

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto del Tratamiento con Luz LED Ultravioleta A en la Germinación y
Parámetros de Calidad Fisiológica en Semillas de Maíz (*Zea mays L.*)

Por:

WENDY SHERLIN VEGA LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto del Tratamiento con Luz LED Ultravioleta A en la Germinación y
Parámetros de Calidad Fisiológica en Semillas de Maíz (*Zea mays L.*)

Por:

WENDY SHERLIN VEGA LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Josué Israel García López
Asesor Principal




M.C. Eddalíz García Reyes
Asesora Principal Externa



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel,
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Wendy Sherlin Vega-López

AGRADECIMIENTOS

A mi padre **DIOS**, quien ha guiado mis pasos para llegar hasta aquí, porque su tiempo siempre es perfecto. Ha sido mi refugio en los momentos de incertidumbre, y siempre me ha mostrado que después de la adversidad, llega la claridad y la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, **Macrina y Nicolás**, que me han apoyado en cada cosa que hago, por su confianza y haberme dado la libertad de salir de casa para poder lograr mis sueños. Porque han trabajado mucho y sacrificado tiempo de su vida para poder ofrecernos una vida mejor a mis hermanos y a mí. Tengo una deuda impagable con ustedes.

A mis hermanos, **Jennifer, Norma y Fabián** con quienes tuve la gran bendición de crecer, y de quienes he aprendido muchas cosas. Les agradezco que nunca me han dejado sola, que a pesar de todo me apoyan y por creer en mí y en mis sueños.

A **Ricardo**, por compartir los últimos 8 años de su vida a mi lado, porque me ha dado un hombro para llorar cuando lo necesitaba, por sus consejos, por alentarme siempre que pienso en desistir, por estar aún a la distancia, por confiar en mí y por su paciencia.

A mis amigas **Melissa y Cielo**, que siempre me apoyan y están ahí cuando regreso a casa.

A mis amigos, **Chuy, Miguel y Yolo**, con quienes cuento siempre y me dejaron compartir esta etapa juntos.

A mi **ALMA MATER**, por haberme dado tantas oportunidades realizar mis estudios y conocer el mundo.

Al **EIIPP de la UAAAN**, donde viví grandes experiencias y conocí grandes personas.

A la **M.C. Eddalíz García**, por permitirme ser su primera asesorada de tesis, por todo el conocimiento que compartió conmigo, por alentarme, por la paciencia y dedicación para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Josué García**, por haberme considerado para trabajar un proyecto de tesis con él.

A toda persona, familiar, amigo, conocido que me ha ayudado a lo largo de mi carrera. Pero agradezco más a las personas que sin conocerme me brindan de su apoyo, y me dan palabras de aliento, admiración o confianza.

DEDICATORIAS

A mi mamá, **Macrina**, que es un ejemplo a seguir para mí. Sé que su vida ha sido llena de sacrificios y a pesar de eso, nunca se ha rendido, admiro tanto lo mucho que trabaja por nosotros. Por su amor incondicional y haber hecho de mi lo que hoy soy. Porque me reflejo en ella y estoy sumamente orgullosa de eso.

A mi papá, **Nicolás**, quien sacrificó años de su vida lejos de nosotros para poder darnos siempre lo mejor. Porque siempre está para mí, y porque, con su ejemplo nos enseñó que las cosas únicamente se logran trabajando. De él aprendí la disciplina, la determinación y su forma de enfrentar la vida con firmeza.

A mi abuelo **Jesús †** que partió de este mundo y dejó su fé puesta en mí para que terminara una carrera, su confianza fue para mí un motor constante. Aunque no pude despedirme de él, hoy honro su memoria cumpliendo el compromiso que un día sembró en mi corazón.

A mi hermano **Fabián**, mi hermano mayor, un gran ejemplo a seguir para mí, por ser un hombre tan noble y trabajador, sé que confía en mí y eso ha sido motivo para seguir.

A mi hermana **Norma**, por apoyarme y quererme siempre porque sigo siendo su “bebé”.

A mi hermana **Jennifer**, mi niña, que me inspira a seguir adelante para darle lo mejor y poder ser un ejemplo para ella.

A mi sobrino **Ángel**, quien ha sido una gran motivación para mi desde que llegó a este mundo, espero la vida me alcance para verlo realizando todos sus sueños.

A **Ricardo**, mi otra mitad, con quien espero seguir haciendo un gran equipo por lo que reste de vida.

A **Melissa, Chuy, Yolo, Cielo y Miguel**, amigos de verdad que han sido luz en los momentos más oscuros de mi vida, quiero que permanezcan siempre acompañándome.

A mí porque no me rendí cuando todo parecía difícil; por cada paso, cada intento, cada desvelo. Por creer, por seguir y por llegar hasta aquí. Porque también me lo debo a mí, porque todo el esfuerzo ha valido la pena.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. HIPÓTESIS	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
4.1. Importancia del cultivo	3
4.1.1. Producción a nivel mundial	3
4.1.2. Producción a nivel nacional	3
4.1.3. Importancia alimenticia	3
4.2. Germinación	4
4.3. Vigor en semillas.....	4
4.4. Tipos de tratamientos pre siembra.....	4
4.4.1. Escarificación.....	4
4.4.2. Priming.....	5
4.4.3. Bioestimulantes.....	5
4.4.4. Cebado Osmotico	6
4.4.5. Peletización (con polímeros, nutrientes, pesticidas entre otros)	6

4.4.6. Inoculantes	7
4.4.7. Fungicidas e insecticidas	7
4.4.8. Irradiación con Luz LED.....	7
4.5. Luz LEDs	8
4.5.1. Empleo de iluminación LED en agricultura	8
4.5.2. Influencia de la luz LED en el crecimiento vegetal.....	8
4.5.3. Infuencia de los colores de LED sobre las plantas	9
4.5.4. Efecto de la irradiación LED UV-A.....	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Localización del estudio.....	11
Recurso biológico vegetal.....	11
Diseño del experimento	11
Establecimiento del bioensayo	11
Exposición a la luz ultravioleta.....	11
Siembra en papel anchor.....	12
Análisis del bioensayo	13
Vigor de semillas germinadas.....	13
Porcentaje de semillas germinadas	13
Porcentaje de plántulas anormales.....	14
Porcentaje de semillas muertas	14
Altura media de plúmula	14
Altura media de radícula	14
Biomasa (peso seco de radícula y plúmula)	14
Evaluación del bioensayo	15

VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
VII.	CONCLUSIONES.....	25
VIII.	RECOMENDACIONES	26
IX.	BIBLIOGRAFÍA	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas del bioensayo de germinación de semillas de maíz expuestas a diferentes tiempos bajo luz LED UV-A.	16
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la irradiación LED UV-A en semillas de maíz (<i>Zea maiz L.</i>). 10	10
Figura 2. Disposición de las semillas de maíz (<i>Zea mais L.</i>) para prueba de germinación estándar “entre papel”.	12
Figura 3. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de vigor en semillas de maíz (<i>Zea mais L.</i>) expuestas diferentes tiempos a luz LED UV-A.	17
Figura 4. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable semillas germinadas en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto diferentes tiempos a luz LED UV-A. 18	18
Figura 5. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de plántulas anormales en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.....	19
Figura 6. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de semillas muertas en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.	20
Figura 7. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de altura media de plúmula en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.	21
Figura 8. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable altura media de radícula en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.	22
Figura 9. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable peso seco de plúmula en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.	23
Figura 10. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable peso seco de radícula en maíz (<i>Zea maiz L.</i>) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.	24

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el efecto que tiene la irradiación de la luz LED ultravioleta tipo A (UV-A) sobre la germinación y distintos parámetros de calidad fisiológica en semillas de maíz (*Zea maízG L.*). Se utilizaron 0, 5, 10 y 15 minutos como tiempo de irradiación, aplicados a una variedad criolla mejorada (AN-447). Posteriormente, las semillas fueron sometidas a una prueba estándar de germinación en cámara controlada. Se cuantificaron variables fisiológicas como porcentaje de germinación, vigor, plántulas anormales, semillas sin germinar, altura media de radícula y plúmula, así como peso seco de ambas estructuras.

Pudo demostrarse que la luz LED UV-A influyó significativamente en varias variables, destacando que la exposición durante 10 minutos elevó el porcentaje de semillas que iniciaron su desarrollo y disminuyó el número de plántulas anormales. También se observaron mejoras en la longitud y peso seco de radícula bajo tiempos intermedios de irradiación, mientras que exposiciones más prolongadas no generaron beneficios adicionales. En contraste, el vigor no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos.

Los hallazgos evidencian que exposiciones cortas y controladas de luz UV-A pueden inducir respuestas fisiológicas favorables durante las etapas iniciales del desarrollo, mejorando parámetros clave para el establecimiento del cultivo. Esto sugiere que la radiación UV-A podría implementarse como tratamiento pre siembra alternativo para optimizar la calidad fisiológica de la semilla de maíz.

Palabras clave: Luz LED UV-A; Germinación; Vigor; *Zea maiz L.*; Tratamiento pre siembra.

I. INTRODUCCIÓN

En 2023, se produjeron más de 1.5 billones de toneladas de maíz en el mundo, en un total de 252.49 millones de hectáreas cosechadas, siendo Estados Unidos, China, Brasil y Argentina los que encabezan la lista (FAO, 2023). México es el sexto productor a nivel mundial de maíz grano, con un rendimiento anual, en 2023, de más de 27.5 millones de toneladas, siendo Sinaloa, Jalisco y Guanajuato los principales contribuyentes a la producción del país, a pesar de ello, México importa más de 19 millones de toneladas de maíz, principalmente de Estado Unidos y Brasil, esto representa un aumento en las importaciones de 21.2% en lo últimos diez años. El grano amarillo y blanco son los más utilizados para consumo humano y en la industria, con una disponibilidad anual per capita de 359.9 kg y representado el 87.8% de los granos producidos en México (SIAP, 2023). El maíz es un producto utilizado en varias industrias, principalmente en la alimentaria, como harina de maíz, ultraprocesados y alimentación de ganado, además de tener aplicaciones en otros sectores industriales (Golik *et al.*, 2018). Sin embargo, en México y otros países de latinoamérica, tiene un gran peso cultural ya que fue el alimento principal en la época prehispánica y se puede considerar como uno de los factores que provocaron el tránsito de sociedades nómadas a sedentarias (Mazón *et al.*, 2012). Cuando se propagan cultivos mediante semilla, como el maíz, la germinación se vuelve en el proceso fisiológico más crucial para su éxito en campo, ésto va depender de la permeabilidad de la testa y la viabilidad y latencia del embrión, por ello, los tratamientos pre germinación se vuelven en una práctica muy importante para que la inversión depositada en esta semilla se maximice (Varela & Arana, 2010). El uso de tratamientos pre-siembra no químico, como el hidro cebado y osmo cebado estimulan la activación metabólica de las semillas sin dañar los embriones y dando resultado, en velocidad y uniformidad de germinación de hasta 50% más con respecto con semillas que no se le realizan ningún tratamiento (Yaseen *et al.*, 2022).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la luz LED Ultravioleta A (UV-A) sobre la germinación y distintos parámetros de calidad fisiológica de las semillas de maíz.

2.2. Objetivos específicos

Determinar el porcentaje de germinación de semillas expuestas a diferentes tiempos bajo luz LED UV-A

Evaluar los parámetros fisiológicos (porcentaje de anomalías en plántulas, semillas muertas, longitud y peso seco de plúmula y radícula) de las plántulas de maíz tratadas con luz LED UV-A, para determinar el tiempo de exposición que favorece al desarrollo de las plántulas.

Evaluar diferentes tiempos de exposición a la luz LED UV-A para determinar el periodo de irradiación que favorece en mayor medida a la emergencia y parámetros de calidad fisiológica en semillas de maíz.

III. HIPÓTESIS

H₀: El tratamiento con luz LED ultravioleta A no afecta significativamente la germinación ni el desarrollo de las semillas de maíz.

H₁: El tratamiento con luz LED ultravioleta A afecta significativamente la germinación y al desarrollo de las semillas de maíz.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia del cultivo

4.1.1. Producción a nivel mundial

El maíz ocupa el segundo lugar de cereales más cultivados a nivel mundial, superado únicamente por el trigo. Cada año se siembran alrededor de 197 millones de hectáreas. Se prevé que para el año 2030 se convierta en el cereal más cultivado a nivel mundial, impulsado por el incremento en los rendimientos y superficie cultivada. Estados Unidos con 361 millones de toneladas y China con 259 millones de toneladas son líderes en producción de maíz, y representan la mayor parte de la producción global. (Erenstein *et al.*, 2022). Lo que equivale a un valor aproximado de 121 mil millones de dólares anuales.

4.1.2. Producción a nivel nacional

Para 2023, el área sembrada en México ascendió a más de 6.5 millones de hectáreas para producción de grano y 549 mil hectáreas de maíz destinado a forrajes, siendo Jalisco la entidad que más cultiva de este cereal (4.5 millones de toneladas de maíz forrajero y 3.5 millones de toneladas para maíz grano) los rendimientos para maíz de grano llegaron a ser de 4.3 t/ha, mientras que para forraje se alcanzaron las 33.6 t/ha (DGSIA, 2024).

4.1.3. Importancia alimenticia

Solo un 13% de la producción de maíz está orientada al consumo directo (en alimentos procesados y sin procesar). Sin embargo, una proporción considerable se transforma en productos de origen animal, lo que representa una vía indirecta de consumo. Además, subproductos del grano y del cultivo, como el rastrojo y ensilado, se emplean ampliamente en la alimentación animal, lo que contribuye a la obtención de productos con mayor valor nutritivo que el propio grano (Erenstein *et.al.* 2022).

4.2. Germinación

La germinación constituye una fase fundamental en el desarrollo de las plantas, pues representa el inicio de su crecimiento y desarrollo. Durante este proceso, que es altamente dinámico, se activan diversas enzimas, la semilla absorbe agua y nutrientes y finalmente aparece la radícula (Iqbal, 2023). Factores como la luz, el agua, la humedad, la disponibilidad de nutrientes y la genética afectan el proceso de germinación (Ramlal, 2025). La germinación comienza cuando la semilla absorbe agua (imbibición) y concluye cuando una parte del embrión rompe las estructuras que la recubren y logra emerger (Matilla,2008). Las semillas que germinan con rapidez suelen mostrar una mejor capacidad de emergencia, un crecimiento uniforme y una mayor tolerancia a condiciones adversas, plagas y enfermedades, lo que mejora el rendimiento agronómico (Liu,2025).

4.3. Vigor en semillas

El vigor, es la capacidad que tienen las semillas viables para establecer plántulas fuertes (Finch-Savage, 2016). Está directamente relacionado con la generación de energía y la elaboración de compuestos esenciales, tales como material genético, azúcares y grasas, procesos que dependen de los procesos celulares y el uso eficiente de las reservas internas (Navarro, 2015). Las semillas con alto vigor utilizan una estrategia de evasión de del estrés estableciendo plántulas de forma rápida antes de que las condiciones de suelo empeoren, este mecanismo se basa en una germinación acelerada tras la siembra, un desarrollo veloz de las raíces para acceder a la humedad que disminuye y un crecimiento ascendente del brote que les permite emerger pronto a la superficie (Reed,2022).

4.4. Tipos de tratamientos pre siembra en semillas

4.4.1. Escarificación

La latencia de semillas ha sido objeto de estudio para diversos grupos de investigadores, evaluando los diferentes tipos de escarificación para poder

suprimirla. La escarificación consiste en la remoción o debilitamiento del tegumento, aumentando la capacidad de absorción de la cubierta seminal, facilitando la imbibición para promover la germinación (Giovanetti *et al.*, 2024). Existen diferentes tipos de escarificación; desde la inmersión en ácidos, comúnmente, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, etc; tratamientos térmicos; tratamientos con radiación, radiofrecuencias, remoción del endospermo etc (Chia *et al.*, 2022). Sin embargo, el éxito de este método dependerá de condiciones externas como iluminación, temperatura, oxígeno, así como del agua, y de los componentes internos de la semilla, tales como contenido de fitohormonas, etapa de maduración de la semilla (Górnik *et al.*, 2023).

4.4.2. Priming

El cebado o “priming” de semillas, es un método de tratamiento pre-siembra utilizado para mejorar y potencializar los procesos fisiológicos y bioquímicos de las semillas, desencadenando una serie de procesos bioquímicos dentro de la semilla, activando enzimas, sintetizando sustancias que inducen el crecimiento, activando células y degradando sustancias que inhiben la germinación, aumentando el vigor, uniformidad de emergencia y establecimiento de las plantas (Khan *et al.*, 2024). Existen tres fases en el método de priming, la fase uno es la imbibición, en la cual, la semilla absorbe agua, hidratándose y activando el metabolismo; en la segunda fase, la semilla pierde agua, el ADN se repara, la síntesis de enzimas y ARN aumenta, además, la membrana celular se repara; para la fase tres, la semilla se rehidrata, las células se elongan y la radícula emerge, ahí es donde el proceso de germinación se cumple (Hasanovic *et al.*, 2025). Con algunos tipos de cebado se puede otorgar a la semilla tolerancia a estrés ambiental y en el medio, como sequía, altos contenidos de sales y metales pesados (Moori & Ahmadi-Lahijani, 2020)

4.4.3. Bioestimulantes

Los bioestimulantes aumentan el vigor y el rendimiento de las plantas, mediante la inducción de la biosíntesis de biomoléculas que activan el sistema inmune de las

plantas, eliminación de metales pesados, potencializa la emergencia de las semillas y el crecimiento de raíces, induce la tolerancia a estrés biótico y abiótico, aumentando la capacidad de absorber nutrientes (Sun *et al.*, 2024) Hay tres tipos de bioestimulantes utilizados en el tratamientos de cultivos: sustancias húmicas, hormonales y productos con aminoácidos (Paskovic *et al.*, 2024).

4.4.4. Cebado Osmotico

El cebado osmótico, osmoprimering o osmo cebado, es una técnica, en la cual, las semillas se imbebe en una solución con un alto potencial osmótico, permitiendo iniciar con la actividad metabólica antes de la germinación y evitando la formación de radicales libres que puedan dañar las membranas celulares (Amalia & Rachmawati, 2023) Se utilizan soluciones gaseosas que contienen grandes cantidades de sustancias con alto potencial osmótico como el polietilenglicol, el cual, es el más utilizado, también puede contener nitrato potásico, fosfato potásico o sales de cloruro potásico; estas estancias regulan la cantidad de agua que ingresa a la semillas, activando el metabolismo celular (Mirmazloun *et al.*, 2020) El osmo cebado puede otorgar a las semillas una tolerancia a la sequía, asegurando un éxito en el establecimiento de las plantas (Mouradi *et al.*, 2016).

4.4.5. Peletización (con polímeros, nutrientes, pesticidas entre otros)

Esta es una técnica que involucra diferentes sustancias químicas o biológicas, las cuales, mediante agentes adhesivos, se añaden a las semillas para aumentar su brotación y la formación inicial de las plántulas, esta técnica es utilizada en semillas de cultivos de alto valor económico y algunos céspedes (Ehsanfar & Modarres-Sanavy, 2005). Existen tres tipos de materiales más utilizados para la técnica de peletizado, los cuales, desempeñan diferentes papeles para garantizar el éxito de la germinación; los polímeros, como el alcohol polivinilico y el pilienglicol, son sustancias sintéticas que regulan la liberación de nutrientes de las semillas y los protegen de estreses bióticos y abióticos; las arcillas tienen propiedades adhesivas y retienen la humedad de las semillas; por último, las sustancias biológicas, como

bacterias y hongos estimulan el crecimiento de las plántulas y otorgan protección a enfermedades (Nandeha, 2024).

4.4.6. Inoculantes

Un inoculante es un preparado de origen, generalmente, biológico, el cual, se impregna en la semilla con el objetivo de mejorar la germinación y el establecimiento en campo (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2025). Existen diferentes tipos de agentes microbianos utilizados como inoculantes: fúngicos, bacterianos y mixtos, conocidos como consorcios microbianos, el tipo de inoculante a utilizar, dependerá de la función que desempeña cada uno de estos agentes (control de hongos, bacterias, solubilización de nutrientes, etc) (Herrmann & Lesueur, 2013)

4.4.7. Fungicidas e insecticidas

Los insecticidas y fungicidas químicos han sido utilizados durante mucho tiempo para la desinfección e inoculación de semillas en tratamiento pre-siembra, actualmente, este tipo de prácticas se ha reducido y ha migrado a otro tipo de métodos pre-siembra, como la aplicación de radiación, microondas o reguladores hormonales en las semillas (Bezpal'ko *et al.*, 2020). Aunque el uso de insecticidas químicos ha disminuido, el uso de fungicidas en tratamientos de semilla se sigue implementando, utilizando fungicidas de contacto para la eliminación de patógenos que se establecen sobre la semilla, así como fungicidas sistémicos, los cuales, protegen a la semilla en el proceso de germinación y a la plántula, evitando muerte debido a patógenos presentes en la rizosfera (Lamichanne *et al.*, 2019; Ayesha *et al.*, 2021).

4.4.8. Irradiación con Luz LED

El uso de luz LED en el futuro para producción vegetal está orientado a aumentar la producción vegetal reduciendo los costos, en ambientes totalmente controlados; la obtención de brotes que tengan un mayor valor nutritivo iluminados

exclusivamente con luz LED; y lograr reducir el tiempo de producción de los cultivos (Livadariu, 2023).

La luz LED no siempre mejora la germinación, pero si tiene influencia en el tamaño de la plántula, de raíz y el desarrollo de biomasa. El uso de espectros como el rojo y azul pueden modular procesos fotomorfogénicos y metabólicos asociados a la calidad fisiológica de las plantas. Aunque al día de hoy el uso de la luz LED sigue aumentando para fines de producción vegetal. La cantidad de informes sobre el efecto de la luz LED en etapas iniciales del desarrollo de la planta es limitada (Solano *et al.*,2021).

4.5. Luz LEDs

4.5.1. Empleo de iluminación LED en agricultura

Recientemente se ha incorporado el uso de lámparas de mercurio, xenón y Diodos Emisores de Luz ultravioleta en técnicas de preservación de alimentos. A comienzos del siglo XX la irradiación con luz LED UV se aplicaba para descontaminar agua y diferentes alimentos como el jitomate y chile (Kowalski, 2009). En horticultura las luces LED pueden emplearse para investigaciones bajo condiciones controladas, cultivo de tejidos vegetales, e iluminación foto periódica en invernaderos (Morrow, 2008). Los Diodos Emisores de Luz UV existe en los siguientes tipos: tipo C (100–280 nm), tipo B (280–315 nm), tipo A (315–390nm). La UV-C puede afectar procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas (Sadeghianfar *et al.* 2019). La radiación de tipo A es apenas absorbida por la capa de ozono en pequeñas cantidades, por lo que llega a la superficie terrestre en mayores cantidades y actúa en procesos fotomorfogénicos de las plantas, pero causa menores daños en ellas (Zuñiga,2013).

4.5.2. Influencia de la luz LED en el crecimiento vegetal

La luz LED ha sido utilizada para reducir la senescencia y disminuir las pérdidas poscosecha en hortalizas. Las longitudes de onda específicas favorecen la

activación de mecanismos antioxidantes y mantiene la integridad celular, lo que se traduce en una mayor estabilidad en compuestos bioactivos durante el almacenamiento, lo que repercute favorablemente parámetros como el color y la firmeza. (Pintos *et.al.*, 2021). La exposición a la luz LED modifica considerablemente el equilibrio redox celular y la concentración de radicales de oxígeno, lo cual activa mecanismos antioxidantes (Solano *et al.*, 2020). Este tipo de iluminación proporciona longitudes de onda específicas que se ajustan a los rangos espectrales que participan en la morfogénesis y regulación de crecimiento vegetal (Ma *et al.*, 2021).

4.5.3. Influencia de los colores de LED sobre las plantas

Las hojas absorben de manera más eficiente la luz azul y roja debido a la alta afinidad de los pigmentos fotosintéticos como clorofilas y carotenoides, por estas longitudes de onda. Aunque la luz verde es menos absorbida su mayor capacidad de penetración contribuye a la fotosíntesis en estratos más profundos (L. Ashenafi *et al.*, 2023). La luz ámbar influye directamente en el aumento de biomasa fresca, mientras que la luz roja en el incremento de biomasa seca (Sen wu, *et al.*, 2024). En maíz, hay un mayor índice de velocidad de brote y un mayor porcentaje de germinación cuando se expone a luz azul (Ortiz, 2015).

4.5.4. Efecto de la irradiación LED UV-A

La radiación con luz LED UV, tiene efectos favorables sobre la germinación en semillas de maíz (Figura1.), ya que la temperatura de la radiación promueve la ruptura del pericarpio, facilitando una asimilación rápida de oxígeno y agua, interrumpe la latencia y la respiración de las células incrementa, lo que estimula la actividad mitocondrial (Fernández, 2021).

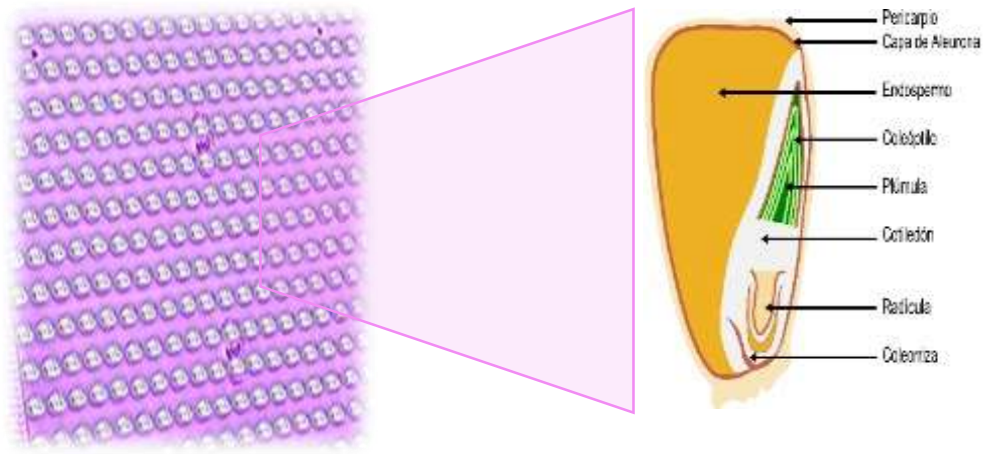


Figura 1. Efecto de la irradiación LED UV-A en semillas de maíz (*Zea mays L.*)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

Este estudio fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada en las coordenadas 25°21'13"N, 101°01'56"W, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. El trabajo se realizó durante el mes de agosto de 2025.

Recurso biológico vegetal

El material vegetal empleado en el estudio es el híbrido "AN-447" proporcionada por el Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN. Este material se encuentra inscrito en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, (CNVV) con el número MAZ-1681-080216. Es un material con una amplia adaptación, se desarrolla particularmente a alturas de 1100 a 1900 metros. Se produce de manera exitosa en la Coahuila, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato y se recomienda establecer bajo condiciones de riego.

Diseño del experimento

Se estableció un diseño experimental completamente al azar, donde los tratamientos fueron los tiempos de exposición a la luz LED UltraVioleta-A (LED UV-A) (0, 5, 10 y 15 minutos). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, utilizando 25 semillas por repetición, las cuales conformaron las unidades experimentales.

Establecimiento del bioensayo

Exposición a la luz ultravioleta

Para evaluar el efecto de la luz LED UV-A en las semillas de maíz y sus parámetros de calidad fisiológica, se implementó un experimento biológico, el cual consistió de 4 repeticiones con 25 semillas, dando un total de 100 semillas por cada uno de los tratamientos. Se utilizó una lámpara de luz LED UV-A de la marca OUSIDE, con

una longitud de onda de 390 nm y con una emisión térmica en el rango de 40 a 65°C. Para aplicar los tratamientos, se adaptó una caja de cartón en la que se abrió un orificio en la parte superior para insertar la lámpara, de manera que quedara fijamente ajustada y no permitiera el paso de la luz externa. Se mantuvo a una distancia fija de 30 cm respecto a las semillas, asegurando que estuvieran expuestas únicamente a la luz LED UV-A. Los tratamientos consistieron en diferentes períodos de irradiación: 0, 5, 10 y 15 minutos.

Siembra en papel anchor

Después de la exposición a la luz LED UV-A, se llevó a cabo la implantación de semillas, empleando la prueba de germinación estándar comúnmente llamada “taco” (ISTA, 2024). Para ello se pusieron 25 semillas de cada repetición en papel *anchor* humedecido con agua destilada, la siembra se realizó con ayuda de unas pinzas, acomodando las semillas de maíz en una línea horizontal, cuidando que la punta de la semilla quedara colocada hacía abajo, y el embrión permaneciera hacía afuera (Figura 2.). Una vez acomodadas, se cubrieron con otra hoja humedecida y se doblaron las dos láminas de papel en forma de “taco”. Este procedimiento se realizó con cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento. Posteriormente, los tacos se introdujeron de manera ordenada en bolsas de polietileno, una asignada a cada tratamiento, debidamente marcadas. Las cuatro bolsas que se obtuvieron se colocaron dentro de una canastilla, para posteriormente colocarlas en una cámara de germinación de la marca Thermo Scientific, con 25°C de temperatura, con 16 horas luz y 8 horas de oscuridad como fotoperíodo, teniendo una humedad relativa 75%.



Figura 2. Disposición de las semillas de maíz (*Zea mays L.*) para prueba de germinación estándar “entre papel”.

Análisis del bioensayo

Las variables que se evaluaron fueron: vigor de semillas germinadas (% V), porcentaje de semillas germinadas (% G), porcentaje de plántulas anormales (% PA), porcentaje de semillas muertas (% SM), Altura media de plúmula (AP) y Altura media de radícula (AR), medidas en cm, así como la biomasa (peso seco de plúmula (PSP) y radícula (PSR), que se midieron en mg/ plúmula y mg/radícula).

Procedimiento para la valoración de las variables

Vigor de semillas germinadas

Transcurridos cuatro días tras la siembra se efectuó la primera evaluación para determinar el porcentaje de plántulas normales (aquellas con una radícula y tallo bien desarrollado, es decir, que estas estructuras deben de medir dos veces lo que la semilla) y así determinar el vigor de germinación en semillas de maíz.

Se utilizó la siguiente fórmula para la obtención del porcentaje de vigor:

$$\text{vigor de germinación} = \frac{\text{cantidad de plantulas normales}}{\text{numero total de semillas sembradas}} \times 100$$

Los tacos que fueron evaluados, nuevamente se humedecieron y se introdujeron a la cámara de germinación manteniendo los mismos parámetros de luz, humedad y temperatura.

Porcentaje de semillas germinadas

Con el fin de analizar esta variable se llevó a cabo un segundo recuento a los 8 días posteriores a la siembra, donde se contabilizaron las plántulas normales, anormales y el número de semillas muertas. A partir del porcentaje de plántulas normales en este conteo, se estimó el porcentaje de semillas germinadas, usando el siguiente cálculo:

$$\% \text{ de semillas germinadas} = \frac{\text{Número de plántulas normales}}{\text{Cantidad total de semillas sembradas}} \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales

Se incluyeron como plántulas anormales únicamente a aquellas que no tuvieron un crecimiento morfológico regular, como aquellas que carecían de plúmula o radícula, o un tamaño dos veces menor al de la semilla.

Porcentaje de semillas muertas

Se contabilizaron aquellas semillas que perdieron su poder germinativo, para expresar el porcentaje en esta variable.

Altura media de plúmula

Para estimar la altura de la plúmula, se midió la totalidad de las plántulas normales por tratamiento con una regla de 30 cm, desde el mesocótilo hasta el ápice de la primer hoja verdadera.

Altura media de radícula

Se midió la longitud del sistema radicular con una regla de 30 cm, de cada plántula normal en cada uno de los tratamientos.

Biomasa (peso seco de radícula y plúmula)

Después de evaluar el bioensayo, con una navaja se retiró la cariósida de las plántulas normales en todos los tratamientos y repeticiones. Posteriormente la radícula se separó del tallo, una vez separados, se introdujeron en envases de papel estraza perforados previamente, se pasaron a un horno de secado que emite una temperatura 72°C durante 24 horas. Después de este tiempo las muestras se sacaron del horno y se llevaron a un desecador para que no se humedecieran por condiciones ambientales externas. Todas las muestras obtenidas fueron pesadas

en una báscula de precisión marca OHAUS, previamente calibrada para determinar el peso seco expresado en mg/plántula.

Evaluación del bioensayo

Los resultados de las variables analizadas en el ensayo biológico se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de detectar diferencias estadísticas entre los distintos tiempos de irradiación de luz LED UV-A sobre semillas de maíz. A la par, se llevó a cabo una prueba de comparación de medias usando el test de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$) para clasificar el efecto de los tratamientos. Los ANOVA se efectuaron con el programa SAS 9.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo, a las pruebas de germinación realizadas con los diferentes tiempos de exposición de luz LED UV-A sobre las semillas de maíz (*Zea mays L.*), se pudo comprobar el efecto que tienen en las variables fisiológicas evaluadas. En el cuadro 1 se presentan las variables evaluadas, en el análisis se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables: porcentaje de semillas germinadas, porcentaje de plántulas anormales, peso seco de radícula, altura de plúmula y altura de radícula. Para las variables: porcentaje de semillas muertas, peso seco de plúmula, y vigor de plantas germinadas, no se encontraron diferencias entre los tiempos de exposición a la luz LED UV-A.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas del bioensayo de germinación de semillas de maíz expuestas a diferentes tiempos bajo luz LED UV-A.

F.V	GL	V	SG	PA	SM	PSP	PSR	AP	AR
		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/plúmula)	(mg/radícula)	(cm)	(cm)
TIEMPO	3	79.85 ^{NS}	198.79 ^{**}	202.13 ^{**}	2.80 ^{NS}	824.42 ^{NS}	124.91 ^{**}	5.57 ^{**}	6.18 ^{**}
ERROR	12	75.25	30.01	28.32	4.20	286.25	8.84	0.77	1.03
C.V.		12.48	8.44	21.60	31.71	23.87	7.98	6.18	4.92

NS= Diferencias estadísticamente no significativas *Diferencias significativas ($P \leq 0.5$) **=Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.1$); F.V= Fuente de Variación, G.L.= Grados de Libertad, V=Vigor, G= Germinación, PA= Plántulas anormales, SM= Semillas Muertas, PSP= Peso seco de plúmula, PSR= Peso Seco de Radícula, LP= Altura media de Plántula, LR= Altura media de Radícula.

De acuerdo al ANOVA ($p \leq 0.05$), no se encontraron diferencias significativas entre los tiempos de exposición para la variable porcentaje de vigor (Figura 3). Sin embargo, a los 10 minutos de exposición el vigor fue de 74.71% y a los 5 minutos 71.51%. La semilla que no se expuso a la luz LED UV-A presentó un vigor de 66.71%. Por otro lado, al exponer la semilla a 15 minutos bajo la luz LED UV-A el vigor disminuyó 1.79% (64.92%). La evidencia de otros estudios indica que las plantulas de maíz tienen un mayor vigor cuando no reciben ningun tipo de tratamiento con luz LED de espectro azul, rojo o verde (Ortíz, 2017). Tratamientos químicos presiembra, como la aplicación de nanoparticulas de Óxido de Zinc, han demostrado alcanzar hasta un 93% de vigor en semillas de maíz (Chávez, 2018).

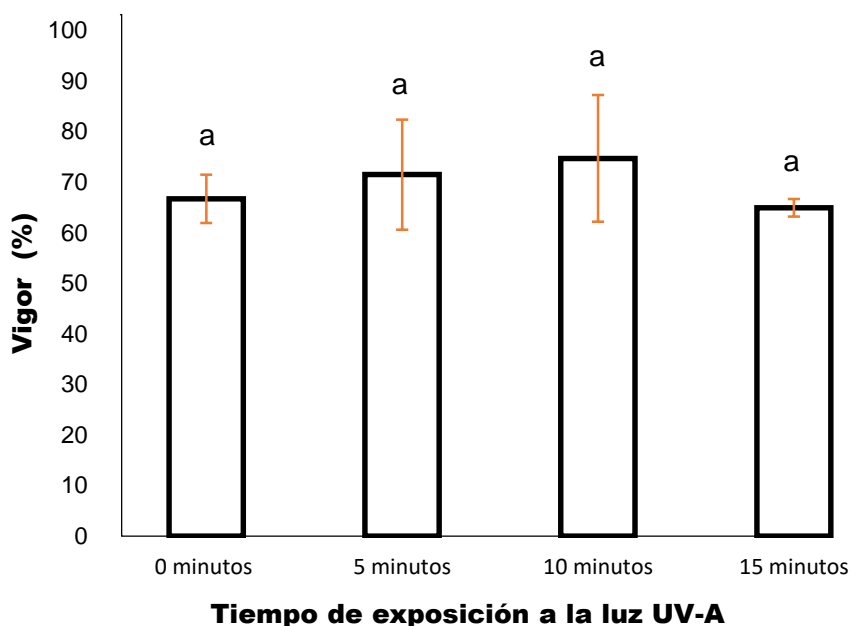


Figura 3. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de vigor en semillas de maíz (*Zea mais L.*) expuestas diferentes tiempos a luz LED UV-A.

Para la variable porcentaje de semillas germinadas (Figura 4), se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.1$) entre los distintos tiempos de exposición a la luz LED UV-A en las semillas de maíz. A los 10 minutos de exposición se alcanzó un mayor porcentaje de germinación con un 73.00%, seguido de 67.54% a 15 minutos y 63.09% a 5 minutos. Lo que representó un aumento en el porcentaje de germinación de 16.66%, 11.2% y 6.75%, respecto al control (56.34%). Foroughbakhch *et al.*, (2015) reportaron que la irradiación de luz LED UV-C en otras especies como Trigo (*Triticum aestivum* L.) Soya (*Glycine max* L.) y Girasol (*Heliantus annuus* L.) tiene efectos positivos en la germinación de estas alcanzando hasta 99% y 100% respectivamente para soya y trigo, mientras que en girasol alcanza hasta un 77.5% a exposiciones de luz ultravioleta de 0.16 mW m². La exposición de la semilla de maíz a luz LED UV-C, aumenta el porcentaje de germinación hasta en un 100% irradiandola durante tiempos de 0, 30, 120, 480 y 720 minutos. (Sadeghianfar *et al.*, 2019).

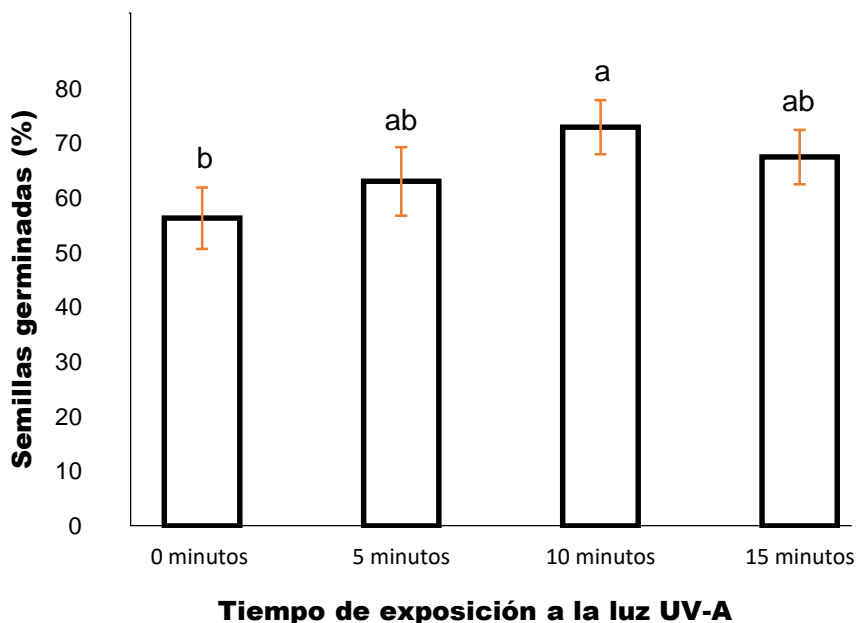


Figura 4. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable semillas germinadas en maíz (*Zea mays* L.) expuesto diferentes tiempos a luz LED UV-A.

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) para la variable plántulas anormales (Figura 5). El tiempo de exposición a la luz LED UV-A que presentó el mayor porcentaje de plántulas anormales fue a 0 minutos (control) con un 33.0%, seguido de 5 minutos (26.90%), 15 minutos (22.45%). A los 10 minutos de exposición se presentó el menor porcentaje de plantulas anormales (16.16%). Las plantulas anormales no se consideran parte de la germinación, por lo tanto, no aumentan el porcentaje de germinación (ISTA, 2023). Díaz - Leyva *et al.*, encontraron que semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) irradiadas con LED UV-B por 5, 15 y 75 minutos aumentó hasta 20% la cantidad de plántulas normales respecto al testigo (60%).

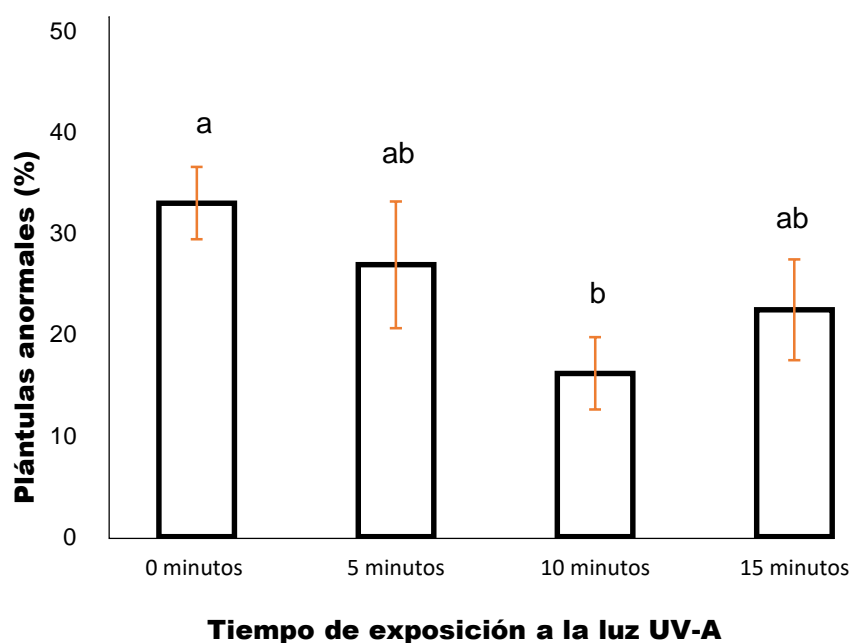


Figura 5. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de plántulas anormales en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la variable semillas sin germinar (Figura 6). Sin embargo, a los 0 y 10 minutos de exposición, el porcentaje de semillas sin germinar fue de 7.18%, mientras que a los 5 y 15 minutos disminuyó 1.4% (5.73%). Cuando una semilla es capaz de originar una planta adulta que puede volver a reproducirse, se puede decir que ha germinado, la primera expresión de una semilla germinada es la emergencia de radícula. Una semilla que no germina sin importar las condiciones de germinación y los tratamientos que se le apliquen ha perdido su poder germinativo (Rodríguez, 2008).

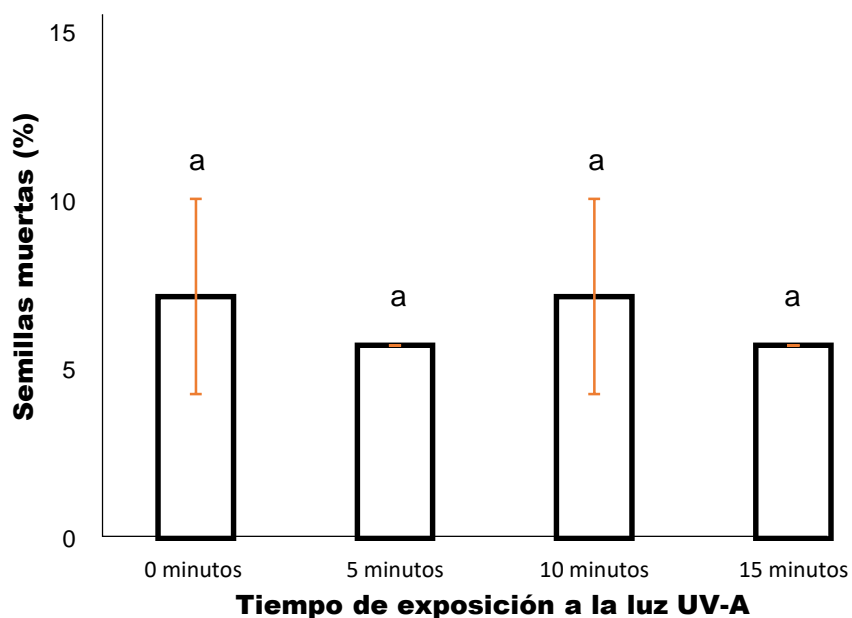


Figura 6. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de semillas muertas en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

Según el ANOVA ($p \leq 0.05$), para la variable longitud media de plúmula (Figura 7), se encontraron diferencias altamente significativas. Los tratamientos superiores para esta variable fueron 5 minutos de exposición, donde hubo un mayor desarrollo de plúmula (14.98 cm), seguido de 10 minutos (14.95 cm) y 15 minutos (14.51). El tratamiento donde hubo un menor desarrollo de plúmula fue 0 minutos (12.49 cm). Fernández (2021) utilizó los mismos tiempos de exposición (0, 5, 10, y 15 minutos) utilizando luz LED UV-C donde obtuvo una longitud media de plúmula mayor (14.98 cm) con 10 minutos de irradiación, respecto al control (13.38 cm) en semilla con 24 horas de remojo previo.

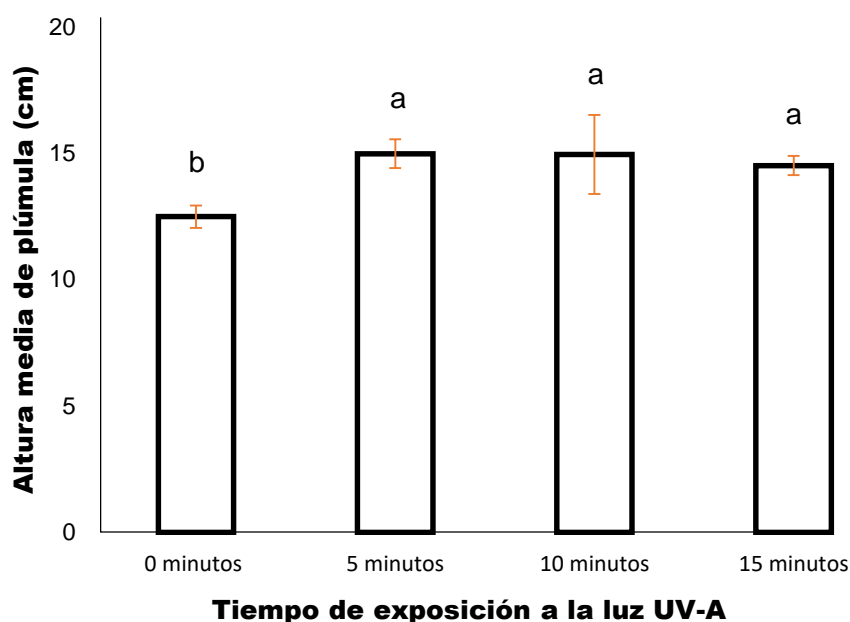


Figura 7. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable porcentaje de altura media de plúmula en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

En la variable longitud de radícula (Figura 8) se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos. En semillas expuestas a 15 minutos hay un mayor desarrollo, llegando hasta los 21.85 cm, a los 10 minutos de exposición las plantulas desarrollaron hasta 21.57 cm de radícula. Las semillas expuestas 5 minutos tuvieron un desarrollo de radícula de 19.80 cm y las plantas sin exposición llegaron a 19.37 cm. Ortíz (2017) encontró que la luz LED de espectro rojo favorece al desarrollo de raíz en plantulas de maíz llegando hasta 17.35 cm, y que la luz verde disminuye el crecimiento de estas, las cuales únicamente alcanzan 14.02 cm.

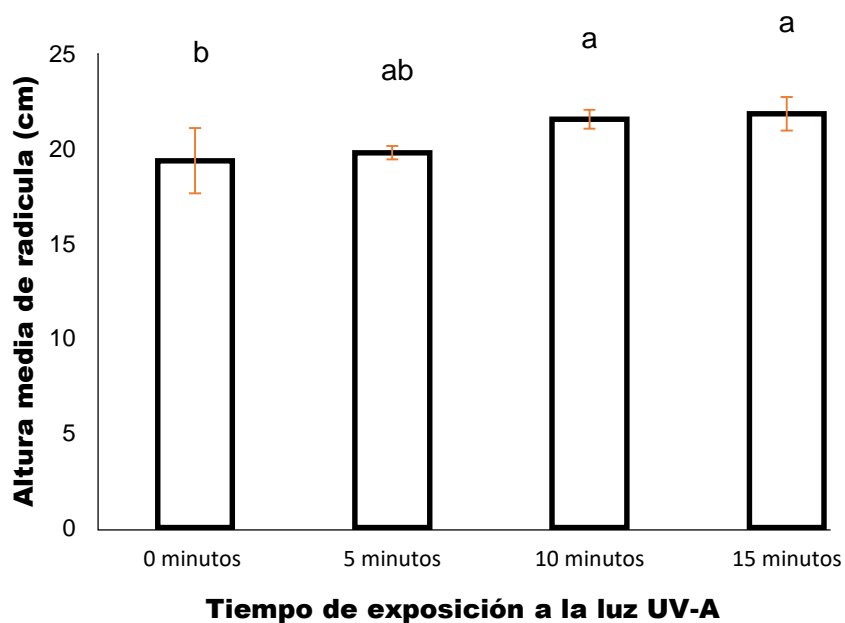


Figura 8. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable altura media de radícula en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

Para la variable peso seco de plúmula (Figura 9) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Sin embargo, se obtuvieron hasta 83.13 mg de peso seco con 5 minutos de exposición, seguido de 15 minutos con 82.37mg. En las semillas que se trataron 10 minutos bajo luz LED UV-A se obtuvo un peso seco de 64.05 mg y semillas que no fueron expuestas tuvieron un peso de 53.87mg. Con el uso de otros tratamientos cómo la aplicación de Nanopartículas de Óxido de Cobre, se ha encontrado que usando concentraciones de 250 y 500 ppm se llegan a obtener 35.15 mg y 35.95 mg respectivamente (Méndez, 2022).

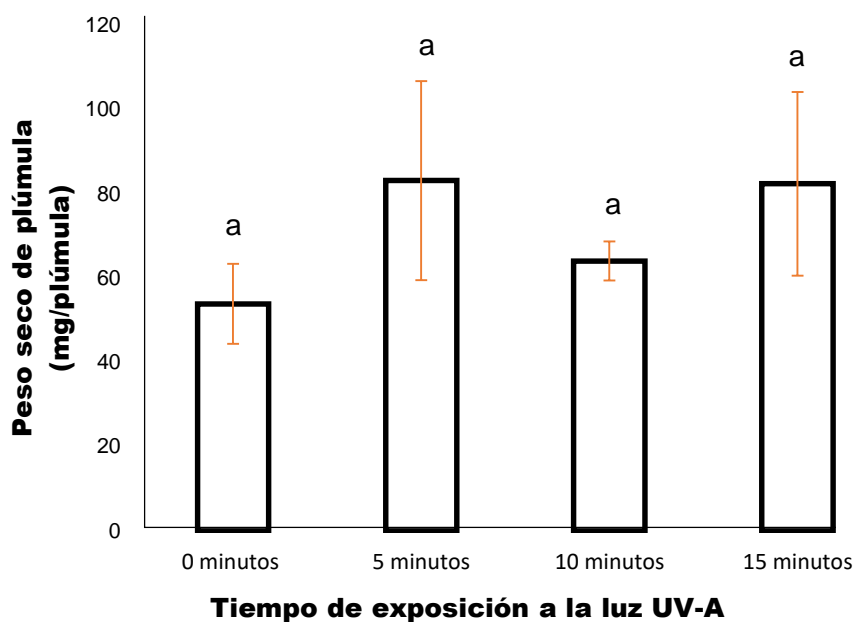


Figura 9. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable peso seco de plúmula en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

En cuanto a la variable peso seco de radícula (Figura 10), se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), obteniendo un mayor peso seco de radícula en semillas que se expusieron durante 10 minutos bajo la luz LED UV-A pesando 45.07 mg. Las semillas que se expusieron 15 minutos tuvieron un peso seco de 37.41 mg, mientras que las que se expusieron durante 5 minutos tuvieron un peso de 33.12 mg. Por otro lado a las semillas que no se les aplicó ningún tratamiento obtuvieron un peso seco de radícula de 33.32 mg. Siendo estas estadísticamente iguales. Guan, (2009) estudió el cebado con quitosano como tratamiento químico en pre siembra de maíz en dos variedades (Mo17 y Huang C) y encontró que a una concentración de 0.50% favorece a la obtención de un mayor peso seco de radícula con este tratamiento, 21.05 mg en la variedad Mo17 y 20.43 mg en la variedad Huang C.

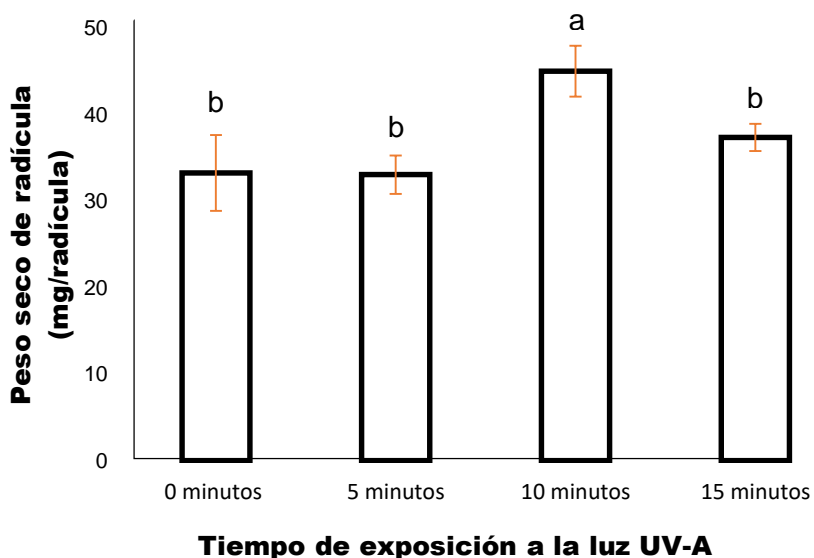


Figura 10. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para la variable peso seco de radícula en maíz (*Zea mays L.*) expuesto a diferentes tiempos a luz LED UV-A.

VII. CONCLUSIONES

Los tiempos intermedios de irradiación (10 minutos) presentan los efectos más favorables, mostrando incrementos en el porcentaje de germinación y reducciones en la formación de plántulas anormales, lo que sugiere una ventana óptima de irradiación con luz LED UV-A.

La irradiación UV-a puede estimular el crecimiento de estructuras como la radícula y la plúmula, reflejándose en mayores longitudes y mayor acumulación de biomasa, en comparación con semillas no tratadas.

El vigor no mostró diferencias significativas, esto indica que ciertos parámetros son menos sensibles a este tipo de tratamiento lumínico.

La irradiación con luz LED UV-A, representa una alternativa de tratamiento presembrado no químico, capaz de mejorar la calidad fisiológica.

VIII. RECOMENDACIONES

Realizar más estudios con diferentes longitudes de onda dentro del espectro UV-A, ya que la respuesta podría ser dependiente del nivel energético aplicado.

Evaluar otros tiempos de exposición, tanto más cortos, así como más prolongados. Para determinar el tiempo óptimo para semillas de maíz.

Considerar la combinación de la luz UV-A con otro espectro LED (Rojo, azul o ámbar) para explorar interacciones que puedan potenciar el desarrollo y germinación en maíz.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Amalia, D. R., & Rachmawati, D. (2023). Seed osmopriming improves germination, physiological, and root anatomical attributes of red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) in salinity stress condition. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(3), 1–13. <https://doi.org/10.32526/ennrj/21/202200258>
- Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Holley, J. M., & Mattson, N. S. (2023). *The influence of LEDs with different blue peak emission wavelengths on the biomass, morphology, and nutrient content of kale cultivars*. *Scientia Horticulturae*, 317, 111992. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111992>
- Ayesha, M. S., Suryanarayanan, T. S., Nataraja, K. N., Prasad, S. R., & Shaanker, R. U. (2021). Seed Treatment With Systemic Fungicides: Time for Review. *Frontiers In Plant Science*, 12, 654512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654512>
- Bezpal'ko, V., Stankevych, S., & Matsyura, A. (2020). Pre-sowing seed treatment in winter wheat and spring barley cultivation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6), 255–268. https://doi.org/10.15421/2020_291
- Correa, M. D. S. S., Saavedra, M. E. R. R., Parra, E. A. E., Ontiveros, E. N., Flores, J. D. C. B., Montiel, J. G. O., ... & González, A. M. E. (2023). Ultraviolet radiation and its effects on plants. In *Abiotic stress in plants-adaptations to climate change*. IntechOpen.
- Díaz-Leyva, Carlos Eduardo, Bacópulos-Mejía, Elly, Ruiz-Torres, Norma Angélica, Ibarra-Jiménez, Luis, Gonzales-Morales, Susana, & Benavides-Mendoza, Adalberto. (2017). Irradiación de semillas de tomate con UV-B y UV-C: impacto sobre germinación, vigor y crecimiento. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 105-

118. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.75>

Díaz-Rodríguez, A. M., Cota, F. I. P., Chávez, L. A. C., Ortega, L. F. G., Alvarado, M. I. E., Santoyo, G., & De los Santos-Villalobos, S. (2025). Microbial inoculants in sustainable agriculture: Advancements, challenges, and future directions. *Plants*, *14*(2), 191. <https://doi.org/10.3390/plants14020191>

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [DGSIA]. (2023). Panorama Agroalimentario 2024. <https://panorama.agricultura.gob.mx/vista/productos.php>

Ehsanfar, S., & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2005). Crop protection by seed coating. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, *70*(3), 225–229. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16637182>

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K. *et al.* Producción, consumo y comercio mundial de maíz: tendencias e implicaciones para la I+D. *Food Sec.* *14*, 1295–1319 (2022).

Finch-Savage, GW Bassel, Vigor de las semillas y establecimiento del cultivo: extendiendo el rendimiento más allá de la adaptación, *Journal of Experimental Botany*, Volumen 67, Número 3, febrero de 2016, páginas 567–591, <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>

Flores-Gallegos, Eduardo, Olvera-González, Ernesto, Escalante-García, Nivia, Alaniz-Lumbreras, Daniel, Ivanov-Tsonchev, Rumen, y Lara-Herrera, Alfredo. (2022). Sistema mecatrónico de desinfección de alimentos basado en LED UV-A. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, *14* (2), 33-45. Publicación electrónica, 16 de febrero de 2024. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.10.115>

Foroughbakhch-Pournavab, Rahim, Bacópulos-Mejía, Elly, & Benavides-

- Mendoza, Adalberto. (2015). Efecto de la irradiación con UV-C en la germinación y vigor de tres especies vegetales. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(5), 129-137. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000200001&lng=es&tlng=es.
- Giovanetti, G., Marcellini, M., Pergolotti, V., Mecozzi, F., Mezzetti, B., Capocasa, F., & Sabbadini, S. (2024). Standardization of an Effective Scarification and Germination Protocol for Strawberry Seeds That Is Useful for Gamic Propagation. *Horticulturae*, 10(12), 1345. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121345>
- Golik, S., Larran, S., Gerard, G., Constanza, M., Capítulo, F., Crecimiento, M., Schierenbeck, M., Dietz, J., Época, M., De Siembra María, D., Simón, R., Ignacio, J., Capítulo, D., Fertilización, M., Rotaciones, S., Golik, M., Constanza, F., De Enfermedades María, M. M., De Plagas María, M. M., Los, F. (2018). Cereales de verano. <https://doi.org/10.35537/10915/68613>
- Górnik, K., Sas-Paszt, L., Seliga, Ł., Pluta, S., Derkowska, E., Głuszek, S., Sumorok, B., & Mosa, W. F. A. (2023). The Effect of Different Stratification and Scarification Treatments on Breaking the Dormancy of Saskatoon Berry Seeds. *Agronomy*, 13(2), 520. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020520>
- Guan, Y. J., Hu, J., Wang, X. J., & Shao, C. X. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 10(6), 427–433. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>
- Han, C. T., Sung, Y., & Hsueh, M. (2022). The Effect of Scarification Treatments and Seed Moisture Content on the Hardseededness of 'Taitung No.1'

Winged Bean (*Psophocarpus tetragonolobus*)
Seeds. *HortScience*, 57(9), 1064–
1071. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16683-22>

Hasanović, M., Durmić-Pašić, A., & Karalija, E. (2025). *Seed priming beyond stress adaptation: Broadening the agronomic horizon*. *Agronomy*, 15(8), 1829. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081829>

Hoang, T. T. H., Tran, T. T., Nguyen, T. T. H., & Nguyen, M. T. (2021). *Effects of ultraviolet-C (UV-C) radiation on germination, seedling growth, and abiotic stress response in waxy corn (Zea mays L.)*. *Vietnam Journal of Biotechnology*, 19(4), 707–716. <https://doi.org/10.15625/1811-4989/19/4/16453>

International Seed Testing Association (ISTA). (2023). *International Rules for Seed Testing: Chapter 5 — Germination*. Bassersdorf, Switzerland.

Iqbal H (2023) Seed Germination: An Overview. *J Plant Biochem Physiol*. 11:274. <https://www.longdom.org/open-access/seed-germination-an-overview.pdf>

Khan, M. A., Durga, D. P., Khan, F. A., Khan, A., Belal, B. A., & Astha, A. (2024). Seed priming: An overview of techniques, mechanisms, and applications. *Plant Science Today*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.14719/pst.2024.11.1.2828>

Kondrateva, N. P., Kasatkina, N. I., Kuryleva, A. G., Baturina, K. A., Ilyasov, I. R., & Korepanov, R. I. (2020). Effect of treatment of seeds of grain crops by ultraviolet radiation before sowing. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 433, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.

Lamichanne et al, 2019; Ayesha et al, 2021) Lamichhane, J. R., You, M. P., Laudinot, V., Barbetti, M. J., & Aubertot, J. (2019). Revisiting

- Sustainability of Fungicide Seed Treatments for Field Crops. *Plant Disease*, 104(3), 610-623. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-19-1157-fe>;
- Lazim, S. K., & Ramadhan, M. N. (2023). Effects of physical and chemical seed priming techniques on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Annals of Biology*, 39(2), 404-410.
- Liu, X., Zhang, Z., Li, Y., Igathinathane, C., Yu, J., Rui, Z., Azizi, A., Wang, X., Pourreza, A., & Zhang, M. (2025). *Early-stage detection of maize seed germination based on RGB image and machine vision*. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100927. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100927>
- Livadariu, O., Maximilian, C., Rahmanifar, B., & Cornea, C. P. (2023). *LED Technology Applied to Plant Development for Promoting the Accumulation of Bioactive Compounds: A Review*. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/plants12051075>
- Ma, Y., Xu, A., & Cheng, Z.-M. (Max). (2021). Effects of light emitting diode lights on plant growth, development and traits: A meta-analysis. *Horticultural Plant Journal*, 7(6), 552–564. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.05.007>
- Matilla, Á. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. En J. Azcón-Bieto & M. Talón Cubillo (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed., pp. 537–558).
- Mazón, S. L. L., Navarrete, G. G., & Gutiérrez, B. N. I. (2012). EL MAÍZ (*Zea mays* L.) Y LA CULTURA MAYA. *BIOTecnia*, 14(3), 3. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.123>
- Méndez Pérez, M. K. (2022). *Estudio fisiológico de la germinación, desarrollo de plántulas, y contenido de clorofila como respuesta a la aplicación de*

nanopartículas de óxido de cobre a semillas de un híbrido comercial de maíz (Zea mays L.) [Tesina de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio UAAAN.

Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Németh, É. Z., & Radácsi, P. (2020). The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. *Agriculture*, 10(4), 94. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040094>

Moori, S., & Ahmadi-Lahijani, M. J. (2020). Hormopriming instigates defense mechanisms in Thyme (*Thymus vulgaris* L.) seeds under cadmium stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 19, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100268>

Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Makoudi, B., Kabbadj, A., Very, A., Sentenac, H., Qaddoury, A., & Ghoulam, C. (2016). Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses and membrane stability during early stage of Moroccan alfalfa populations under water deficit. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(3), 265–272. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392016000300002>

Muñoz-Durán, M. E. (2021). *Efecto de la luz UV-C sobre la calidad fisiológica y sanitaria del maíz amarillo (Zea mays L.)* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Repositorio Institucional UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000820931/3/0820931.pdf>

Nandeha, N. (2024). *Seed Coating and Pelleting*. In R. S. Solanki, M. M. Dange, M. Umarali, Elumle Priyanka & A. D. Khobragade (Eds.), *Seed Technology: Basics to Recent Advances* (pp. 257–?). Elite Publishing House. ISBN 978-93-95345-82-8.

Navarro, M., Febles, G., & Herrera, R. S. (2015). Vigor: essential element for

seed quality. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(4), 447–458. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, (2023). Valor de la Producción Agrícola, FAOSTAT, Recuperado de: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV>

Pasković, I., Popović, L., Pongrac, P., Pasković, M. P., Kos, T., Jovanov, P., & Franić, M. (2024). Protein hydrolysates—production, effects on plant metabolism, and use in agriculture. *Horticulturae*, 10(10), 1041. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101041>

Ramlal, A., Rajendran, A., & Subramaniam, S. (2025). Seed germination: influence of non-traditional regulating factors. *Communicative & integrative biology*, 18(1), 2532276. <https://doi.org/10.1080/19420889.2025.2532276>

Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128(6), 450–459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>

Rodriguez Quilón, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912).

Sadeghianfar, P., Nazari, M. y Backes, G. (2019). La exposición a la radiación ultravioleta (UV-C) aumenta la tasa de germinación de las semillas de maíz (*Zea mays* L.) y remolacha azucarera (*Beta vulgaris*). *Plants* , 8 (2), 49. <https://doi.org/10.3390/plants8020049>

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2023). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales*. <https://www.gob.mx/snics/articulos/catalogo-nacional-de-variedades->

- Solano, C. J., Hernández, J. A., Suardíaz, J., & Barba-Espín, G. (2020). Impacts of LEDs in the Red Spectrum on the Germination, Early Seedling Growth and Antioxidant Metabolism of Pea (*Pisum sativum* L.) and Melon (*Cucumis melo* L.). *Agriculture*, 10(6), 204. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060204>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. *Plants*, 13(2), 210. <https://doi.org/10.3390/plants13020210>
- Torres, M., Frutos, G., & Durán, J. M. (1991). *Sunflower seed deterioration from exposure to UV-C radiation*. *Environmental Experimental Botany*, 31, 201–207. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(91\)90071-U](https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90071-U)
- Torres, N. A. R., Rincón-Sánchez, F., Bautista-Morales, V. M., Martínez-Reyna, J. M., Dávila, H. C. B., & Olvera-Esquivel, M. (2012). Calidad fisiológica de semilla en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Agraria*, 9(2), 43-48
- Varela S. A. & V. Arana, (2010), Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Serie técnica: “Sistemas Forestales Integrados”. INTA
- Wu, B.-S., Mansoori, M., Schwalb, M., Islam, S., Naznin, M. T., Addo, P. W., MacPherson, S., Orsat, V., & Lefsrud, M. (2024). *Light emitting diode effect of red, blue, and amber light on photosynthesis and plant growth parameters*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 256, 112939. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.112939>
- Yaseen, A., Habib, M., Bhat, M., Qureshi, A., Wani, F., Hamid, A., Ali, G., & Dar, Z. (2022). Physiological changes associated with hydropriming in

maize hybrids. *Journal Of Eco-friendly Agriculture*, 17(2), 285-289.
<https://doi.org/10.5958/2582-2683.2022.00055.7>

Zúñiga Arroyo, L. F. (2013). *Irradiación de semillas de maíz (Zea mays) para promover resistencia de la germinación en condiciones salinas* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.