hubo diferencia significativa en el tratamiento de 150 mg/L de AEN con respecto al control positivo (0.02 mM AS) Figura (9).

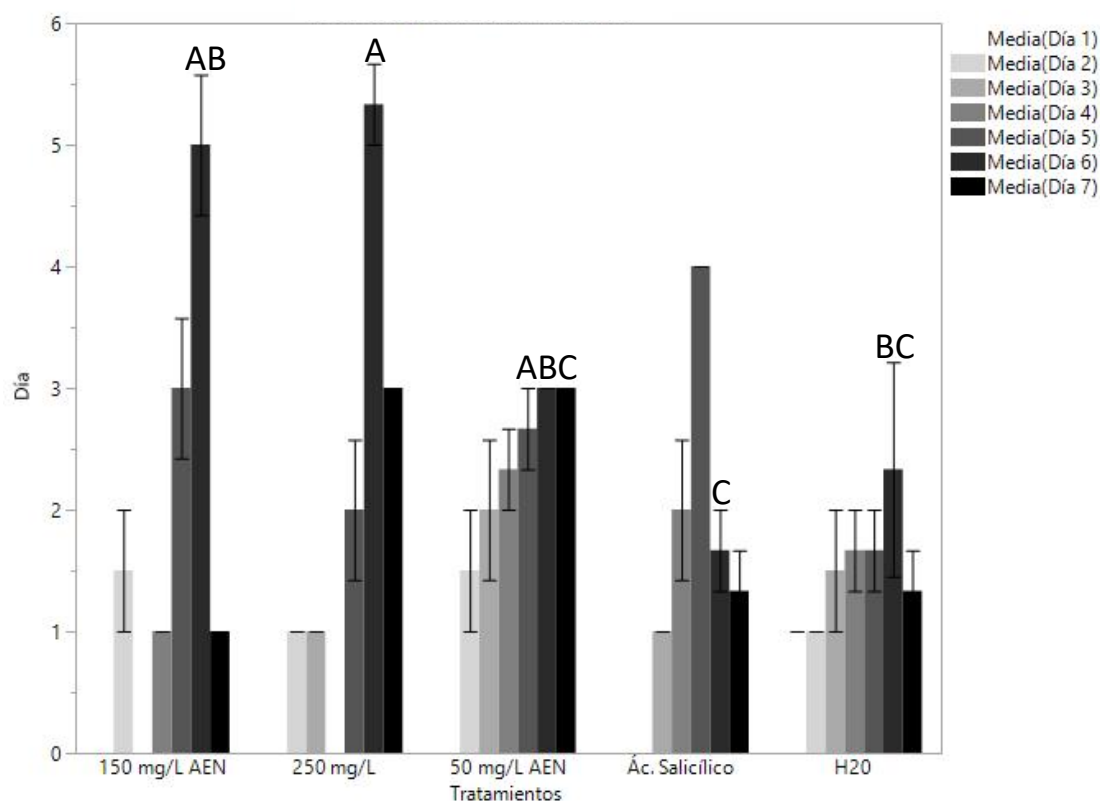


Figura 9. Efecto *in vitro* de los tratamientos de AEN, AS, agua potable e intermitencia de luz, sobre la germinación de pimiento. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$) (n=150).

Liu et al., 2013 aplicaron AE en germinados de arroz integral de manera *in vitro*, señalaron que la concentración de 20 mg/L fue la mejor al incrementar significativamente la altura de los germinados en comparación con el tratamiento con agua en un tiempo de exposición de 30 min. Algunos reportes mencionan que la germinación de semillas de pepino, lechuga y tomate mostraron un incremento significativo en la germinación de dichas semillas con tratamientos de AS en con concentraciones de 1-50 mg/L, con un tiempo de exposición de 30 min y hasta 8 h (Youssef et al., 2017; Miceli et al., 2019).

10.2 Contenido de fenoles totales en fruto de pimienta

En la Figura (10), se muestra una diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia, específicamente en los frutos sometidos a intermitencia lumínica en conjunto con los tratamiento de AEN. Los frutos donde se aplicó el tratamiento C1 (150 mg/L) con intermitencia presentan el mayor contenido de fenoles totales (147.293 mg eq ác gálico/g) con respecto al control, cabe mencionar que los frutos tratados con el tratamiento C2 (250 mg/L) no muestran cambios significativos con respecto al control.

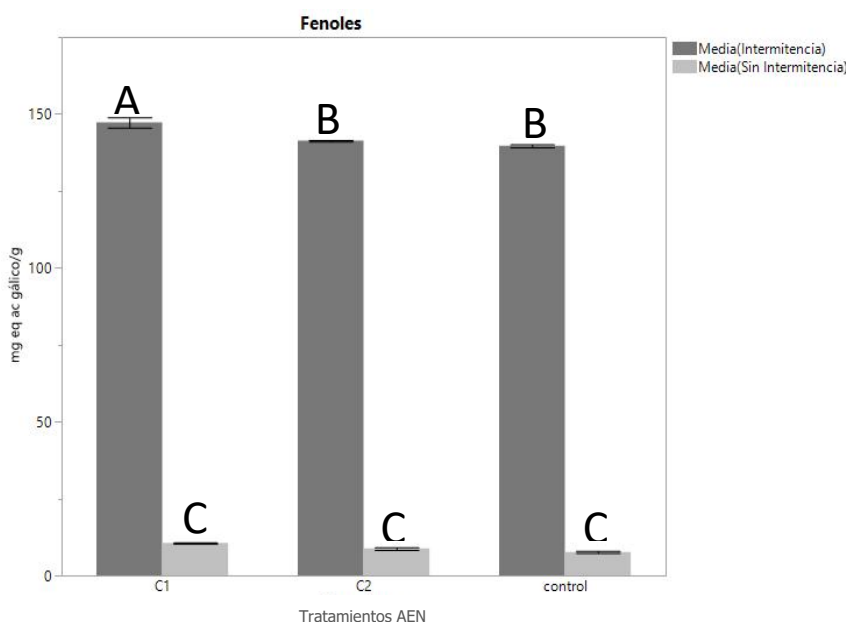


Figura 10. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de fenoles totales en frutos de pimienta. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$) (n=96).

En los frutos sin intermitencia no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de AEN y el control. Sin embargo es importante señalar que al comparar los frutos con intermitencia y sin intermitencia si hay una diferencia estadísticamente significativa, ya que el contenido de fenoles totales es diez veces mayor en los frutos con intermitencia, como se puede observar en la Tabla (6). La radiación era de $766.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para los frutos sin intermitencia, mientras que para los frutos con intermitencia la radiación era de $446.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en ambos casos fue el promedio de la radiación de los días en que se llevó a cabo el experimento en el invernadero.

El mayor contenido de fenoles totales observado en pimientos tratados con AEN e intermitencia de luz se puede atribuir al efecto combinado de estrés biótico controlado (por AEN) y un estímulo adaptativo generado por la luz intermitente. La combinación potencia la señalización celular, lo que activa las vías metabólicas de defensa y promueve una acumulación superior de fenoles, en comparación con el tratamiento sin intermitencia. En condiciones sin intermitencia, la síntesis de fenoles puede ser limitada debido a una adaptación más estable de las plantas al entorno lumínico, lo que reduce las señales de estrés necesarias para activar estas rutas metabólicas. Aunque la luz continua (sin intermitencia) favorece la fotosíntesis, no induce las fluctuaciones necesarias para maximizar la síntesis de compuestos secundarios como los fenoles.

Chang et al., 2023 aplicaron agua electrolizada ácida (AEA) en cultivos de fruta de azufaifo en la etapa de madurez, 80 días después de la floración, utilizando una concentración de 90 mg/L, teniendo como resultado un incremento significativo en el contenido de fenoles totales (105 mg eq ácido gálico/ g) comparado con los frutos del grupo control.

Un informe de AEA aplicado alforfón, mostró que la concentración de 20 mg/L tenía un efecto en el contenido de fenoles totales, mencionan que los alforfones tratados con AEA incrementó significativamente el contenido de fenoles comparado con los alforfones del grupo control (Liang et al., 2019). Por otra parte Yan et al., 2024 aplicaron agua electrolizada ligeramente ácida (AELA) en geminados de trigo sarraceno, utilizando una concentración de 30 mg/L, mostrando un incremento significativo en el contenido de fenoles (84,10 mg eq ác gálico/ g) comparado con el grupo control. Arena, 2016 aplicó intermitencia con diferentes niveles de radicación (50, 75 y 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) en cultivo de calafete, teniendo como resultado un incremento en el contenido de fenoles comparado con el grupo control.

10.3 Contenido de flavonoides totales en fruto de pimiento

En la Figura (11) se muestra una diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia, específicamente en los frutos sin intermitencia lumínica en conjunto con los tratamientos de AEN. Los frutos donde se aplicó el tratamiento C1 (150 mg/L) sin intermitencia presentan el mayor contenido de flavonoides totales (16.956 mg eq rutina/g) con respecto al control, cabe mencionar que los frutos tratados con el tratamiento C2 (250 mg/L) no muestran cambios significativos con

Tabla 6. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de fenoles totales en frutos de pimiento.

Tratamientos AEN (mg/L)		Contenido de fenoles totales (mg eq ác gálico/g)
0	con intermitencia	139.7
150		147.3
250		141.3
0	sin intermitencia	7.7
150		10.6
250		8.8

respecto al control. La radiación era de $766.6\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ para los frutos sin intermitencia, mientras que para los frutos con intermitencia la radiación era de $446.6\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ en ambos caso fue el promedio de la radiación de los días

en que se llevó acabó el experimento en el invernadero.

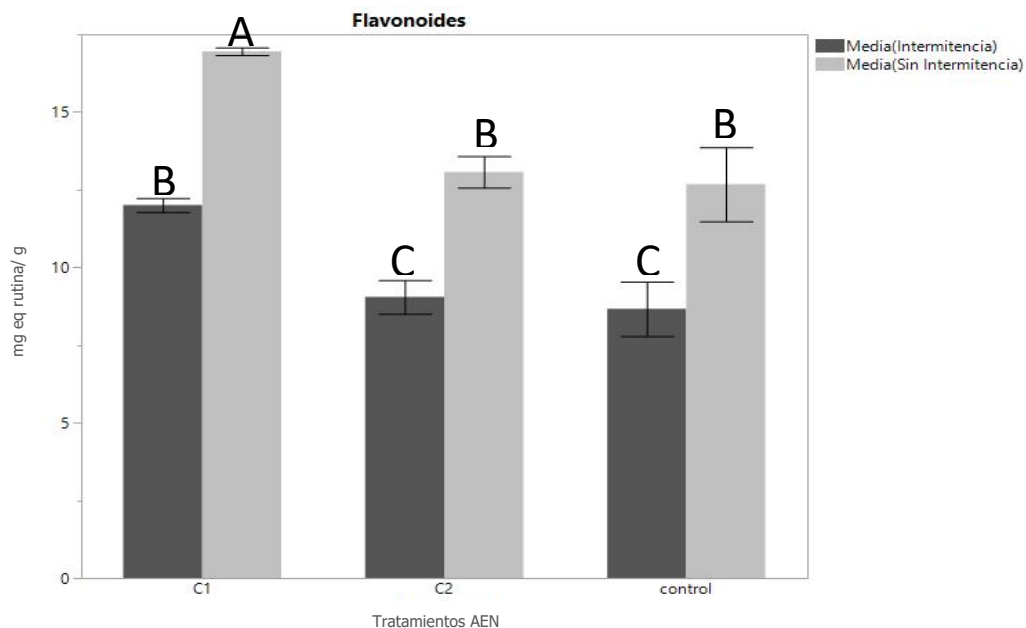


Figura 11. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de flavonoides totales en frutos de pimiento. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$) (n=96).

En los frutos con intermitencia también hubo diferencia significativa, el tratamiento C1 mostró un incremento en el contenido de flavonoides (12.004 mg eq rutina/g) comparado con el tratamiento C2 y el control. Sin embargo, es importante señalar que al comparar los frutos con intermitencia y sin intermitencia, hay diferencia estadísticamente significativa, ya que el contenido de flavonoides totales es mayor en los frutos sin intermitencia (luz continua) como se puede observar en la Tabla (7).

Tabla 7. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el contenido de flavonoides totales en frutos de pimiento.

Tratamientos AEN (mg/L)		Contenido de flavonoides totales (mg eq rutina/g)
0	con intermitencia	8.7
150		12.0
250		9.0
0	sin intermitencia	12.7
150		16.9
250		13.1

La luz continua proporciona un estímulo constante que optimiza la fotosíntesis durante todo el día. Esto asegura una producción constante de energía y nutrientes esenciales para la planta, lo que favorece el flujo continuo de carbono hacia la producción de metabolitos secundarios como los flavonoides. El AEN induce un estrés oxidativo controlado en las plantas, lo que activa las rutas de defensa que incluyen la biosíntesis de flavonoides. Las especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas por los tratamientos con AEN actúan como señales que promueven la activación de genes relacionados con la síntesis de flavonoides. Esto genera una mayor acumulación de flavonoides en las plantas, ya que estos compuestos actúan como parte de la respuesta antioxidante. El hecho de que los pimientos tratados con AEN y luz continua presenten el mayor contenido de flavonoides totales sugiere que la interacción entre el estrés oxidativo inducido por el AEN y la exposición constante a la luz favorece la producción de estos metabolitos secundarios.

Chang et al., 2023 aplicaron AEA en cultivos de fruta de azufaifo en la etapa de madurez, 80 días después de la floración, utilizando una concentración de 90 mg/L, teniendo como resultado un incremento significativo en el contenido de flavonoides totales (55 mg eq rutina/ g) comparado con los frutos del grupo control. Un informe de AEA aplicado alforfón, mostró la concentración de 20 mg/L tenía un efecto en el contenido de flavonoides totales, mencionan que los alforfones tratados con AEA incrementó significativamente el contenido de flavonoides comparado con los alforfones del grupo control (Liang et al., 2019). Por otra parte Yan et al., 2024 aplicaron agua electrolizada ligeramente ácida en geminados de trigo sarraceno, utilizando una concentración de 30 mg/L, mostrando un incremento significativo en el contenido de flavonoides totales (43.73 mg eq rutina/ g) comparado con el grupo control.

Arena, 2016 aplicó intermitencia con diferentes niveles de radicación (50, 75 y 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) en cultivo de calafete, teniendo como resultado un incremento en el contenido de flavonoides totales comparado con el grupo control. Por otro lado, Wu et al., 2024 aplicaron distintas intensidades (alta, media y baja) de luz en plantas de aceite de té, el intensidad baja mostró un incremento en el contenido de flavonoides comparado con las otras dos

intensidades.

Nocchi et al., 2020 aplicaron radiación UV-B en *Nymphoides humboldtiana* (estrella de agua), mencionan que después del día 13 de exposición el contenido de flavonoides incrementó significativamente comparado con el grupo control.

10.4 Actividad antioxidante ABT en fruto de pimiento

En la Figura (12) se muestra una diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia, específicamente en los frutos sin intermitencia lumínica en conjunto con los tratamientos de AEN. Los frutos donde se aplicó el tratamiento C1 (150 mg/L) sin intermitencia presenta mayor actividad antioxidante (ABTS) con el 80.56% de inhibición, sin embargo el tratamiento C2 también presentó un porcentaje de inhibición alto (72.37%) con respecto al control cuyo porcentaje de inhibición es de 51.60%.

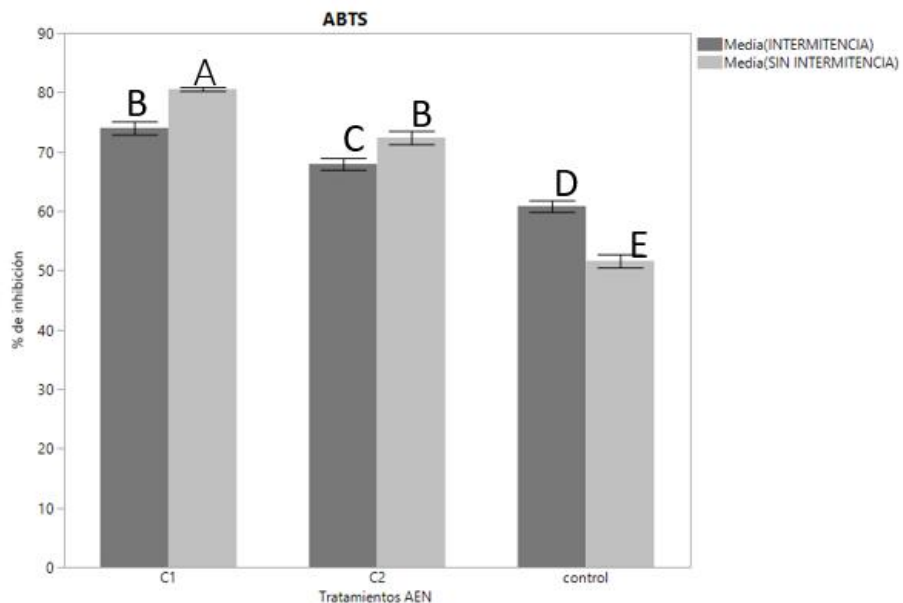


Figura 12. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante en frutos de pimiento. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$).

En los frutos con intermitencia también hubo diferencia significativa, el tratamiento C1 presentó mayor actividad antioxidante con el 74% de inhibición, mientras que el tratamiento C2 presentó una inhibición del 67.95% y el control presentó una inhibición del 60.83%. Sin embargo es importante señalar que al comparar los frutos con intermitencia y sin intermitencia hay diferencia estadísticamente significativa, ya que la actividad antioxidante es mayor en los frutos sin intermitencia, que en los frutos con intermitencia como se puede observar en la Tabla (8). La radiación era de $766.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para los frutos sin intermitencia, mientras que para los frutos con intermitencia la radiación era de $446.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en ambos casos fue el promedio de la radiación de los días en que se llevó a cabo el experimento en el invernadero.

Tabla 8. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante (ABTS) en frutos de pimiento.

Tratamientos AEN (mg/L)		% de inhibición de ABTS
0	con intermitencia	60.8
150		74.0
250		67.9
0	sin intermitencia	51.6
150		80.6
250		72.4

La capacidad antioxidante medida por ABTS está directamente relacionada con los niveles de fenoles y flavonoides totales. Dado que la luz continua y el AEN promueven la acumulación de estos compuestos, el incremento en el valor de ABTS refleja el efecto combinado de estos factores en la mejora de la calidad funcional del pimiento. El mayor contenido de ABTS en pimientos tratados con AEN y luz continua refleja cómo el estímulo ambiental y el estrés oxidativo controlado pueden optimizar la capacidad antioxidante total de las plantas.

Yan et al., 2024 aplicaron agua electrolizada ligeramente ácida en geminados de trigo sarraceno, utilizando una concentración de 30 mg/L, mostrando un incremento significativo en la capacidad antioxidante (ABTS) del 87.22% de inhibición comparado con el control.

Li et al., 2022 aplicaron AELA como elicitador en brotes de brócoli, incrementando la capacidad antioxidante significativamente comparado con el control.

Nocchi et al., 2020 aplicaron radiación UV-B en *Nymphoides humboldtiana* (estrella de agua), mencionan que después del día 13 de exposición la capacidad antioxidante (ABTS) incrementó significativamente comparado con el grupo control. Por otro lado Zhang et al., 2023 utilizaron luz pulsada (destellos de luz de alta intensidad y corta duración) en cúrcuma, mencionan que el uso de luz pulsada en bajos niveles (0,78-2,35 J/cm²) incrementa significativamente la capacidad antioxidante en comparación con el control.

10.5 Actividad antioxidante DPPH en fruto de pimiento

En la Figura (13) se muestra una diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia, específicamente en los frutos sin intermitencia lumínica en conjunto con los tratamientos de AEN. Los frutos donde se aplicó el tratamiento C1 (150 mg/L) sin intermitencia presenta mayor eficacia en la eliminación de radicales libres del DPPH con el 98.61% de inhibición con respecto al control cuyo porcentaje de inhibición es de 92.46%.

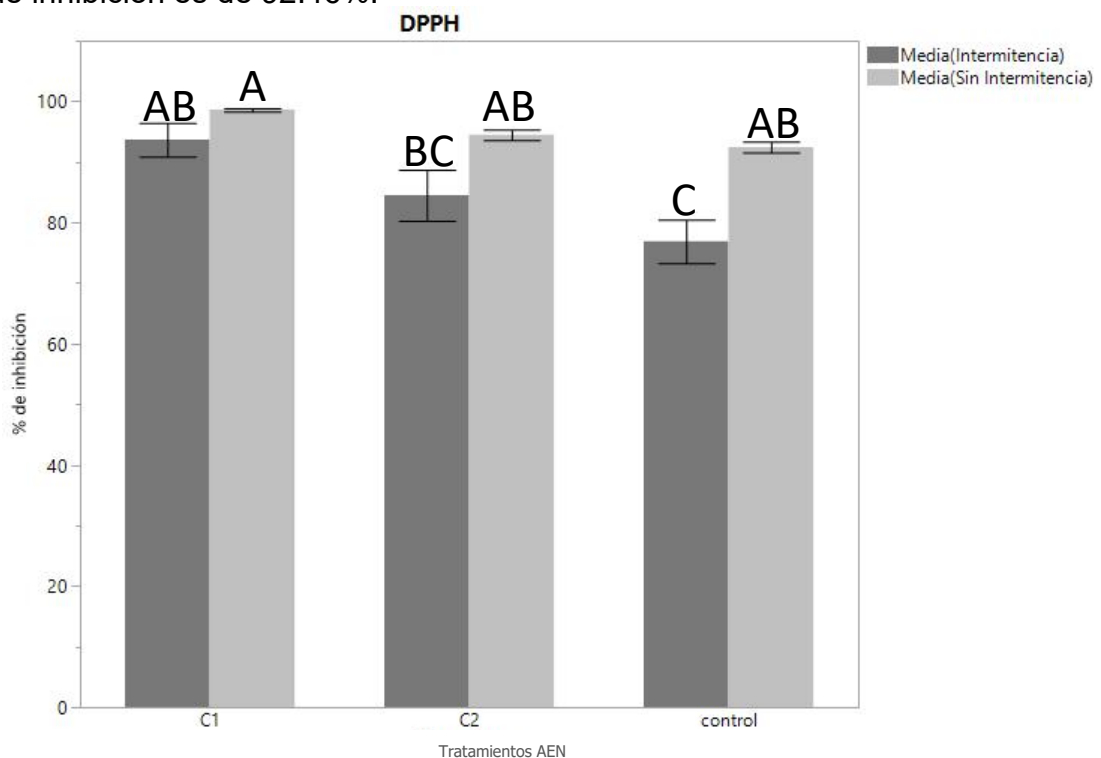


Figura 13. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante en frutos de pimiento. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$).

En los frutos con intermitencia también hubo diferencia significativa, el tratamiento C1 presentó mayor eficacia en la eliminación de radicales libres del DPPH con el 93.67% de inhibición, mientras que el tratamiento C2 presentó una inhibición del 84.52 % y el control presentó una inhibición del 76.91%. Sin embargo es importante señalar que al comparar los frutos con intermitencia y sin intermitencia hay diferencia estadísticamente significativa, ya que el porcentaje de inhibición es mayor en los frutos sin intermitencia, que en los frutos con intermitencia como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre la capacidad antioxidante (DPPH) en frutos de pimiento.

Tratamientos AEN (mg/L)		% de inhibición de DPPH
0	con intermitencia	76.9
150		93.7
250		84.5
0	sin intermitencia	92.5
150		98.6
250		94.4

La capacidad antioxidante medida por DPPH está estrechamente relacionada con el contenido de compuestos secundarios generados como respuesta a estímulos ambientales, como el estrés oxidativo. La aplicación de AEN induce un estrés oxidativo moderado al generar especies reactivas de oxígeno (ROS). Este estímulo activa rutas metabólicas como la de los fenilpropanoides, promoviendo la síntesis de antioxidantes que incrementan los valores de DPPH. En condiciones controladas, el estrés generado por el AEN no daña a la planta, sino que mejora su capacidad de respuesta antioxidante, incrementando la acumulación de compuestos con alta actividad frente al DPPH. La luz continua proporciona una fuente de energía constante que favorece una fotosíntesis sostenida. Este ambiente estable asegura un flujo continuo de metabolitos primarios necesarios para la síntesis de antioxidantes. A diferencia de la luz intermitente, la luz continua evita interrupciones en el metabolismo energético, permitiendo una acumulación más eficiente de compuestos antioxidantes que se reflejan en mayores valores de DPPH. La estabilidad de la luz continua proporciona un entorno óptimo para que la planta canalice más recursos hacia la producción de compuestos antioxidantes en lugar de adaptarse a las

fluctuaciones. El mayor contenido de DPPH en pimientos tratados con AEN y luz continua demuestra la efectividad de combinar un estrés oxidativo moderado con un régimen lumínico estable para maximizar la capacidad antioxidante del cultivo.

Chang et al., 2023 aplicaron AEA en cultivos de fruta de azufaifo en la etapa de madurez, 80 días después de la floración, utilizando una concentración de 90 mg/L, teniendo como resultado un incremento significativo en la actividad antioxidante (DPPH) del 7.5% de inhibición comparado con el control. Zhang et al., 2024 evaluaron la eficacia en la eliminación de radicales libres del DPPH en el fruto de lichi, utilizando tratamientos de AELA con una concentración de 80 mg/L, logrando una eficacia en la eliminación de radicales libres del 71% en el día 5 de aplicación comparada con los frutos no tratados.

Guoging et al., 2023 aplicaron luz intermitente en tallos de *Lentinus edodes* en un tiempo de extracción flash 120 s, incrementó de manera significativa la eliminación de radicales libres comparada con el grupo control.

10.6 Plantas y frutos de pimiento

No hubo diferencia significativa en el número de frutos entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia como se muestra en la Figura (14).

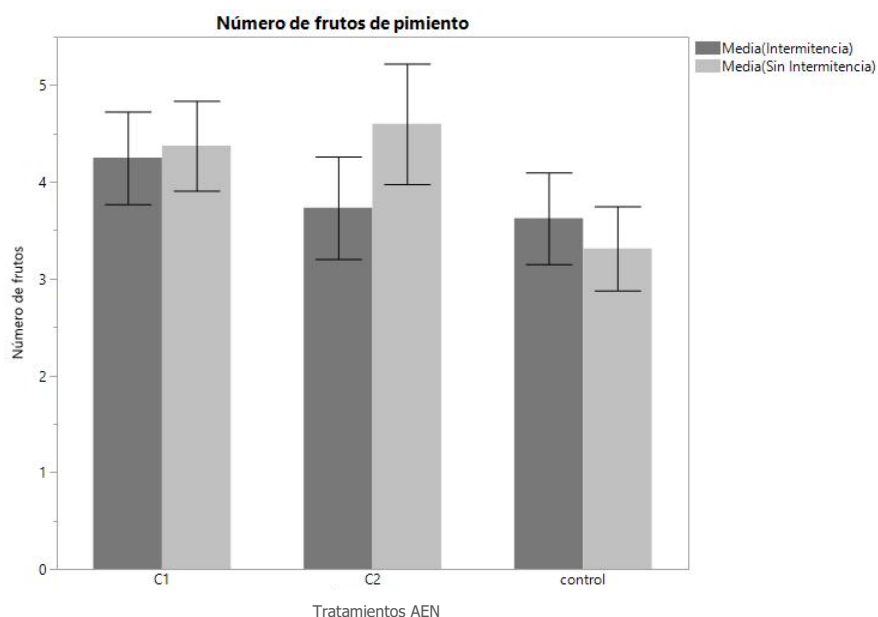


Figura 14. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica sobre el número de frutos de pimiento ($\alpha=0.05$).

En cuanto a la altura y diámetro de las plantas de pimienta no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia como se muestra en la Figura 15.

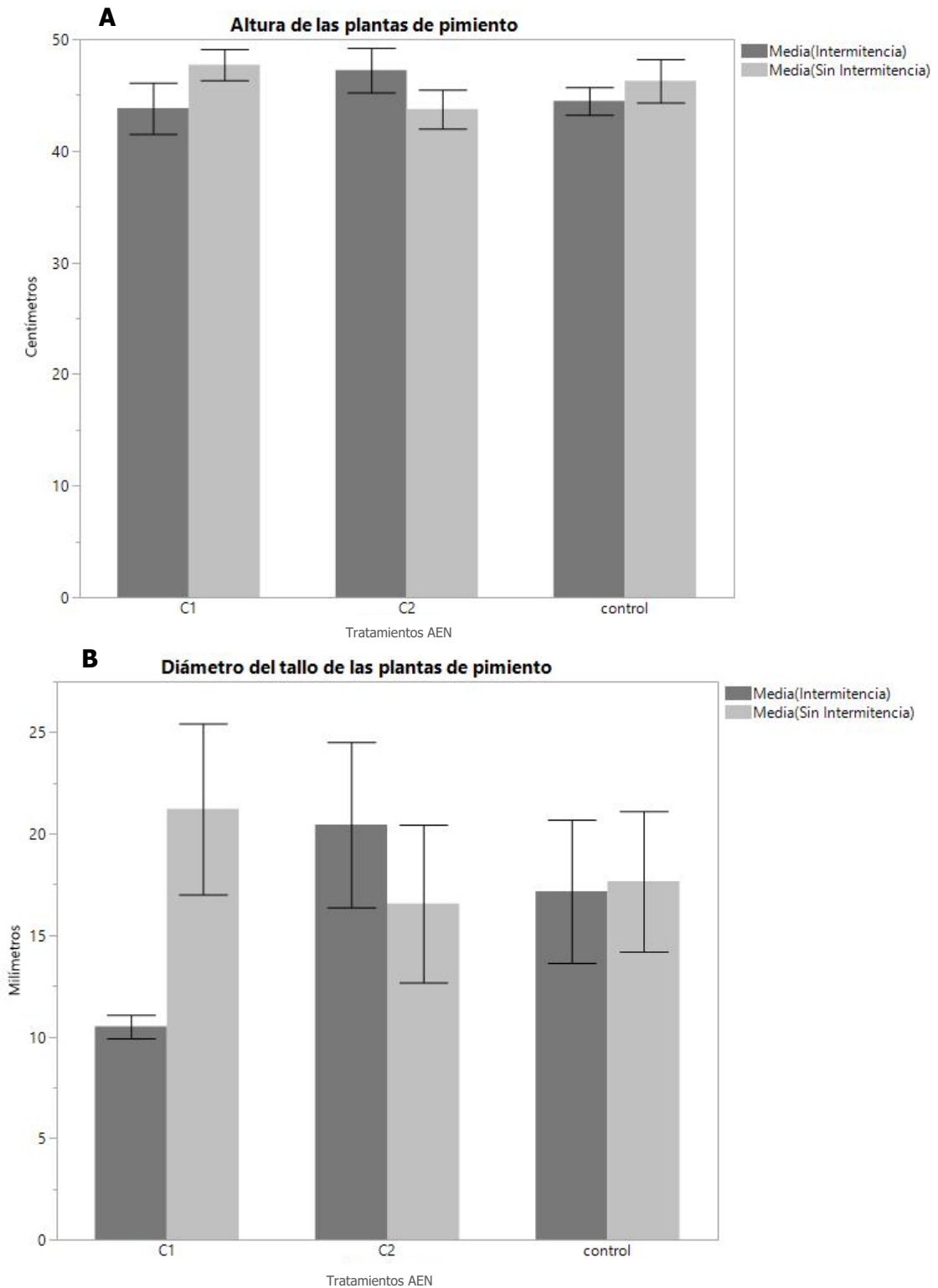


Figura 15. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia lumínica A) altura de las plantas de pimientos, B) diámetro de las plantas de pimienta ($\alpha=0.05$).

En el peso de los frutos no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia como se muestra en la Figura 16. Si bien en el tratamiento C1 se aprecia un ligero incremento en el peso, la diferencia es mínima, ya fue solo en un par de plantas donde se cosecharon frutos más grandes pero no fue en todo el cultivo.

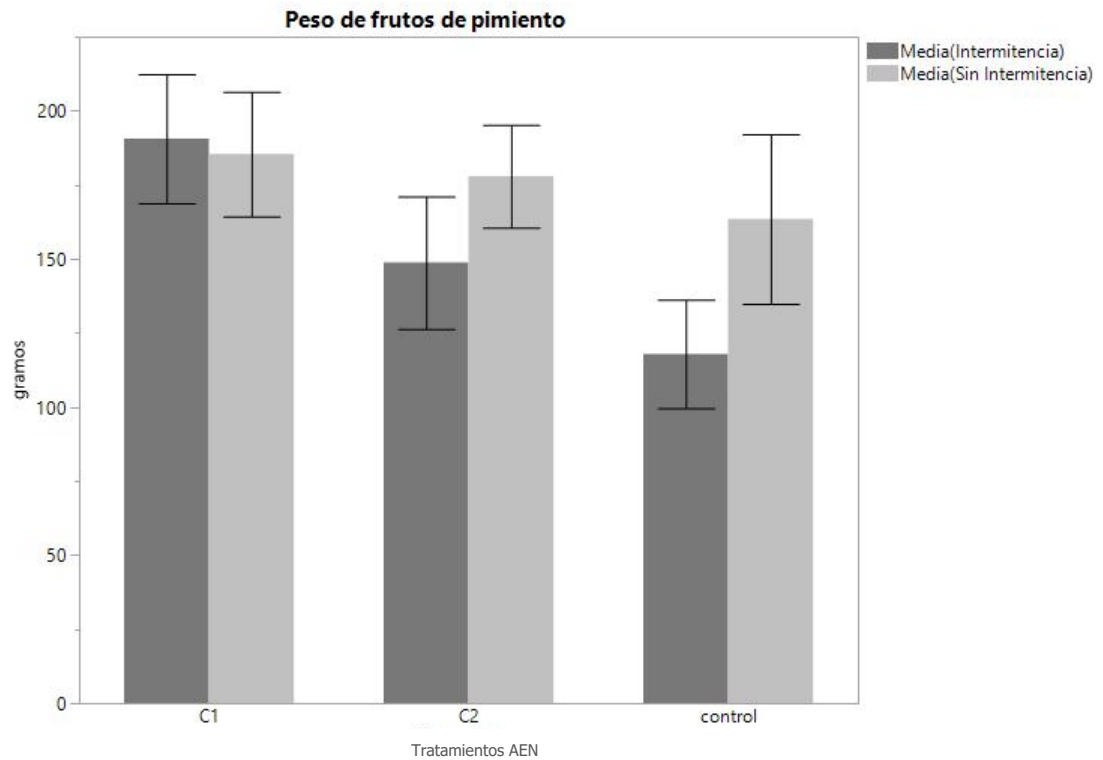


Figura 16. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia en el peso de pimiento ($\alpha=0.05$).

En el área foliar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia, en el control con intermitencia (31813) y el tratamiento C2 (250 mg/L) (18132), como se puede observar en la Figura 17.

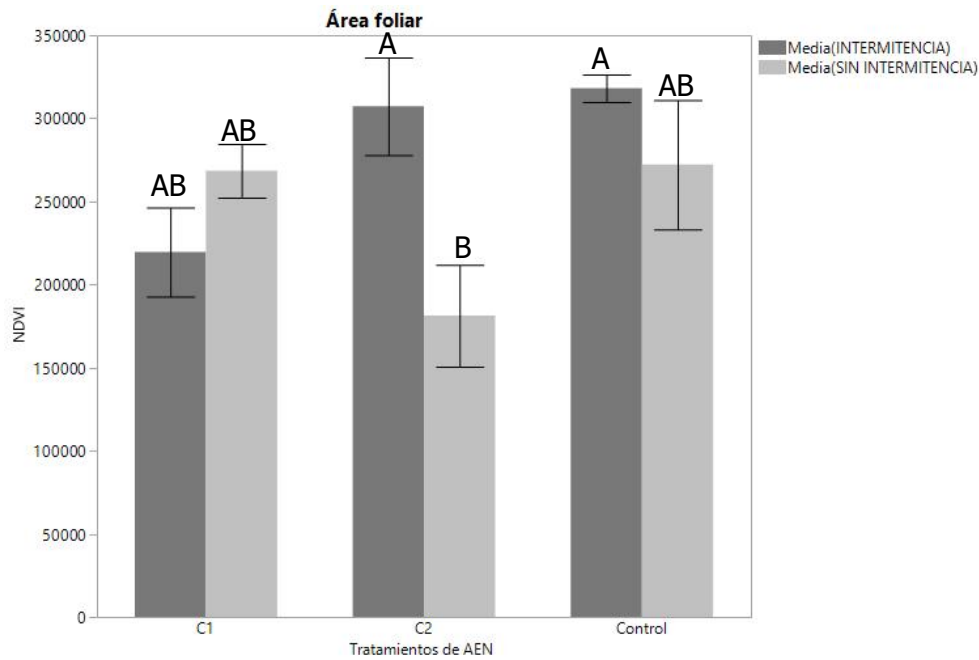


Figura 17. Efecto del AEN en conjunto con y sin intermitencia en el área foliar de las plantas de pimienta. Las letras indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

Kim et al., 2022 utilizaron iluminación complementaria en con luz roja y luz azul en un cultivo de pimienta dulce en invernadero, La interiluminación con la adición de $55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz roja lejana a $71 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz roja y azul (rojo: azul = 8:2) durante 5 meses, teniendo como resultado un incremento en el rendimiento del cultivo de 17% en comparación con el control de igual forma presentó un incremento en el área foliar de 20% comparada con el grupo control.

10.7 Pimiento

Los pimientos no presentaron anomalías en la forma del fruto en los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) y los tratamientos con y sin intermitencia a simple vista, como se muestra en la Figura (18 y 19).



Figura 18. Efecto del AEN en conjunto con intermitencia lumínica en la forma de frutos de pimiento. A) Frutos asperjados con el control, B) frutos asperjados con la concentración C1 (150 mg/L), C) frutos asperjados con la concentración C2 (250 mg/L).



Figura 19. Efecto del AEN en conjunto sin intermitencia lumínica en la forma de frutos de pimiento. A) Frutos asperjados con el control, B) frutos asperjados con la concentración C1 (150 mg/L), C) frutos asperjados con la concentración C2 (250 mg/L).

10.8 Hojas del cultivo de pimiento

En la Figura (20) se muestra una diferencia significativa en el tamaño (aunque no sustentada de forma estadística) forma, color y textura de las hojas del cultivo, con la aplicación de los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) con intermitencia. Las hojas asperjadas con el control son más pequeñas y de color verde limón, por el contrario las hojas asperjadas con el tratamiento C1 son más grandes y de color verde limón, sin embargo, en las hojas asperjadas con el tratamiento C2 las hojas presentaron unas manchas color café claro con un borde amarillento, dichas manchas empezaron a aparecer en la tercer aplicación de los tratamientos.

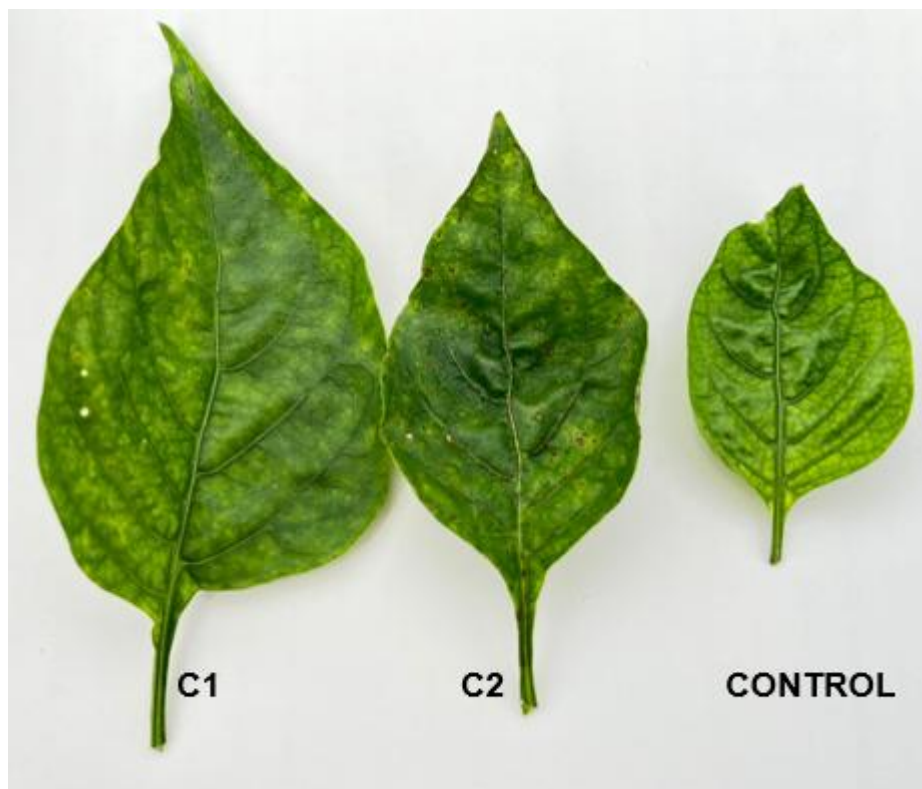


Figura 20. Efecto del AEN en conjunto con intermitencia lumínica en el tamaño, color y forma de las hojas del cultivo de pimiento.

En la Figura (21) se muestra una diferencia significativa en el tamaño (aunque no sustentada de forma estadística) forma, color y textura de las hojas del cultivo, con la aplicación de los tratamientos de AEN (0, 150 y 250 mg/L) sin intermitencia. Las hojas asperjadas con el control son de tamaño mediano, como contrario con las hojas que estaban expuestas a la intermitencia y de color verde limón, las hojas asperjadas con el tratamiento C1 son más grandes y de color verde limón muy similares a las que se les aplicó intermitencia, sin embargo, en las hojas asperjadas con el tratamiento C2 las hojas presentaron unas manchas más grandes de color café claro, las hojas eran más pequeñas a diferencia de las plantas que estaban expuestas a la intermitencia lumínica, de igual forma las manchas empezaron a aparecer en la tercer aplicación de los tratamientos.

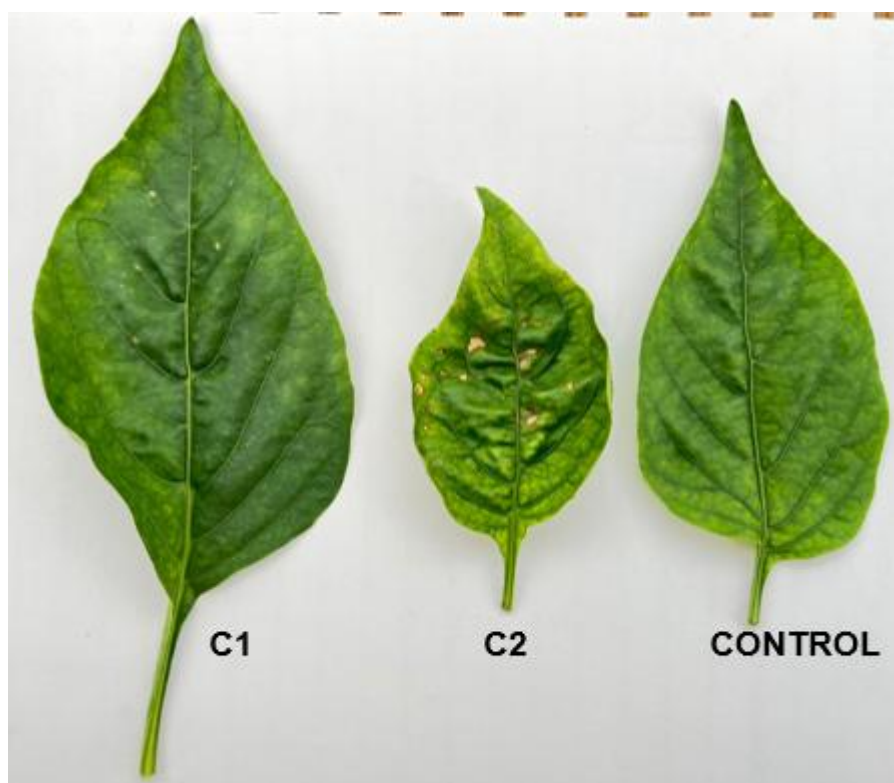


Figura 21. Efecto del AEN en conjunto sin intermitencia lumínica en el tamaño, color y forma de las hojas del cultivo de pimiento.

11. CONCLUSIONES

El uso de agua electrolizada neutra y la intermitencia de luz son estrategias complementarias que ofrecen mejoras en la productividad, sanidad y calidad del cultivo de pimiento en invernadero. Estas técnicas ayudan a reducir la dependencia de productos químicos, mejorar la calidad de los frutos y optimizar los recursos, contribuyendo a una agricultura más sostenible y competitiva.

Aunque la información sobre el uso de AEN e intermitencia de luz en la germinación es escasa, este estudio proporciona información sobre el efecto del estrés abiótico (intermitencia de luz) y biótico (AEN) en la germinación de semillas de pimiento, donde el mejor resultado fue C1 (150 mg/L) en semillas germinadas de manera *in vitro* e *in vivo*.

En este estudio, C1 fue el mejor tratamiento para el contenido de fenoles y flavonoides totales, ABTS, DPPH y área foliar tanto en los frutos y las plantas con ambos tratamientos de luz (intermitente y continua). Sin embargo al comparar los resultados entre los tratamientos de luz, el mejor tratamiento fue luz continua, excepto para el contenido de fenoles totales, ya que el mayor contenido se registró en los frutos con intermitencia de luz con respecto al control.

Los resultados confirman que al utilizar de manera conjunta el AEN y la intermitencia de luz en el cultivo de pimiento influyen en la producción de fenoles totales, al igual que en su actividad biológica, teniendo un mayor contenido con respecto al control.

Si bien el uso en conjunto de AEN e intermitencia de luz en el cultivo de pimiento favoreció el contenido de flavonoides totales al igual que su actividad biológica y el área foliar con respecto al control, el contenido de flavonoides totales fue mayor en las plantas sin intermitencia, ya que la exposición a la luz directa aumenta su concentración.

No hubo diferencia significativa estadísticamente en las variables morfológicas (altura y diámetro) ni en la producción del cultivo (número y peso de frutos) en la aplicación de los tratamientos de luz y AEN con respecto al control.

En cuanto a la forma y color de los furos no hay diferencia visual aparente, caso contrario con las hojas, ya que si hay diferencia significativa visual aparente en el tamaño, color y textura, falta hacer más análisis a las hojas para poder determinar a qué se debe la variación de color, tamaño y textura en las hojas.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afiyanti, M., & Chen, H. J. (2014). Catalase activity is modulated by calcium and calmodulin in detached mature leaves of sweet potato. *Journal of Plant Physiology*, 171(2), 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.003>.
- Al Sahil, A. A. (2016). Effect of Gibberellic and Salicylic Acids Pre-Soaking on Seed Germination Attributes of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) under Induced Salt Stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 49(1), 99–109. doi.org/10.1515/cerce-2016-0009
- 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. doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.048
- Arena, M. E. (2016). *Estudio de algunos fenómenos morfofisiológicos 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.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fundamentos deFisiologiaVeget al2008Azcon.pdf>
- Blanchard, M. G., & Runkle, E. S. (2010). Intermittent light from a rotating high-pressure sodium lamp promotes flowering of long-day plants. *HortScience*, 45(2), 236-241.
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(24), 6975-6980.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDERSSA]. (2020). Análisis de la producción y consumo de hortalizas.

http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis_produccio%CC%81n_consumo_hortalizas.pdf

CEDEPAS-INAGRO. 2003. "Cultivo de pimiento y ajíes". Manual del productor. Guía didáctica Volumen: 1-004.

Czarnocka, W., & Karpiński, S. (2018). Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. *Free Radical Biology and Medicine*, 122, 4-20. doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011

Dzib-Ek G., Villanueva-Couoh, E., Garruña-Hernández, R., Vergara Yoisura, S., & Larqué-Saavedra, A. (2021). Efecto del ácido salicílico en la germinación y crecimiento radicular del tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(4), 735-740.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2022. Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícola. FAOSTAT. Informe Estadístico.

Field, C, Mooney, HA. (1983). Leaf age and seasonal effects on light, water, and nitrogen use efficiency in a California shrub. *Oecologia* 56: 348-355.

Fernández, E. J. C. (2021). *Efecto de peróxido de hidrógeno como agente preventivo en enfermedades de pimiento (Capsicum annuum)*. [Tesis de doctorado, Universidad Agraria del Ecuador]. Cia.uagraria.edu.ec. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CULQUE%20FERNANDEZ%20ELVIS%20JOE .pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CULQUE%20FERNANDEZ%20ELVIS%20JOE.pdf)

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>

Griffin, JJ, Ranney, TG, Pharr, DM. (2004). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and carbohydrate content of *Illicium taxa* grown under varied irradiance. *J Am Soc Hort Sci* 129: 46–53.

Gundogdu, M. (2013). Determination of antioxidant capacities and biochemical compounds of *Berberis vulgaris* L. fruits. *Adv Environ Biol* 7 (2): 344-348.

Gutiérrez, D., Ortiz, C., Cisneros, A. (2008). Medición de Fenoles y Actividad

Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. Universidad Autónoma de Querétaro.

Guoqing, S. H. I., Linxiao, Y. A. N. G., Meijuan, L. I., Na, K. O. N. G., Huanhuan, J. I. A., & Li, S. H. I. (2023). Estudio sobre la tecnología de extracción flash y la actividad antioxidante de los polisacáridos a partir de tallos frescos de *Lentinus edodes*. *Alimentos y Maquinaria*, 39(8), 186-191.

Gómez Jaimes, R., Villarreal Barajas, T., Vázquez López, A., Arteaga Garibay, R. I., & Osuna García, J. A. (2017). Actividad esporicida de la solución electrolizada con pH neutro en hongos de importancia poscosecha. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 3993-4007.

Groeger, G., Quiney, C., & Cotter, T. G. (2009). Hydrogen peroxide as a cell-survival signaling molecule. *Antioxidants & redox signaling*, 11(11), 2655-2671. doi.org/10.1089/ars.2009.2728

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

Hayat, S., Ahmad, H., Ali, M., Ren, K., & Cheng, Z. (2018). Aqueous garlic extract stimulates growth and antioxidant enzymes activity of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Scientia Horticulturae*, 240(June), 139–146. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.011

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. doi:10.1016/j.japr.2020.04.001

Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Elsevier.

Kim, D., Moon, T., Kwon, S. *et al.* La iluminación complementaria con luz adicional de rojo lejano a rojo y azul aumenta el crecimiento y el rendimiento de los pimientos dulces de invernadero (*Capsicum annuum L.*) en invierno. *Hortic.*

Medio ambiente. Biotecnología. **64**, 83–95 (2023).

<https://doi.org/10.1007/s13580-022-00450-6>

Kondrateva, N., Filatov, D., Bolshin, R., Krasnolutsckaya, 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 (Vol. 935, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

Larson, RA. (1988). The antioxidants of higher plants. *Phytochem* 27: 969-978.

Li, L., Hao, J., Song, S., Nirasawa, S., Jiang, Z., & Liu, H. (2018). Effect of slightly acidic electrolyzed water on bioactive compounds and morphology of broccoli sprouts. *Food Research International*, 105, 102–109. <http://doi:10.1016/j.foodres.2017.10.052>

Li, T., & Yang, Q. (2015). Advantages of diffuse light for horticultural production and perspectives for further research. *Frontiers in Plant Science*, 6, 704.

Li, L., Sun, Y., Liu, H., & Song, S. (2022). The increase of antioxidant capacity of broccoli sprouts subject to slightly acidic electrolyzed water. *Food Bioscience*, 49, 101856. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101856>.

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, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.021>

Liu R, He X, Shi J, Nirasawa S, Tatsumi E, Li L, et al. (2013). Effect of electrolyzed water on decontamination, germination and γ -aminobutyric acid accumulation of brown rice. *Food control*, 33:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.008>

Luckwill, LC y Lloyd-Jones, CP (1960). Metabolismo de los reguladores del crecimiento vegetal: i. Ácido 2,4-diclorofenoxiacético en hojas de grosello rojo y negro. *Anales de Biología Aplicada*, 48(3), 613-625. doi.org/10.1111/j.1744-7348.1960.tb03563.x

Macías, A. M., & García, Y. L. S. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941-2021). *Observatorio medioambiental*,

(24), 195-228.

Maroto, J. V. (1986). Horticultura herbácea especial. Madrid: Ediciones *Mundi-Prensa*. p. 389. [ISBN 84-7114-120-5](#).

Martinez-Aguirre CA, Zambrano-Demera YE y Pluas-Mora RJ (2020). Fotosíntesis artificial. Una tecnología de la revolución energética. *Dominio de la ciencia* 6:151-159.

Millan-Almaraz, J. R., Torres-Pacheco, I., Duarte-Galvan, C., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Romero-Troncoso, R. de J., & Rivera-Guillen, J. R. (2013). FPGA-based wireless smart sensor for real-time photosynthesis monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 95, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.009>

Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, 9(7).doi.org/10.3390/agronomy9070382

Milla, A. (1996). Capsicum de capsas, cápsula: el pimiento. *Pimientos*, 21-32.

Mendoza-García, A. K., Grimaldos-García, B. A., & Monsalve-Patiño, D. (2019). *Evaluación de la efectividad del agua electrolizada para desinfección de instrumental quirúrgico*. [Tesis de grado, Universidad de Santander]. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1075>

Nocchi, N., Duarte, H. M., Pereira, R. C., Konno, T. U. P., & Soares, A. R. (2020). Efectos de la radiación UV-B sobre la producción de metabolitos secundarios, actividad antioxidante, fotosíntesis e interacciones herbívoras en *Nymphoides humboldtiana* (Menyanthaceae). *Revista de Fotoquímica y Fotobiología B: Biología*, 212, 112021.

Pérez-Salinas, J. E., Rodríguez, F. R., López-Santos, A., Torres-González, J. A., Meraz-Jiménez, A. D. J., Díaz-Romo, A., & Valdivia-Martínez, O. (2019). Erodabilidad y riesgo de erosión de suelos negros del centro de México: estudio de un Phaozem. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 391-400.

Pianpian Yan, Simon Okomo Aloo, Lingyue Shan, Akanksha Tyagi, Deog Hwan Oh. (2024). Effects of slightly acidic electrolyzed water on safety, antioxidant activity, and metabolite profile of buckwheat sprouts (*Fagopyrum* spp.), *Journal of Cereal Science*, Volume 118,103969, ISSN 0733-

5210, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103969>.

Poli, G., Leonarduzzi, G., Biasi, F., & Chiarpotto, E. (2004). Oxidative stress and cell signalling. *Current medicinal chemistry*, 11(9), 1163-1182. doi.org/10.2174/0929867043365323

Reséndiz-Melgar R. C.; Moreno-Pérez E.; Sánchez-Del Castillo F.; Rodríguez-Pérez J. E.; Peña-Lomelí A. 2010. Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16: 223-229.

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*, 13(SPE27), 11-21.

Rui, L., Jianxiong, H., Haijie, L., & Lite, L. (2011). Application of electrolyzed functional water on producing mung bean sprouts. *Food Control*, 22(8), 1311–1315. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.02.005>

Statista Research Department (2024). *El sector agrícola en México – Datos estadísticos*. Statista. <https://www.statista.com>

Smirnov, N. y Arnaud, D. (2019). Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants. *New Phytologist*, 221 (3), 1197-1214. doi.org/10.1111/nph.15488

Toscano, S., Ferrante, A., Leonardi, C., & Romano, D. (2018). PAL activities in asparagus spears during storage after ammonium sulfate treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 140(February), 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.010>

Urquieta, y. H., castro, m. E., caballero, n. A., & melendez, f. J. (2024). Fotosíntesis: un maravilloso, sorprendente y desafiante proceso. *Rd-icuap*, 177-187.

Vvedenskaya, IO, Vorsa, N 2004. Flavonoid composition over fruit development and maturation in American cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait. *Plant Sc* 167: 1043-1054.

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>

Youssef, S., Abd Elhady, S., Abu El-Azm, N., & El-Shinawy, M. (2017). Foliar Application of Salicylic Acid and Calcium Chloride Enhances Growth and Productivity of Lettuce (*Lactuca sativa*). *Egyptian Journal of Horticulture*, 44(1), 1–16. doi.org/10.21608/ejoh.2017.892.1000

Wu, Y., Zhang, L., Zhang, Y. *et al.* Funciones de las enzimas antioxidantes, metabolitos secundarios y lípidos en la adaptación a la luz de la planta de aceite de té (*Camellia oleifera* Abel). *J Plant Growth Regul* **43**, 2209–2223 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11256-4>

Xiaojie Chang, Yueguang Liang, Fei Shi, Tianjing Guo, Yu Wang. (2023). Biochemistry behind firmness retention of jujube fruit by combined treatment of acidic electrolyzed water and high-voltage electrostatic field, *Food Chemistry: X*, Volume, 19,100812, ISSN 2590-1575, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100812>.

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(7830546), 3.

Zenil-Lugo, N., Colinas-León, M. T., Bautista-Bañuelos, C., Vázquez-Rojas, T. R., Lozoya-Saldaña, H., & Martínez-Damián, M. T. (2014). Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH/ABTS en rosas en soluciones preservantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 1029-1039.

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, H. A., Pratap-Singh, A., & Kitts, D. D. (2023). Efecto de la luz pulsada sobre la curcumina, la estabilidad química y la capacidad antioxidante. *Plos uno*, 18(9), e0291000.

Zhang, J., Chen, X., Liu, Q., Li, M., Feng, S., Lin, M., ... & Lin, H. (2024). Slightly acidic electrolyzed water treatment enhances the quality attributes and

the storability of postharvest litchis through regulating the metabolism of reactive oxygen species. *Food Chemistry: X*, 23, 101644.

Zhishen, J, Mengcheng, T, Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.

