

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

EVALUACIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA-C EN EL CONTROL DE *Alternaria solani*

Sor. EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum L.*)

EINAR CABALLERO

4-856-167

MELANYS PITTÍ

4-804-2406

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2023

EVALUACIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA-C EN EL CONTROL DE *Alternaria solani*
Sor. EN TOMATE (*Lycopersicum esculentum L.*).

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN CULTIVOS TROPICALES.

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL
DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

DR. ALEX RÍOS MORENO

DIRECTOR

MSC. JOSÉ CARLOS URETA

ASESOR

DR. REYNALDO VARGAS

ASESOR

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2023

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, agradecemos a Dios por su infinita bondad, por ser nuestra mayor fuente de sabiduría, esperanza y fortaleza a lo largo de toda nuestra carrera. A él le debemos todos nuestros logros y alegrías. Siendo nuestro pilar fundamental en todo momento, y quien nos brindó las herramientas necesarias para llegar donde estamos.

Queremos agradecer de manera muy especial al Dr. Alex Ríos Moreno y al Dr. Reynaldo Vargas por ser parte fundamental de este trabajo de tesis, brindándonos sus conocimientos, tiempo, consejos y principalmente por creer en nosotros y en nuestra capacidad para realizar esta investigación.

También agradecemos sinceramente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, al personal administrativo y cuerpo docente que durante nuestra carrera nos brindaron las herramientas y el conocimiento necesario para alcanzar esta meta tan anhelada. En especial al profesor José Carlos Ureta quien nos orientó en muchas ocasiones a lo largo de este trabajo de investigación.

Gracias a los profesores de la UNACHI Dr. Oscar Martínez y Mgtr. Nicomedes Jaramillo por brindarnos su orientación, tiempo y conocimiento.

A Luis Castro por su colaboración y orientación en la parte estadística.

Finalmente nos agradecemos mutuamente por ser el apoyo incondicional que necesitábamos y brindarnos las palabras de aliento el uno al otro, en los momentos difíciles de esta etapa de nuestra carrera.

DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios por darme la oportunidad de vivir y compartir con los seres que más quiero.

A mi adorada madre Esmeralda Rosas, por brindarme todo el amor, apoyo y comprensión en buenos y malos momentos, ya que sin ella esta meta no hubiera sido posible.

A mi padre Edwin Caballero, por su apoyo y que mediante consejos me impulsó a seguir el camino correcto.

A mis hermanos Edwin, Ellyn y Emelyn quienes nunca dudaron de mí y fueron una base sumamente sólida para culminar esta meta.

A mis buenos amigos Angeline y Jhosep que en el transcurso de mi vida universitaria fueron un pilar muy trascendental apoyándome, comprendiéndome, y lo fundamental impulsándome a la perseverancia en conseguir el título profesional.

Einar Caballero

DEDICATORIA:

Esta tesis va dedicada con mucho cariño y amor a mis padres Francisca González y Sait Pittí, por hacer su máximo esfuerzo en darme lo mejor dentro de sus posibilidades, por trabajar incansablemente para que yo pudiera lograr mis sueños y metas; pero más importante aún por ser mis guías y mi fortaleza en todo momento, por demostrarme su amor de todas las maneras posibles, y hacerme saber que jamás estaré sola si los tengo conmigo. Juntos siempre hemos sido un equipo y cada logro en mi vida será tan mío como de ustedes.

También se la dedico de manera muy especial a mi abuela Bruna Rosas, por ser mi ángel en la tierra y una luz en mi vida, me has dado tanto amor, y me has enseñado muchas cosas valiosas para la vida, que no me alcanzarán las palabras para agradecerte por todo lo que has hecho en mí. Siempre serás mi mayor ejemplo de lo que significa ser una persona noble y de buen corazón.

A mi hermana Elvia Pittí, mi mayor apoyo en todo momento, nunca me has dejado sola, has celebrado mis triunfos y me brindaste fortaleza en los momentos difíciles. Gracias por ser una bendición en mi vida y por darme la felicidad más grande, mi sobrino Elian Castillo.

A mis tíos Pedro Serrano y Eunice Garrido por hacerme saber que siempre cuento con ustedes, gracias por aconsejarme, y brindarme su apoyo y cariño.

Finalmente, a todos mis amigos cercanos que siempre han estado conmigo y me han brindado su amistad sincera, gracias por siempre estar.

Melanys Pittí

RESUMEN

El uso de luz UV-C como control de hongos fitopatógenos, ha sido una alternativa promisoría e investigada en muchos países, en función de su efecto sobre los microorganismos expuestos a este tipo de irradiación y la respuesta adaptativa de las plantas a esta luz; sin embargo, en nuestro país, según nuestro conocimiento no existen registros de investigaciones sobre esta alternativa de control. Por ello, esta investigación evaluó la efectividad de la luz UV-C como control en *Alternaria solani* Sor. (Tizón temprano) en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en condiciones semicontroladas, su efecto en el crecimiento radial del micelio en medio de cultivo y tres parámetros fisiológicos que pudieran indicar una alteración debido a la luz. Se evaluaron nueve tratamientos alternando tres distancias (10, 20 y 30 cm) y tres tiempos (10, 20 y 30 s) de exposición a la luz, más un testigo absoluto. Donde se determinó que los tratamientos uno (10cm/10s), ocho (30cm/20s) y nueve (30cm/30s) obtuvieron mejores resultados en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad y la tasa infección aparente, respecto a los demás tratamientos y al testigo absoluto. Para el efecto de la irradiación en el crecimiento de *Alternaria solani* sobre PDA, se replicaron los mismos tratamientos aplicados en la prueba de campo, donde se determinó interacciones significativas entre los tratamientos cuya distancia de irradiación fue de 10 cm (T1, T2 y T3), presentándose como un crecimiento micelial menor al testigo. Finalmente se realizaron estudios en los parámetros de calidad (grados Brix y azúcares reductores) del fruto y en la pigmentación foliar de las plantas, determinando que la luz UV-C a las distancias y tiempos establecidos en este ensayo no causaron daños irreversibles o definitivos

en las variables evaluadas. Estos resultados son de importancia para futuras investigaciones sobre esta alternativa de control en hongos fitopatógenos.

Palabras clave: Irradiación, Fitoalexinas, Manejo Integrado de Plagas, Respuesta adaptativa, Seguridad Alimentaria, Tizón temprano.

ABSTRACT

The use of UV-C light as a control of phytopathogenic fungi has been a promising and investigated alternative in many countries, depending on its effect on microorganisms exposed to this type of irradiation and the adaptive response of plants to this light; however, in our country, as far as we are aware of, there are not records of investigations into this alternative control. Therefore, this research evaluated the effectiveness of UV-C light as control in *Alternaria solani* (Early Blight) in tomato (*Lycopersicon esculentum*) under semi-controlled conditions, its effect on the radial growth of mycelium in culture medium and three physiological parameters that could indicate an alteration due to light. Nine treatments were evaluated alternating three distances (10, 20 and 30 cm) and three times (10, 20 and 30 s) of exposure to light, plus an untreated control. Where it was determined that treatments one (10cm/10s), eight (30cm/20s) and nine (30cm/30s) obtained better results in the area under the curve of disease progress and apparent infection rate, compared to other treatments and untreated control. In relation to the effect of irradiation in growth of *Alternaria solani* on PDA, the same treatments applied in field trial were replicated, showing significant interactions between treatments whose irradiation distance was 10 cm (T1, T2 and T3), presenting a minor mycelial growth respect to control treatment. Finally, studies were carried out on quality parameters (Brix degrees and reducing sugars) of fruit and foliar pigmentation of plants, determining that UV-C light at distances and times established in this trial did not cause irreversible or definitive damage to the evaluated variables. These results are important for future research on this control alternative in pathogenic fungi.

Keywords: Irradiation, Phytoalexins, Integrated Pest Management, Adaptive Response, Food Safety, Early Blight.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	7
1.6 Alcances y limitaciones	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Biología del Tizón Temprano (Early Blight)	10
2.2 Luz ultravioleta	13
2.3 Espectrofotometría	14
2.4 Azúcares reductores	15
2.5 Software imageJ	16
2.6 Grados Brix	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Lista de materiales	18
3.2 Metodología:	19
3.2.1 Ubicación de los estudios:	19
3.2.2 Fase experimental en campo:	20
3.2.3 Fase experimental de laboratorio	23
3.2.4 Estudios fisiológicos	26
3.2.5 Análisis de datos	31
4. RESULTADOS	33
4.1 Identificación de <i>A. solani</i>	33
4.2 Severidad de la enfermedad en campo	34
4.3 Irradiación a <i>A. solani</i> en laboratorio (platos Petri)	36
4.4 Análisis fisiológicos	39
4.4.1 Azúcares reductores	39
4.4.2 Evaluación de grados Brix	42
4.4.3 Medición de pigmento foliar	43
5. DISCUSIÓN	44
5.1 Progreso de la enfermedad en campo	44
5.2 Irradiación a <i>A. solani</i> en laboratorio (platos Petri)	46

5.3 Análisis fisiológicos	49
6. CONCLUSIONES.....	53
7. RECOMENDACIONES	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conidios de <i>A. solani</i>	11
Figura 2. Ciclo de vida de <i>A. solani</i>	12
Figura 3. Síntomas en el fruto y las hojas.....	13
Figura 4. Esterilización del sustrato con agua caliente.....	21
Figura 5. A- Bombillo de luz UV-C de 25 watts, B- medidor de luz UV-C modelo XAR-UC.....	22
Figura 6. Siembra de <i>A. solani</i>	24
Figura 7. Incubación de <i>A. solani</i>	24
Figura 8. Irradiación con luz UV-C al cultivo de <i>A. solani</i>	25
Figura 9. Crecimiento de <i>A. solani</i>	26
Figura 10. Extracción del jugo de las muestras.....	27
Figura 11. Muestras rotuladas y almacenadas en Eppendorf.....	27
Figura 12. Colorimetría mediante imageJ.....	28
Figura 13. Espectrofotómetro utilizado para la toma de absorbancia.....	29
Figura 14. Colocación de la muestra en el refractómetro.....	30
Figura 15. Lectura del refractómetro.....	30
Figura 16. A- Conidióforo, B- Conidias oscuras, alargadas y multiseptadas horizontal, vertical y transversalmente.....	33
Figura 17. Puntos necróticos en el haz de la hoja.....	34
Figura 18. Media \pm DE, del tamaño radial de <i>A. solani</i> en platos Petri, según las distancias a las que fueron irradiados.....	37
Figura 19. Media \pm DE, del tamaño radial de <i>A. solani</i> en platos Petri, según el tiempo que fueron irradiados.....	38
Figura 20. Recta de calibrado de Glucosa.....	39

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1.	Resumen de protocolo para recta de glucosa con el reactivo DNSA, para cuantificación de azúcares reductores.	29
Tabla 2.	Porcentaje de severidad de <i>A. solani</i> en plantas de Tomate <i>L. esculentum</i>	34
Tabla 3.	Reacción del huésped (<i>L. esculentum</i>) frente a la enfermedad Tizón temprano (<i>A. solani</i>).	35
Tabla 4.	Tasa de infección aparente de Tizón temprano (r) en tomate (<i>L. esculentum</i>) 38 - 53 días después de la siembra.	36
Tabla 5.	Cantidad de azúcares reductoras ($\mu\text{g/mL}$) en los frutos de tomate por tratamiento.	39
Tabla 6.	Análisis de varianza (ANOVA) para la variable absorbancia de las muestra de frutos de tomate (<i>L. esculentum</i>).	40
Tabla 7.	Resumen del modelo.	40
Tabla 8.	Información agrupada utilizando el método de Tukey y un valor de confianza de 95%.	41
Tabla 9.	Información agrupada utilizando el método LSD de Fisher y un valor de confianza de 95%.	41
Tabla 10.	Resultados de los grados Brix según la prueba de comparaciones múltiples Duncan, $p < 0.05$ valores significativos.	42
Tabla 11.	Resultados de la pigmentación foliar según la prueba de comparaciones múltiples, $p < 0.05$ valores significativos.	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en Panamá representa un gran aporte al sector primario de la economía. Para el cierre agrícola 2021-2022, el tomate de mesa tuvo una superficie sembrada de 201.44 ha, y una producción de 238,059.10 quintales (MIDA, 2022).

Este cultivo es afectado por diferentes plagas y enfermedades que ocasionan la muerte de la planta o una disminución en su rendimiento, entre las enfermedades más comunes se puede mencionar, Tizón tardío (*Phytophthora spp*), Tizón temprano (*Alternaria spp*), Botritis (*Botrytis spp*), Moho blanco (*Sclerotinia spp*), Marchitez vascular (*Fusarium spp*), Mancha bacteriana (*Xanthomonas spp*), Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) (Jaramillo & Tamayo, 2013).

Las enfermedades fúngicas del tomate son responsables de un aumento del 30% en los costos de producción debido a la utilización de fungicidas para combatir estas (Grigolli *et al.*, 2011). El Tizón temprano, causado por *Alternaria solani*, es una de las enfermedades más importantes y frecuentes del tomate en todo el mundo (Song *et al.*, 2011). Esta enfermedad se presenta en hojas, tallos, pecíolo y frutos, y en ataques severos puede provocar defoliación, desecación de los raquis y la caída prematura de los frutos, provocando 35-78% de pérdida en la producción de fruto (Grigolli *et al.*, 2011; Guerra *et al.*, 2016).

Para el control de esta enfermedad, los productores implementan el uso de agroquímicos, los cuales al ser usados en exceso afectan negativamente el suelo,

ambiente e incluso pueden tener presencia de residuos químicos en los frutos, que al ser ingeridos causan daños al ser humano o animales, además; el mal uso de pesticidas es la principal causa de las resistencias en las plagas.

Este tipo de problemáticas en general ha llevado a la ciencia a crear diferentes estrategias de control, reduciendo el uso de agroquímicos para prevenir cada uno de los daños mencionados, por esto se trae como alternativa el uso preciso de luz ultravioleta y el estudio de los posibles efectos fisiológicos que puede causar en la planta.

1.2 Antecedentes

El término fitoalexinas fue introducido hace más de setenta años, basado en el hallazgo en un tejido de papa (*Solanum tuberosum*) infectado con una raza incompatible de *Phytophthora infestans*, la misma indujo resistencia a una raza compatible de *P. infestans*. Aquí se formuló la hipótesis de que el tejido de la papa, en respuesta a la incompatibilidad de la raza, producía sustancias (fitoalexinas) que inhibían al patógeno y protegían al tejido contra posibles ataques de razas compatibles (Ahuja *et al.*, 2012).

Una forma eficaz de estimular la biosíntesis de fitoalexinas en las plantas es la inducción de estrés, mediante la exposición de estas a la luz UV-C a un rango de longitud de onda (Urban *et al.*, 2016). Mediante el uso de sencillos dispositivos de iluminación con bombillas especiales, se puede administrar la radiación UV-C a plantas (Bridgen, 2016). Además, es un método de control de enfermedades

fungosas viable, debido a que afecta la reproducción celular, al alterar el ADN de estos microorganismos (Urban *et al.*, 2016).

Mishra *et al.* (2020), resalta que la exposición prolongada de plantas a los rayos UV-C (más de 30 minutos) provoca daños irreversibles que conduce a la muerte de la planta, mientras que una dosis baja, menor a este tiempo, permite a las plantas recuperar parcialmente su estado fisiológico normal y desencadena respuestas adaptativas en las plantas, como la estimulación de la maquinaria de defensa enzimática y no enzimática.

Para Bridgen (2016), la luz UV-C puede utilizarse en todas las condiciones meteorológicas y en cualquier momento, es una aplicación más precisa y localizada que la de los productos químicos, además de estar aprobada como orgánico.

Este tipo de control se aplica en semillas con el fin de mantener la calidad del producto en una etapa de postcosecha, evitando germinaciones e inhibiendo acciones patológicas que ocasionan el deterioro del producto (Osorio *et al.*, 2012).

Dosis bajas de luz ultravioleta C se usan en tratamientos de semillas para provocar la resistencia del huésped a la podredumbre negra (*Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*) y mejorar la calidad y el crecimiento de sus plantas (Brown *et al.*, 2001).

En México se han realizado investigaciones para el control de *Botrytis cinerea* en la postcosecha de rosas con luz de este tipo (Espejel-Maycotte, 2019). En algunos países europeos se efectúan investigaciones del uso de este tipo de luz para inducir resistencia a cultivos contra algunas plagas y enfermedades (Urban *et al.*, 2018; Rusakovich *et al.*, 2021).

Según nuestro conocimiento Panamá cuenta con pocos registros de investigaciones en la implementación de luz UV-C como método de control de plagas y enfermedades en cultivos; sin embargo, se han llevado a cabo otro tipo de ensayos en la implementación de luz UV en beneficio de las plantas, como el estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Panamá y la Universidad de Chiba Japón en 2019, donde se analizaba los efectos en el crecimiento y los componentes nutricionales en dos cultivares de lechuga roja, bajo irradiación de luz UV (A-B), como mecanismo de fotoinducción de antocianinas en la planta (Mayorga *et al.*, 2019).

1.3 Justificación

Urban *et al.* (2018) menciona que las plantas, a alta intensidad de luz o a radiaciones UV, responden produciendo especies reactivas de oxígeno (ROS, siglas en inglés) que ejercen funciones de defensas en contra de sus plagas y enfermedades. Las radiaciones UV-B (280-320 nm) aumentan la resistencia de las plantas a los patógenos de las hojas, ya que actúa a través de vías de señalización que se parecen mucho a las de la resistencia a los patógenos. Sin embargo, para que las radiaciones UV-B sean efectivas se requieren amplios periodos de exposición, normalmente de varias horas. Una alternativa son las radiaciones UV-C (200-280 nm), que son capaces de suministrar grandes cantidades de energía en un periodo de tiempo muy corto.

La radiación UV-C de baja potencia puede mejorar la inmunidad de las plantas debido a la inducción de mecanismos de defensa a nivel de expresión génica y

actividad proteica. La radiación UV-C moderada puede estimular las respuestas de defensa dependientes en las plantas, desencadenando mecanismos de resistencia genética e induciendo la producción de metabolitos secundarios. A un nivel de utilización óptimo, el tratamiento UV da lugar a la acumulación de todo un complejo de moléculas reguladoras de señales que desempeñan un importante papel en la resistencia de las plantas a las enfermedades (Rusakovich *et al.*, 2021).

En particular, la luz UV-C bajo la forma de iluminaciones de corta duración tiene efectos desinfectantes y posiblemente biológicos. Este tipo de iluminación permite realizar tratamientos cortos y bien controlados de las plantas (Urban *et al.*, 2018). El tratamiento con rayos UV (ultravioleta) con diferentes longitudes de onda e intensidades ha demostrado su eficacia para controlar las infecciones fúngicas en diferentes cultivos, este método es respetuoso con el medio ambiente, además de ser de fácil aplicación y de bajo costo (Rusakovich *et al.*, 2021).

Actualmente, el tomate forma parte de los cultivos de importancia económica para Panamá y sus productores, por ende, en pro de encontrar alternativas eficientes para el manejo integrado de plagas y enfermedades, esta investigación busca determinar la viabilidad del uso de luz UV-C como control de *A. solani*. En este cultivo, sin alterar sus características fisiológicas. Esto se ejecutará variando el tiempo y distancia de exposición de las plantas a este tipo de luz.

Según lo estudiado no se encontraron registros de investigaciones referentes a este tema en nuestro país; por otro lado, nuestro estudio involucra tecnología en la agricultura que, al efectuarse en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la

Universidad de Panamá, se catalogaría como un tema innovador que ha de incentivar a realizar más investigaciones de este tipo.

1.4 Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la efectividad de la irradiación con luz ultravioleta UV-C como medida de manejo de *Alternaria solani* en tomate y su impacto a nivel fisiológico.

Objetivos específicos

- Establecer plantas de tomate en ambiente semicontrolado.
- Inocular las plantas de manera directa con *Alternaria solani*.
- Determinar el efecto de la luz UV-C en la afectación de *Alternaria solani* en las plantas.
- Determinar posibles variables de estrés fisiológico en las plantas y el fruto, inducidas por la luz UV-C.

- **1.5 Hipótesis**

Hipótesis (a) 1: Es efectivo el uso de luz UV-C como medida de manejo de *Alternaria solani* en tomate.

Hipótesis (a) 2: La irradiación con luz UV-C a las distancias y tiempos propuestos no causan estrés fisiológico en la planta.

Hipótesis (o) 1: No es efectivo el uso de luz UV-C como medida de manejo de *Alternaria solani* en tomate.

Hipótesis (o) 2: La irradiación con luz UV-C a las distancias y tiempos propuestos causan estrés fisiológico en la planta.

1.6 Alcances y limitaciones

Esta investigación nos permitió evaluar y determinar la efectividad del uso de luz ultravioleta UV-C como control de *A. solani* (Tizón temprano) en tomate, y su posible aplicación en el sector agrícola como parte del manejo integrado de enfermedades causadas por hongos, todo esto en pro de una agricultura más sostenible donde su producción va enfocada en la seguridad alimentaria y protección del medio ambiente. Buscar alternativas para el control de enfermedades en los principales cultivos en nuestro país, es un factor fundamental como parte de la investigación e innovación agropecuaria, ante la excesiva utilización de agroquímicos y los problemas fitosanitarios que afectan al sector agro.

Por otro lado, esta propuesta tecnológica queda como referencia para futuras investigaciones en Panamá, siendo un estudio con amplias ramas de investigación, como son: su aplicabilidad en otras enfermedades y cultivos, evaluación de la respuesta de la planta a nivel enzimático y la producción de metabolitos como mecanismo de resistencia, al ser expuesta a la luz; su efectividad en las distintas etapas de producción (tratamiento de semilla, desarrollo del cultivo y manejo fitosanitario en postcosecha), entre otros.

Entre las limitaciones que se presentaron se pueden mencionar, la disponibilidad de un área adecuada para el desarrollo del cultivo, los efectos negativos ocasionados por las condiciones climáticas características de la temporada en que se desarrolló la investigación versus los requerimientos del cultivo; otra limitación presentada fue la dificultad para realizar la inoculación de las plantas de manera específica

(suspensión y dispersión de las esporas en la planta), debido a la deficiente esporulación de *A. solani* en los medios de cultivo disponibles en el laboratorio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Biología del Tizón Temprano (Early Blight)

2.1.1 Agente causal

El agente causal de esta enfermedad corresponde al hongo patógeno *A. solani*, el cual afecta en este caso a especies de solanáceas, específicamente como el tomate, pimentón, berenjena, entre otros, causando lesiones a nivel del follaje, tallo y fruto según el estado de la enfermedad en la planta. Maurya *et al.* (2022), mencionan que este patógeno sobrevive en restos de tejidos de plantas infectadas sobre el suelo y sus esporas pueden producirse a partir de estos o de lesiones activas, y en un rango de temperatura amplio, principalmente en ambientes cálidos y húmedos.

2.1.2 Descripción morfológica

A. solani presenta un micelio de color oscuro en tejido enfermo con lesiones viejas, en el caso de las hojas se presenta en el envés y en el caso de tallos y frutos, en la superficie de esta. Este patógeno produce esporas asexuales, microscópicamente se pueden observar conidióforos cortos, erectos y de cadenas simples o ramificadas; estos dan lugar a conidios grandes, alargados, oscuros, multicelulares y septados de forma horizontal, vertical y transversal (Figura 1) (Maurya *et al.*, 2022).

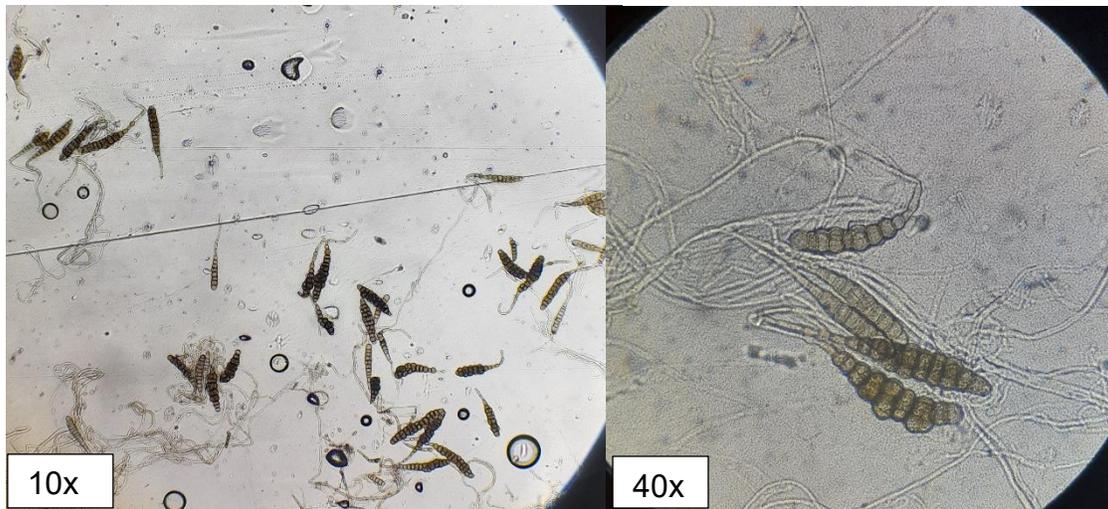


Figura 1. Conidios de *A. solani*.

2.1.3. Ciclo biológico de la enfermedad

El hongo es capaz de sobrevivir en el suelo, asociado a materia orgánica y restos de cultivos enfermos, ya sea como micelio o esporas. También se puede mantener en otras solanáceas y malezas como hospederos alternativos. Desde aquí, las esporas son capaces de diseminarse a grandes distancias a través del viento (Reyes *et al.*, 2016).

A. solani es un patógeno policíclico que se reproduce asexualmente por medio de conidios (Figura 2). Para la infección, se requieren condiciones ambientales cálidas y húmedas. Los tubos germinales penetran en la epidermis de la hoja directamente o a través de los estomas. El tiempo desde la infección inicial hasta la aparición de los síntomas foliares depende de las condiciones ambientales, la edad de la hoja y la susceptibilidad del cultivar. Las lesiones aparecen rápidamente bajo condiciones cálidas, condiciones húmedas en el follaje más viejo y generalmente son visibles

dentro 5-7 días después de la infección. Para la esporulación se requiere un largo período húmedo, pero también pueden ocurrir bajo la condición de períodos húmedos y secos alternos (Maurya *et al.*, 2022).

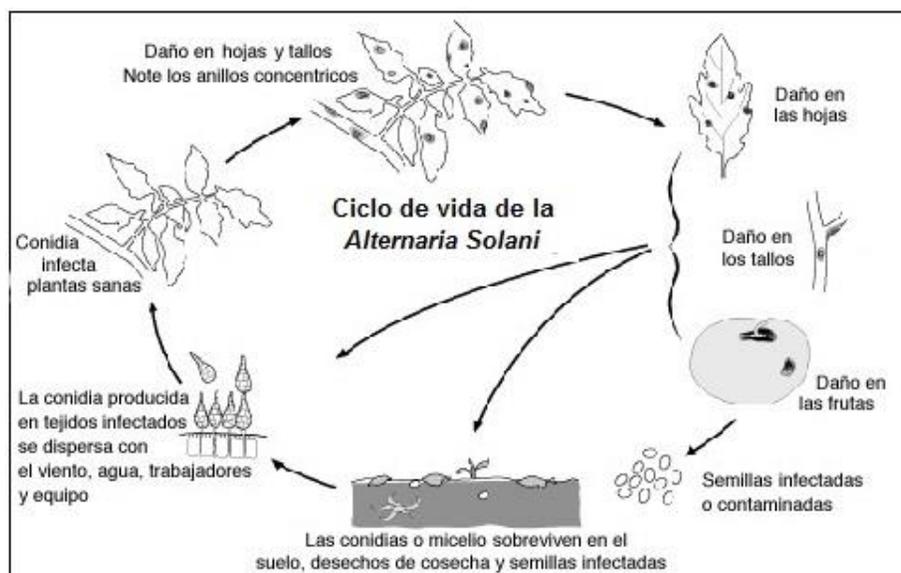


Figura 2. Ciclo de vida de *A. solani*.
(BioCAB, 2015)

2.1.4 Sintomatología

Este hongo se caracteriza por atacar toda la parte aérea de la planta, en todas las fases de crecimiento del cultivo. Produce manchas foliares de color pardo a negro, las que se caracterizan por presentar anillos concéntricos en muchos casos, y un halo clorótico alrededor. Estas lesiones se presentan inicialmente en las hojas maduras que se encuentran en la parte baja de la planta. Posteriormente, si las condiciones ambientales se mantienen favorables para el desarrollo de la enfermedad, estos síntomas se observarán en hojas más nuevas. En frutos y tallo presenta lesiones de diferentes tamaños, necróticas, con anillos concéntricos

(Figura 3), en estos casos se presenta normalmente cuando la severidad es alta (Reyes *et al.*, 2016).



Figura 3. Síntomas en el fruto y las hojas.
(Reyes, 2017).

2.2 Luz ultravioleta

La luz ultravioleta constituye una parte del espectro electromagnético, con longitudes de onda entre 100 y 400 nm. Cuanto menor sea la longitud de onda, mayor la energía generada. La luz ultravioleta es producida como resultado del flujo de corriente a través del vapor de mercurio entre los electrodos de la lámpara. Aquellas de baja presión de mercurio producen la mayoría de los rayos con longitud de 253.7 nm. Esta longitud es muy próxima a la longitud de 260 a 265 nm, la más eficiente para desinfección (Tarrán, 2002).

La Luz UV se divide en UV-Cercano (380-200 nm), UV- Lejano (200-10 nm) y UV- Extremo (31-1 nm) (Pachau & Tiwari, 2008). La misma también se divide considerando el efecto de la radiación sobre la salud humana y el medio ambiente, teniendo en cuenta una longitud de onda de 100 a 400 nm, UV-A (320-400 nm), UV-

B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm) y Vacío-UV (100-200 nm), (Millán *et al.*, 2015).

La luz UV-C posee el mayor efecto germicida, con magnitudes de onda entre 250 y 270 nm, siendo la más eficiente para la desinfección a 254 nm (Christen *et al.*, 2013).

La radiación UV, principalmente la UV-C ejerce un efecto nocivo en el ADN de los microorganismos (Millán *et al.*, 2015), este cambio ocurre como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. Los nucleótidos y los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula absorben la radiación UV, según la longitud de onda, con los valores más altos cerca de 200 y 260 nm. Esta promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. La formación suficiente de dímeros dentro del organismo de un microbio impide que replique su ADN y ARN, impidiendo así su reproducción (Wright & Cairns, 1998).

La luz UV, a una longitud de onda de 190 a 280 nm, tiene el poder de eliminar cualquier microorganismo, tales como bacterias y hongos, de este modo se ha manejado en diferentes alimentos, como una técnica de desinfección que no deja residuos en frutas y hortalizas (Valdés-Holguín, 2018).

2.3 Espectrofotometría

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud

de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Díaz *et al.*, 2010).

Flores & Hernández (2016) menciona que la radiación electromagnética puede clasificarse según la longitud de onda o de frecuencia. La frecuencia y longitud de onda están relacionadas por la siguiente fórmula:

$$\lambda v = c$$

Donde λ es la longitud de onda (cm), v es la frecuencia y c es la velocidad de luz (3×10^{10} cm/s). Las unidades de la longitud de onda son generalmente nanómetros, pero también pueden utilizarse Angstroms, milimicras o centímetros.

Muestra los intervalos de longitudes de onda para las diversas categorías de radiaciones electromagnéticas.

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

2.4 Azúcares reductores

Son los azúcares con la capacidad de actuar como un agente reductor, ya que tiene un grupo aldehído o cetona libre, todos los monosacáridos son azúcares reductores, junto con algunos disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Camacho, 2018). Los azúcares reductores son aquellos que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, entre estos tenemos glucosa, lactosa, fructosa, maltosa, galactosa, manosa,

y que a través de este pueden reaccionar con otras moléculas (Moreano Pilatasig, 2015).

Camacho (2018), indica que para determinar la presencia de los azúcares reductores existen pruebas cualitativas y cuantitativas, como la prueba Benedict, el reactivo de Fehling, el reactivo de Tollens, encontrados normalmente en laboratorios. Y para nivel industrial encontramos la norma NMX-F-312-NORMEX-2016, que establece el método volumétrico de Lane-Eynon para determinar azúcares reductores directos y totales presentes en alimentos en general y bebidas.

2.5 Software imageJ

ImageJ es un programa informático de tratamiento digital de la imagen en general, es un software de dominio público y de código abierto desarrollado en lenguaje Java en las instituciones del grupo National Institutes of Health de Estados Unidos. Se puede ejecutar en forma de applet, como aplicación ejecutable y en general en cualquier plataforma que disponga de una máquina virtual Java (versión 5 superior).

Con esta herramienta podemos visualizar, editar, analizar, procesar, guardar e imprimir imágenes en 8, 16 y 32 bits. Se puede leer diferentes formatos incluyendo TIFF, GIF, JPEG, BMP, etc. Con ImageJ podemos calcular áreas, medir distancias, contar células, entre otros (Sánchez-Valenciano, 2014).

2.6 Grados Brix

El índice refractométrico, sólidos solubles totales (SST) o grados Brix; hace referencia al contenido de sacarosa presente en una disolución, puede ser determinado de manera muy práctica y rápida mediante el empleo de un

refractómetro, instrumento óptico que permite obtener la lectura de los °Bx (Barbagelata *et al.*, 2019).

La mayor parte de las variedades contienen entre 4,5 y 5,5 grados Brix, aunque, más que el carácter varietal, lo que influye sobre el contenido en sólidos solubles son factores agrológicos, especialmente la climatología durante el período de maduración y el riego que pueden hacer variar el contenido en grados Brix para frutos de una misma variedad entre 4 y 7 (Ciruelos-Calvo *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lista de materiales

Manejo agronómico del cultivo (Esterilización de sustrato - Cosecha):

Bolsas de siembra de 11.3 Kg, detergente, hipoclorito de sodio, tierra negra, bandejas de acero con capacidad de 90 Kg, estufa, olla con capacidad 36.6 L, plántones de tomate, fertilizante, insecticida, plástico transparente para invernadero, tubo pvc (policloruro de vinilo) y aspersor.

Colección de muestra e identificación del patógeno:

Bolsas herméticas, papel toalla, refrigerador, estereoscopio, microscopio y juego de disección.

Evaluación del efecto de la irradiación UV-C en el crecimiento radial del *A.*

solani:

Muestras (*A. solani*), medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar), bacteriostático (cloranfenicol), balanza, balanza analítica, plancha de agitación, agitador magnético, platos Petri, parafilm, agua destilada, alcohol, papel aluminio, algodón, papel toalla, autoclave, cámara de flujo laminar, refrigeradora, incubadora, regleta, mechero, vaso químico, probeta, Matraz de Erlenmeyer, juego de disección, horador, regla, rotulador, bombillos de luz UV-C, medidor de intensidad de luz UV-C, cronómetro, guantes de látex, guantes de calor, bata de laboratorio y lentes protectores.

Evaluación del efecto de la irradiación UV-C en las plantas:

Muestras (*A. solani*) regla, bombillos de luz UV-C, medidor de intensidad de luz UV-C, cronómetro, guantes de calor, bata de laboratorio, lentes protectores, canasta de plástico, papel aluminio, regleta y extensión.

Análisis fisiológicos

Frutos maduros, bolsas herméticas, refrigerador, rotulador, cinta adhesiva, mortero, licuadora, envases de plástico, gotero, Eppendorf, gravilla, agua destilada, refractómetro, cámara fotográfica, Ácido dinitrosalicílico (DNSA, siglas en inglés), buffer acetato, cloruro de calcio, tween 20, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, centrífuga, baño maría, espectrofotómetro y papel toalla.

3.2 Metodología:**3.2.1 Ubicación de los estudios:**

El ensayo en campo se realizó en la comunidad de San Andrés (8°35'57.4" N 82°43'21.7" W), distrito de Bugaba, provincia de Chiriquí, el mismo tuvo una duración de dos meses, desde el trasplante hasta la primera cosecha de frutos.

Los estudios de laboratorio fueron llevados a cabo; en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, sede Chiriquí en el laboratorio de Protección Vegetal, GIPROVEG y en la UNACHI, sede David, en el laboratorio de zoología.

3.2.2 Fase experimental en campo:

Se esterilizó aproximadamente 600 kilogramos de tierra negra, en bandejas de acero con capacidad de 90 kilogramos, vertiendo de forma homogénea agua caliente, esta actividad tuvo una duración aproximada de un mes (Figura 4).

Para la siembra se utilizaron bolsas de 11.3 Kg, y fueron esterilizadas con detergente e hipoclorito de sodio, posteriormente se llenaron con aproximadamente 9 kg con el sustrato esterilizado. El trasplante fue procedido con plántones de tomate redondo variedad Danny de 22 días. La distribución en campo de las bolsas según el tratamiento fue con un diseño completamente aleatorizado, bajo una estructura compuesta por tubos pvc y plástico para invernadero.

El manejo agronómico del cultivo estuvo compuesto por la fertilización a base de nitrógeno y fósforo en su etapa inicial y potasio, calcio y boro en la etapa de formación de frutos, la poda de formación que se realizó a la quinta semana luego de la siembra y la aplicación de insecticida para el control de larvas.

La colección de muestras para la inoculación se obtuvo de plantas de tomate con síntomas coincidentes con Tizón temprano (*A. solani*) en una finca ubicada en el corregimiento de Volcán, las mismas presentaban manchas necróticas de color marrón, redondas, con un tamaño aproximado de 0.5 a 2 cm, las lesiones con mayor tamaño presentaban borde y halo clorótico definido.

Las muestras fueron colocadas en papel toalla humedecida, en bolsas herméticas y almacenadas en el refrigerador a 9 °C. Para la identificación del patógeno se utilizaron las lesiones más grandes y con signos (micelio oscuro) en el envés de la hoja, estos fueron observados a través de un estereoscopio, posteriormente se efectuó el método de raspado con un bisturí esterilizado y se llevó en un portaobjetos al microscopio.

El proceso descrito anteriormente se realizó con el fin de asegurarse de realizar la inoculación de manera correcta, y con la enfermedad y patógeno identificado debidamente. Para la inoculación se usaron las mismas plantas de donde se extrajeron las muestras, procurando que solo tuvieran lesiones de Tizón temprano.



Figura 4. Esterilización del sustrato con agua caliente.

La irradiación se llevó a cabo al quinto día después de la inoculación, para esta fecha se presentó un cien por ciento de incidencia en todos los tratamientos. Se utilizaron bombillos de luz UV-C de 25 watts (Figura 5). Al

irradiar se utilizó las variables tiempo (10, 20 y 30 segundos) y distancia (10, 20 y 30 centímetros), mismas que conformaban cada uno de los tratamientos en un diseño factorial. Para evitar el efecto de borde al irradiar en cada planta se usó una canasta de 1 metro de alto por 0.50 metros de ancho revestida de aluminio, al momento de la aplicación. Para calcular la intensidad de irradiación a la que fueron expuestas las plantas por tratamiento, se empleó un medidor de luz UV-C modelo XAR-UC, este fue colocado a la misma distancia del ápice de la planta al bombillo (Figura 5).

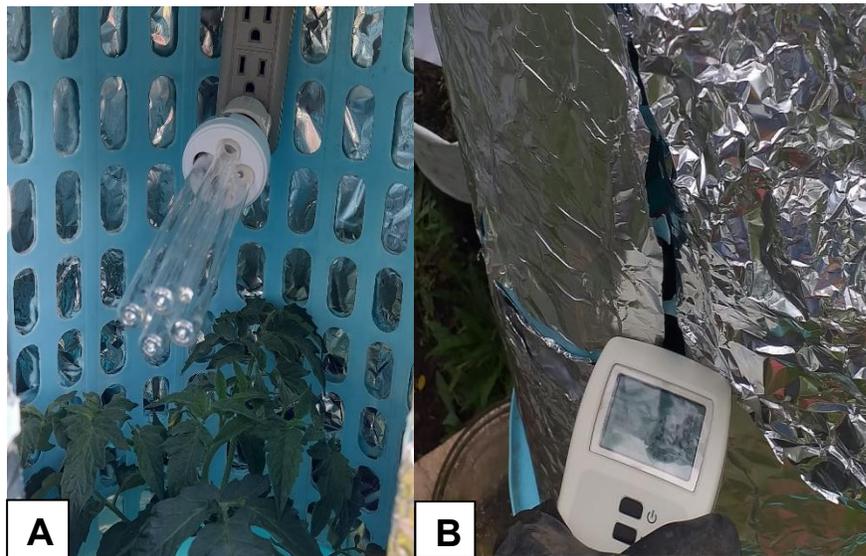


Figura 5. A- Bombillo de luz UV-C de 25 watts, B- medidor de luz UV-C modelo XAR-UC.

Se realizaron cinco irradiaciones, con un intervalo de tiempo de tres días; y siete evaluaciones de la severidad de cada planta, previo a las aplicaciones a partir de la primera, y dos posteriores a la última, siguiendo el mismo periodo de tiempo entre cada una.

Para la evaluación se usó como referencia una escala de severidad descrita por Pandey *et al.* (2003), cuyos parámetros van de 0 a 5, donde 0- indica libre de infección, 1- una o dos manchas necróticas en algunas hojas inferiores de la planta, 2- algunas manchas aisladas en las hojas, que cubren cerca del 5% - 10% de la superficie de la planta, 3- muchas manchas coalescentes en las hojas, que cubren el 25% de la superficie de la planta, 4- hojas irregulares, marchitas y lesiones hundidas con anillos concéntricos prominentes en el tallo, el pecíolo y el fruto, que cubren el 40% - 50% de la superficie de la planta, 5- toda la planta marchita; las hojas y los frutos empiezan a caer; parte foliar libre de enfermedad.

3.2.3 Fase experimental de laboratorio

Para cultivar *A. solani*, se utilizó el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) y cloranfenicol 0.5 g/L como antibiótico, usando muestras de las plantas enfermas en el ensayo de campo para el aislado, cinco días después se reaisló el crecimiento obtenido, estos procesos fueron realizados dentro de una cámara de flujo laminar para evitar la contaminación del cultivo, para el crecimiento óptimo se usó una incubadora (memmert) a $26\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 6 y 7, respectivamente).

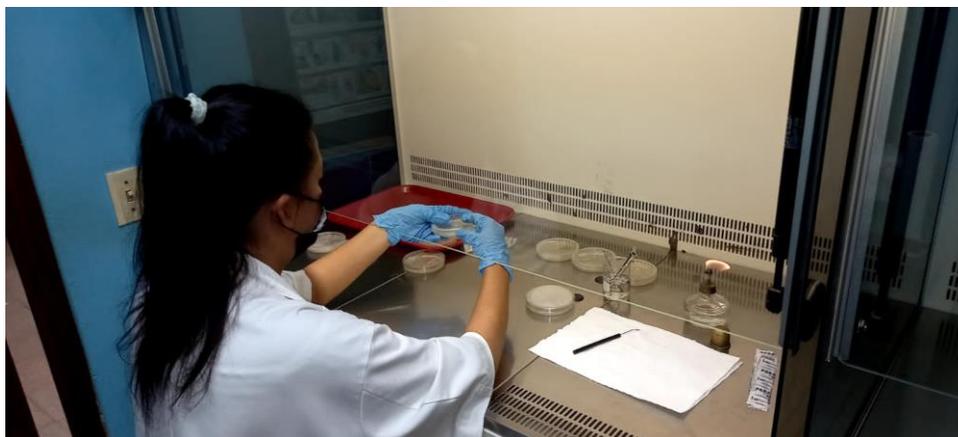


Figura 6. Siembra de *A. solani*.

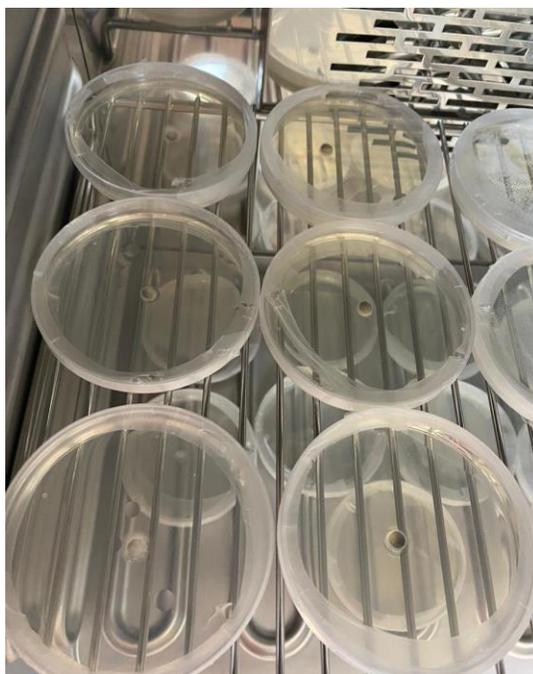


Figura 7. Incubación de *A. solani*.

La primera irradiación al cultivo de *A. solani* en los platos Petri, se efectuó tres días posterior al reaislado, y seguidamente con un intervalo de tres días entre cada una hasta completar cinco irradiaciones; agrupando los platos en diez tratamientos y dos repeticiones respectivamente, donde nueve de ellos estaban descritos por las variables tiempo (10, 20 y 30 s) y distancia (10, 20

y 30 cm) en un diseño factorial; el tratamiento restante representaba el testigo, al cual no se le irradió, sin embargo, fue incubado en las mismas condiciones.

La irradiación en laboratorio se realizó dentro de la cámara de flujo laminar, con todos los implementos debidamente esterilizados para evitar contaminación al abrirse los platos Petri (Figura 8). Para evaluar el crecimiento radial (Figura 9), se midió en cm desde el centro hacia el borde, hasta el final de este, este proceso se hizo previo a cada irradiación y ambos culminaron cuando el testigo alcanzó su máximo crecimiento.

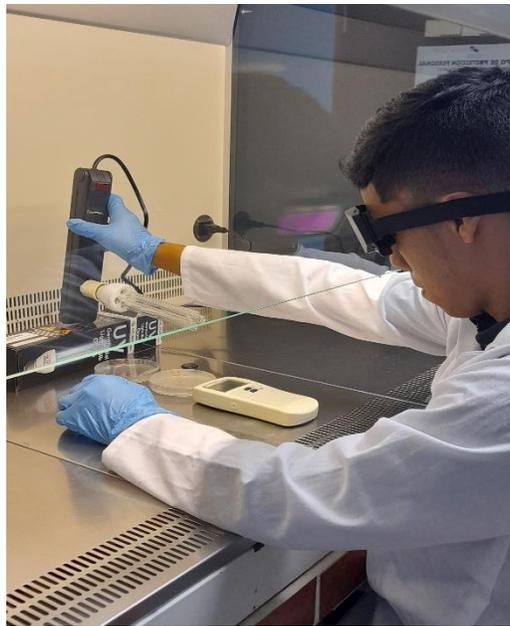


Figura 8. Irradiación con luz UV-C al cultivo de *A. solani*.

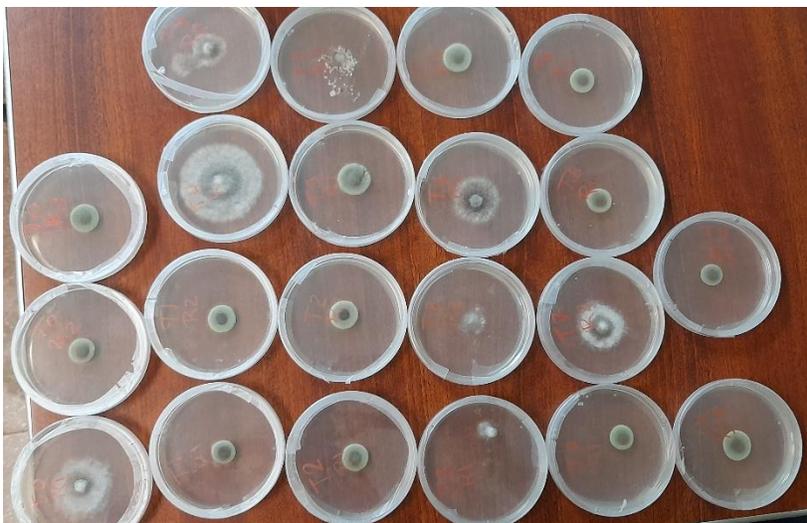


Figura 9. Crecimiento de *A. solani*.

3.2.4 Estudios fisiológicos

Preparación de muestras

Se recolectaron dos tomates por repetición de cada tratamiento como muestras para posteriormente ser analizadas, estos fueron colocados en bolsas herméticas rotuladas y se llevaron al congelador por diez días, hasta coleccionar todas las muestras. Siete días posterior a la recolección del último fruto se inició la preparación de muestras, para extraer el jugo a analizar, se mezclaron los dos tomates por repetición en un mortero o licuadora según la contextura (Figura 10), hasta homogenizar y luego se extrajo dos muestras de 1.5 mL cada una con un gotero y se depositó en dos Eppendorf respectivamente (Figura 11); por último, se colocaron en una gravilla y se llevaron al congelador.



Figura 10. Extracción del jugo de las muestras.



Figura 11. Muestras rotuladas y almacenadas en Eppendorf.

Medición de pigmentación foliar

La medición de color se realizó por medio del software imageJ según la metodología empleada por Saucedo-Acosta *et al.* (2017), Se tomaron fotos de hojas libres de la enfermedad en cada tratamiento 3 días después de cumplidas todas las

irradiaciones, las hojas fueron elegidas a la misma altura en cada planta seleccionada al azar, la foto se tomó con una página blanca de fondo, estas fueron llevadas al software el cual utiliza la escala RGB midiendo el color verde, en cada hoja se tomaron 10 subpuntos aleatorios para realizar las medidas correspondientes y con estos datos obtener una media (Figura 12).

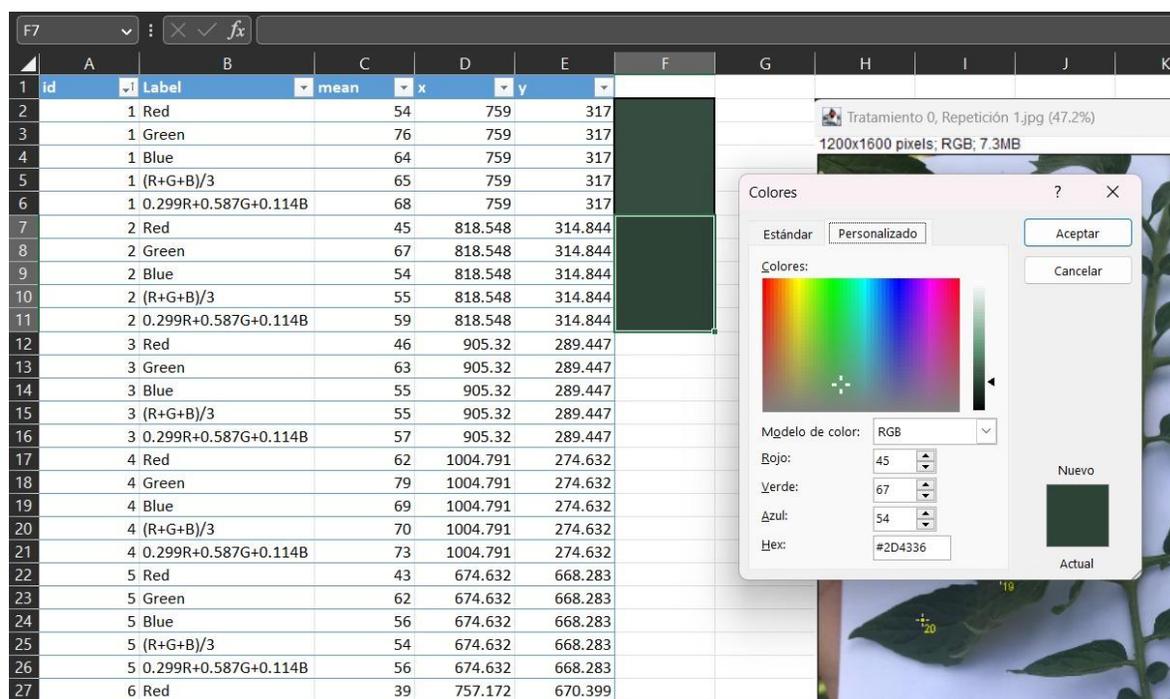


Figura 12. Colorimetría mediante imageJ.

Evaluación de azúcares reductores

Para la medición de azúcares reductores se utilizó un espectrofotómetro, mediante la metodología propuesta por Joachim *et al.* (2002) (Figura 13), donde se busca calibrar en una recta de glucosa con el reactivo de DNSA y mediante su fórmula poder cuantificar este tipo de azúcares, para determinar azúcar en tomate, 300 μ L de sustrato se reemplaza por H₂O destilada (Tabla 1).

medición consistía en colocar tres gotas de la muestra en el prisma principal del refractómetro (Figura14), cerrar la lámina procurando que la muestra se extendiera sobre la superficie del prisma y luego mirar y enfocar por el lente ocular para tener la lectura de manera adecuada (Figura 15).



Figura 14. Colocación de la muestra en el refractómetro.

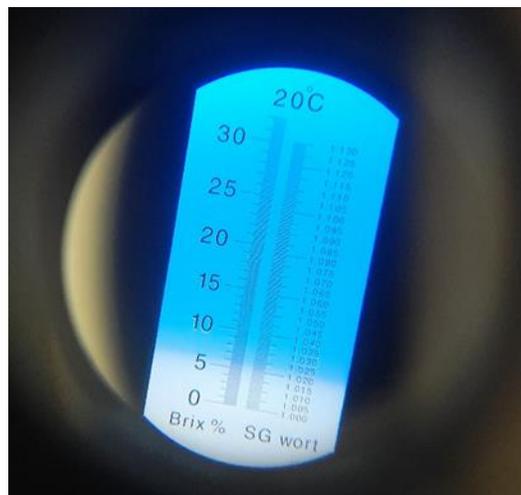


Figura 15. Lectura del refractómetro.

3.2.5 Análisis de datos

Para el ensayo en campo se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA). El progreso de la enfermedad se calificó en una escala de cinco puntos propuesta por Pandey *et al.* (2003), donde se evaluó la severidad de la enfermedad (S%), el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y la tasa de infección aparente (r) (Campbell & Madden, 1990) se calcularon del siguiente modo:

$$S(\%) = \frac{\sum i}{N(V \max)} \times 100$$

Dónde S es el porcentaje de la severidad; $\sum i$ es la sumatoria de valores observados; N es el número de plantas muestreadas y V max es el valor máximo de la escala.

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(\frac{X_{i+1} + X_i}{2} \right) * (t_{i+1} - t_i) \right]$$

Donde X_i es el porcentaje de tejido afectado en la i-ésima observación; t_i es el tiempo (días después de la siembra) en la i-ésima observación; y n es el número total de observaciones.

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \text{Log}_e \frac{n_2(1-n_1)}{n_1(1-n_2)}$$

Donde t_1 es el tiempo (días) durante la primera observación; t_2 es el tiempo durante la segunda observación; $t_2 - t_1$ es el intervalo de tiempo entre dos observaciones y posteriormente; n_1 es el S (%) en el tiempo t_1 ; y n_2 es el S (%) en el tiempo t_2 .

Los datos de las pruebas de irradiación a *A. solani* en platos Petri y la medición de pigmentación foliar fueron sometidos a la prueba para datos no paramétricos Kruskal-Wallis ($P=0.05$); y las pruebas de espectrofotometría y medición de grados Brix fueron sometidos a la prueba de análisis de varianza ANOVA ($P=0.05$).

4. RESULTADOS

4.1 Identificación de *A. solani*

Fue identificado el inóculo de *A. solani* obtenido de las muestras recolectadas mediante descripción microscópica, donde se observó: conidióforos y conidias oscuras, alargadas, multicelulares, septadas horizontal, transversal y verticalmente en las células centrales (dictiosporas), características propias de las esporas producidas por *A. solani* (Figura 16). A los tres días de la inoculación se observaron puntos necróticos de 1 – 3 mm en el haz de la hoja (Figura 17), en la mayoría de los tratamientos.

Se realizó un asilamiento y reaslamiento posterior de *A. solani* en PDA, donde del primer al cuarto día se observó micelio de color blanco afelpado; a partir del quinto día el crecimiento micelial mostró una pigmentación oscura que podía observarse por ambos lados del plato Petri.



Figura 16. Conidias oscuras, alargadas y multiseptadas horizontal, vertical y transversalmente (Dictiosporas).



Figura 17. Puntos necróticos en el haz de la hoja.

4.2 Severidad de la enfermedad en campo

Tabla 2. Porcentaje de severidad de *A. solani* en plantas de Tomate *L. esculentum*.

Tratamientos	35 DDS	38 DDS	41 DDS	44 DDS	47 DDS	50 DDS	53 DDS
T1	30.0	30.0	33.3	30.0	26.7	40.0	40.0
T2	23.3	36.7	43.3	40.0	40.0	36.7	50.0
T3	36.7	46.7	46.7	43.3	43.3	43.3	50.0
T4	30.0	43.3	43.3	36.7	30.0	33.3	46.7
T5	23.3	36.7	36.7	33.3	40.0	40.0	50.0
T6	26.7	36.7	36.7	43.3	36.7	40.0	53.3
T7	30.0	40.0	43.3	36.7	30.0	36.7	50.0
T8	23.3	33.3	33.3	33.3	26.7	36.7	40.0
T9	30.0	30.0	40.0	43.3	33.3	30.0	36.7
T0	30.0	36.7	40.0	43.3	43.3	43.3	50.0

DDS días después de la siembra.

En la severidad de la enfermedad, T1, T8 y T9 fueron los que presentaron mejor control (Tabla 2); el aumento de esta fue menor en estos tratamientos, tomando como referencia la diferencia entre la primera y última lectura.

También se calculó el valor medio de S (%) de la primera a la última observación y el ABCPE. La reacción de la planta huésped (RH) se clasificó en función de la S (%) media como muy resistente (0%-5%), resistente (5,1%-12,0%), moderadamente resistente (12,1%-25,0%), moderadamente susceptible (25,1%-50,0%), susceptible (50,1%-75,0%), altamente susceptible (75%). Todos los métodos descritos se aplicaron tanto a las plantas inoculadas y tratadas con luz UV-C en el campo como a las que no fueron tratadas (T0).

Tabla 3. Reacción del huésped (<i>L. esculentum</i>) frente a la enfermedad Tizón temprano (<i>A. solani</i>).			
Tratamientos	S (%)	ABCPE	RH
T1	43.1	585.0	MS
T2	50.6	700.05	S
T3	58.1	799.95	S
T4	49.4	674.85	MS
T5	48.8	670.05	MS
T6	51.3	700.2	S
T7	50.0	680.1	MS
T8	42.5	584.85	MS
T9	45.6	629.85	MS
T0	53.8	739.8	S

S (%), Severidad de la enfermedad; ABCPE, Área bajo la curva del progreso de la enfermedad; RH, Reacción del huésped; MS, moderadamente susceptible; S, Susceptible.

Las plantas de tomate (*L. esculentum*) de los tratamientos (T1, T4, T5, T7, T8 y T9) presentaron una reacción moderadamente resistente, siendo el T1, T8, T9 las que presentaron la severidad más baja y el T1 y T8 las que tuvieron un menor crecimiento de enfermedad (Tabla 3).

Tabla 4. Tasa de infección aparente de Tizón temprano (r) en tomate (*L. esculentum*) 38 - 53 días después de la siembra.

Tratamientos	38	41	44	47	50	53
T1	0.145	0.144	*0.145	*0.145	^a 0.142	0.145
T2	0.142	*0.144	*0.145	^a 0.144	*0.145	^a 0.143
T3	0.144	*0.145	*0.145	^a 0.144	0.145	0.144
T4	0.143	*0.145	*0.145	0.145	^a 0.144	^a 0.143
T5	0.142	*0.145	*0.145	^a 0.144	0.145	0.144
T6	0.143	*0.145	*0.144	*0.145	^a 0.144	^a 0.143
T7	0.143	*0.145	*0.145	0.145	^a 0.143	0.144
T8	0.143	*0.145	0.145	*0.146	^a 0.143	0.144
T9	0.145	0.143	*0.144	*0.146	0.145	^a 0.143
T0	0.144	*0.144	0.144	0.145	0.145	0.144

^a indica una tasa de infección aparente inferior a la observación anterior. *Indica una tasa de infección aparente superior a la observación anterior.

La primera observación se realizó a los 35 días después de la siembra. La tasa de infección aparente (r) nos indica que la enfermedad aumentó claramente en la mayoría de las observaciones entre la primera y la última lectura. El valor r periódico durante la propagación de la enfermedad y el valor r total entre la primera y la última observación se calcularon para epidemias naturales de tizón temprano (Tabla 4). La tasa de infección aparente entre dos observaciones posteriores fue más informativa que la tasa de infección total en cuanto a la propagación de la enfermedad.

4.3 Irradiación a *A. solani* en laboratorio (platos Petri)

La prueba Kruskal-Wallis muestra que existe una interacción significativa entre las distancias de irradiación (K-W=10.82, p<0.01). La prueba de comparaciones

múltiples Duns muestra que los tratamientos en las que la distancia de irradiación fue de 10 cm (D10) son significativamente diferentes al testigo ($p=0.01$) (Figura 18). Existe una tendencia entre los tiempos de exposición a la luz UV-C ($K-W=7.72$, $p=0.05$), (Figura 19).

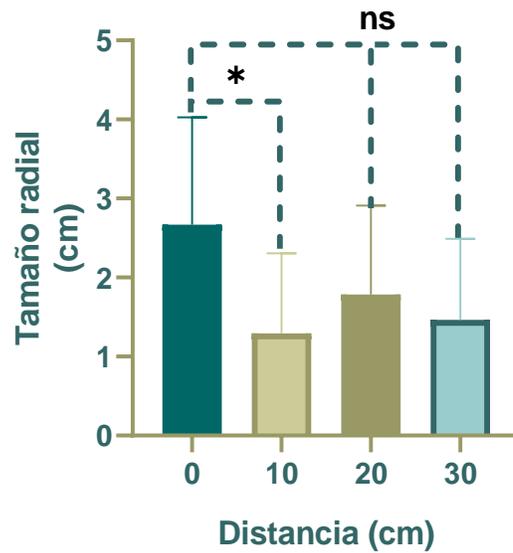


Figura 18. Media \pm DE, del tamaño radial de *A. solani* en platos Petri, según las distancias a las que fueron irradiados.

* indica diferencias significativas entre las distancias, $*p=0.05$.

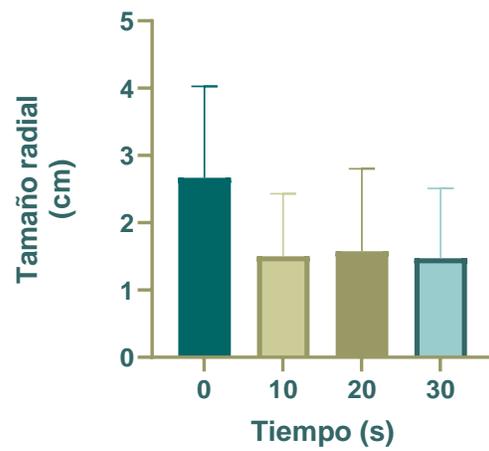


Figura 19. Media \pm DE, del tamaño radial de *A. solani* en platos Petri, según el tiempo que fueron irradiados.

4.4 Análisis fisiológicos

4.4.1 Azúcares reductores

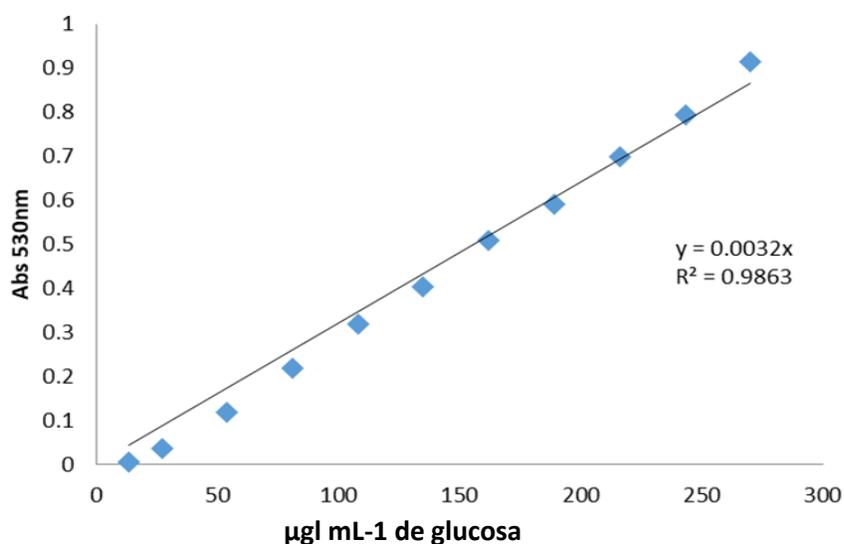


Figura 20. Recta de calibrado de Glucosa.

Tabla 5. Cantidad de azúcares reductoras ($\mu\text{g/mL}$) en los frutos de tomate por tratamiento.

TRATAMIENTOS	absorbancia A	absorbancia B	factor dilución	$\mu\text{g/mL}$ (A)	$\mu\text{g/mL}$ (B)
T1	0.500	0.512	4	625	640
T2	0.701	0.740	4	876.25	925
T3	0.567	0.656	4	708.75	820
T4	0.856	0.886	4	1070	1107.5
T5	0.704	0.634	4	880	792.5
T6	1.342	1.488	4	1677.5	1860
T7	0.850	0.848	4	1062.5	1060
T8	0.635	0.634	4	793.75	792.5
T9	0.592	0.587	4	740	733.75
T0	0.994	0.992	4	1242.5	1240

Dentro de las dos lecturas de azúcares reductoras realizadas (Tabla 5) las del T1, T3, T8 y T9 fueron las más bajas, mientras que las del T6 fueron las más altas por mucha diferencia a comparación de los demás tratamientos.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable absorbancia de las muestra de frutos de tomate (*L. esculentum*).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	8	0.481947	0.060243	70.42	0.000
Error	9	0.007700	0.000856		
Total	17	0.489646			

GL grados de libertad, SC suma de cuadrados, MC cuadrados medios.

Se comparó un solo factor (Tratamientos con la luz ultravioleta en cultivo de tomate), el cual se compone de 9 niveles, obviando el tratamiento 6 porque su absorbancia estuvo superior por gran cantidad a los demás tratamientos.

En la (Tabla 6) el análisis de varianza el valor de P es menor a 0.05, lo que indica que hay diferencia significatia entre los grupos.

Tabla 7. Resumen del modelo.

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0292489	98.43%	93.71%

El R-cuadrado ajustado es mayor de 70 (Tabla 7), por lo tanto, valida la investigación.

Tabla 8. Información agrupada utilizando el método de Tukey y un valor de confianza de 95%.

<u>Factor N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T9	2 0.99300	A
T0	2 0.99300	A
T4	2 0.8710	B
T7	2 0.84900	B
T2	2 0.7205	C
T5	2 0.6690	C
T8	2 0.634500	C
T3	2 0.6115	C D
T1	2 0.50600	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Con el método de Tukey y con una confianza de 95% (Tabla 8) podemos agrupar los tratamientos; grupo A (T9, T0), grupo B (T4, T7), grupo C (T2, T5, T8, T3), grupo D (T3, T1).

Tabla 9. Información agrupada utilizando el método LSD de Fisher y un valor de confianza de 95%.

<u>Factor N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T9	2 0.99300	A
T0	2 0.99300	A
T4	2 0.8710	B
T7	2 0.84900	B
T2	2 0.7205	C
T5	2 0.6690	C D
T8	2 0.634500	D
T3	2 0.6115	D
T1	2 0.50600	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Con el método de LSD de Fisher y con una confianza de 95% (Tabla 9) podemos agrupar los tratamientos; grupo A (T9, T0), grupo B (T4, T7), grupo C (T2, T5), grupo D (T5, T8, T3,).

4.4.2 Evaluación de grados Brix

La prueba de análisis de varianza ANOVA indicó que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($F=2.94$, $p=0.2$). Mediante la prueba de diferencias de media (Duncan) se muestra que el tratamiento 1 es significativamente diferente de los tratamientos 6 ($p=0.03$) y 7 ($p=0.01$). El tratamiento 2 es diferente del tratamiento 5 ($p=0.03$). El tratamiento 3 interactúa de forma significativa con los tratamientos 6 y 7 ($p=0.02$, $p=0.01$, respectivamente). El tratamiento 5 es diferente de los tratamientos 2, 6 y 7 ($p=0.03$, $p=0.01$, $p<0.01$, respectivamente) y el tratamiento 9 muestra diferencia significativa del tratamiento 6 y 7 ($p=0.03$, $p=0.01$) (Tabla 9).

Tabla 10. Resultados de los grados Brix según la prueba de comparaciones múltiples Duncan, $p<0.05$ valores significativos.

Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T0		0.41	0.25	0.33	0.59	0.23	0.16	0.08	0.68	0.35
T1	0.41		0.06	0.84	0.20	0.66	0.03	0.01	0.63	0.89
T2	0.25	0.06		0.05	0.50	0.03	0.73	0.48	0.14	0.05
T3	0.33	0.84	0.05		0.16	0.78	0.02	0.01	0.53	0.94
T4	0.59	0.20	0.50	0.16		0.10	0.34	0.20	0.37	0.17
T5	0.23	0.66	0.03	0.78	0.10		0.01	0.00	0.40	0.75
T6	0.16	0.03	0.73	0.02	0.34	0.01		0.68	0.08	0.03
T7	0.08	0.01	0.48	0.01	0.20	0.00	0.68		0.04	0.01
T8	0.68	0.63	0.14	0.53	0.37	0.40	0.08	0.04		0.56
T9	0.35	0.89	0.05	0.94	0.17	0.75	0.03	0.01	0.56	

4.4.3 Medición de pigmento foliar

La prueba Kruskal-Wallis mostró que existen diferencias significativas en la pigmentación foliar (color verde) entre los tratamientos ($K-W=56.9$, $p<0.01$). Mediante la prueba de comparaciones múltiples se demostró que el tratamiento 6 interactuó significativamente con el testigo (T0) ($p=0.03$) y el tratamiento 1 ($p<0.01$). Igualmente el tratamiento 7 fue diferente de manera significativa del testigo ($p<0.01$), y de los tratamientos 1 ($p<0.01$), 2 ($p<0.01$), 3 ($p=0.01$), 4 ($p<0.01$) y 5 ($p<0.01$). Y los tratamientos 8 y 9 mostraron diferencias del tratamiento 1 ($p<0.01$, simultáneamente) (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de la pigmentación foliar según la prueba de comparaciones múltiples, $p<0.05$ valores significativos.

Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T0		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.00	0.21	0.21
T1	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	0.09	0.00	0.43	0.44
T3	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	0.32	0.01	1.00	1.00
T4	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.08	0.00	0.42	0.42
T5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		0.09	0.00	0.44	0.45
T6	0.03	0.00	0.09	0.32	0.08	0.09		1.00	1.00	1.00
T7	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00		1.00	1.00
T8	0.21	0.00	0.43	1.00	0.42	0.44	1.00	1.00		1.00
T9	0.21	0.00	0.44	1.00	0.42	0.45	1.00	1.00	1.00	

5. DISCUSIÓN

5.1 Progreso de la enfermedad en campo

Alternaria spp. es un hongo de crecimiento rápido, que expone una capacidad adaptativa a la luz UV-C, aunque en el mejor de los casos este tipo de luz mantiene un control sobre este patógeno es decir que hay un retraso en la aparición de signos (Vega Iturbide, 2020).

El tratamiento 1 presenta en sus primeras observaciones que la severidad tuvo un crecimiento mínimo, el cual aumenta en las últimas lecturas (Tabla 2); El crecimiento de las plantas causa que las partes más altas de las mismas generen sombra sobre las partes más bajas, el entramado formado por la disposición espacial de las hojas y ramas, de los vegetales superiores constituye lo que se conoce como cubierta o dosel vegetal (Farfán, 2019). Esto se refiere al hecho de que las hojas superiores de la planta disminuyeron el paso de la luz UV-C y así evitó el correcto control en el cultivo, en este tratamiento el bombillo estaba a 10 cm del ápice de la planta, en cambio en los tratamientos 8 y 9 el aumento de la severidad siempre fue menor, pues en estos tratamientos la luz siempre estuvo a 30 cm, lo que indica que el campo de luz era mayor por lo tanto un mejor control. El desarrollo de nuevas hojas a lo largo del tallo también afecta a la tasa fotosintética, la captación de la radiación incidente, tanto por una mayor cantidad de sombra sobre las hojas como por un cambio en la arquitectura del dosel (Pilatti & Bouzo, 2000).

En muchos Tratamientos se observó un valor r menor al anterior (Tabla 4); lo que indica que la severidad de la enfermedad disminuyó durante ese período, Pandey *et al.* (2003), menciona que la emergencia de nuevas hojas crea más dosel foliar y

por lo tanto mayor porcentaje de parte sana de la planta; esto nos sirve como referencia para observar la capacidad de la planta de crear una resistencia a la enfermedad, más que todo el funcionamiento de un mecanismo de defensa, es decir, nos permite evaluar la diferencia del alcance de la severidad en las hojas nuevas en comparación con las hojas viejas, todo esto en función del efecto de la irradiación.

Investigaciones demuestran que exponer las plantas a dosis controladas de luz UV-C, simula una situación de estrés que lleva a la activación de los sistemas de defensa, induce la biosíntesis de fitoalexinas, lo que a su vez podría mejorar sus efectos sobre determinados objetivos biológicos (Jansen *et al.*, 2008). Algunos estudios han explorado cómo la exposición a la luz UV-C puede aumentar la producción de fitoalexinas en diferentes tipos de plantas, lo que puede mejorar su resistencia a patógenos (Marti *et al.*, 2014).

Es importante mencionar que la luz UV-C tiene un fuerte potencial para estimular las defensas de las plantas en el campo, es complicado elegir las dosis de luz UV-C y el tratamiento en el momento ideal en este caso ya que la estimulación de las defensas está condicionada por el estado fisiológico de la planta en el momento de la iluminación, que, a su vez, depende de factores ambientales y genéticos y de sus interacciones (Urban *et al.*, 2018).

Esta investigación se asemeja a los resultados con estudios realizados por Schumpp *et al.* (2012), que han señalado los efectos contrastantes de la irradiación UV-C de las hojas de varias especies de plantas, donde muchas demostraron un aumento en sus propiedades antifúngicas contra una cepa clínica de *Fusarium*

solani. Mientras que Espejel-Maycotte, (2019), concluyó que la irradiación con luz UV-C afectó significativamente el crecimiento micelial y el porcentaje de germinación de conidios de *Botrytis cinerea*, mientras que en pruebas *in vivo* se observó que, al asperjar conidios irradiados sobre pétalos de rosas, la infección se presentó de forma más lenta en comparación con pétalos asperjados con conidios no irradiados. El resultado general de estas investigaciones es que no se puede eliminar por completo la presencia de un fitopatógeno con luz UV-C, pero si controlarla y disminuir los daños ocasionados.

5.2 Irradiación a *A. solani* en laboratorio (platos Petri)

Las muestras utilizadas para el cultivo de *A. solani* en platos Petri fueron recolectadas de las plantas utilizadas en el ensayo en campo, con el fin de observar y estudiar el efecto de la luz UV-C directa sobre la capacidad de crecimiento de este patógeno en medio de cultivo, replicando los tratamientos establecidos en campo, utilizando las variables tiempo y distancia. Dado que *A. solani* es un hongo de crecimiento rápido, se realizó la primera toma de datos de su crecimiento radial desde la primera irradiación (cinco días después del reislamiento), obteniendo resultados significativos, que aportan nuevos datos (según nuestro conocimiento) sobre este método de control en Panamá.

Durante los primeros días posterior al reislamiento de *A. solani* se pudo observar un crecimiento uniforme en tamaño, de color blanco y algodonoso en todos los tratamientos, incluyendo al testigo. A partir de la primera irradiación que se realizó (cinco días posterior al reislamiento), el incremento en el tamaño radial del micelio mostró variaciones entre los tratamientos y el testigo; sin embargo, el cambio a color

oscuro y forma de anillos concéntricos se presentó igual en todos los platos Petri cultivados con *A. solani*. De acuerdo con Vega Iturbide (2020), este es un hongo pigmentado que presenta colonias caracterizadas por desarrollar un color oscuro a partir del quinto día de crecimiento, mismo que se difunde en el reverso de las placas Petri; característica que también se presentó en nuestro ensayo.

La incubación de *A. solani* se realizó en condiciones óptimas para su desarrollo en todos los cultivos, por lo que las variables de comportamiento, en este caso el crecimiento radial, fueron determinadas por el efecto de la luz UV-C en el caso de los tratamientos, en comparación con el testigo que no se expuso a la irradiación. De acuerdo con la prueba Kruskal-Wallis los tratamientos en donde se expuso los platos Petri a una distancia de 10 cm (T1, T2 y T3) del bombillo con luz UV-C, mostraron un crecimiento más lento y reducido al final de las evaluaciones, siendo significativamente diferentes del testigo, el cual mostró un crecimiento más acelerado y un tamaño radial mayor. Para el caso de los tratamientos en que la distancia de irradiación fue de 20 cm (T4, T5 y T6) y 30 cm (T7, T8 y T9) presentan variables de crecimiento entre sí y un tamaño menor con respecto al testigo, sin embargo, no son significativamente diferentes. Por otro lado, los tratamientos con un tiempo de exposición mayor a la irradiación (20 y 30 s) obtuvieron los mejores resultados, sin embargo, se expresó como una tendencia, más no hubo significancia.

Con relación a lo anterior, podemos inferir que la luz UV-C ralentiza el crecimiento micelial y el desarrollo de *A. solani* en medio de cultivo, no obstante, no detiene completamente su crecimiento, datos que coinciden parcialmente con los resultados

obtenidos por Rusacovich *et al.* (2021), quien menciona que la irradiación UV-C detuvo el crecimiento en un 100% y un 30 – 50% de *Alternaria radicina* y *Alternaria alternata* respectivamente, solo en los primeros días, mas no detuvo su crecimiento completamente; con una exposición de 180 minutos y una distancia de 10 cm. En ambos ensayos se obtuvo efectos sobre el crecimiento de especies del género *Alternaria spp.*, sin embargo, el tiempo de exposición a la luz UV-C de nuestro ensayo fue significativamente menor, lo que nos indica que *A. solani* presenta una mayor susceptibilidad a este tipo de irradiación en comparación con *A. radicina* y *A. alternata*.

Kawamura *et al.* (1999), mencionan que la melanina tiene una función directa e indirecta en la virulencia, ya que, puede actuar como "armadura", protegiendo a los hongos contra el estrés ambiental o condiciones desfavorables como temperaturas extremas, radiación ultravioleta y compuestos secretados por antagonistas microbianos, aumentando así la longevidad y la supervivencia. *A. solani* es un hongo pigmentado debido a la producción de melanina en sus conidias, como se observó en los datos obtenidos de este ensayo, los tratamientos con mejores resultados fueron los que la exposición a la luz UV-C era más cercana (10 cm) y por mayor tiempo (20 y 30 s), lo que nos indica que este hongo requiere una mayor intensidad de luz para obtener un mejor resultado en cuanto a la reducción de su crecimiento radial en medios de cultivo. Nematollahi *et al.* (2015), describe que las esporas de hongos en los que el ADN está protegido por un citoplasma concentrado y una pared celular pigmentada, necesita altas dosis de energía UV para ser destruido o controlado.

Se ha comprobado que la luz UV-C resultó ser un efectivo método de control en el crecimiento *in vitro* de hongos fitopatógenos cuyas estructuras reproductivas y conidias son hialinas. En la investigación realizada por Espejel-Maycotte (2019) obtuvo una reducción del crecimiento micelial del 100% en los primeros cuatro días posterior a la irradiación y una inhibición en la germinación de conidios del 90% en *Botrytis cinerea*, quien resalta que este hongo presentó estructuras reproductivas no melanizadas, lo que lo hace más susceptible a este tipo de irradiación.

5.3 Análisis fisiológicos

La susceptibilidad del tejido vegetal a un tratamiento de irradiación está determinada por factores como: variedades, estados fisiológicos, composición y grosor de la piel del fruto u hortaliza. Por lo tanto, la irradiación de UV-C puede tener efectos adversos cuando la intensidad es superior a la tolerada por el producto (Vega Iturbe, 2020). Para determinar si los tratamientos con luz UV-C tuvieron efectos negativos tanto en la planta como en el fruto, se realizaron análisis en la pigmentación foliar de las plantas, evaluación de los grados Brix y azúcares reductores en los frutos (maduros) producidos.

Se realizaron evaluaciones de la pigmentación foliar en cada tratamiento mediante el software ImageJ, con el fin de estudiar el efecto de la luz UV-C en la coloración del follaje. Visualmente, se pudieron observar leves cambios en la coloración de las hojas de algunos tratamientos, posterior a que fueron irradiadas, en donde se tornaban de un verde puro, a un verde más pálido o clorótico; sin embargo, la mayoría de las plantas volvieron a su coloración normal en unos días. Mediante los resultados obtenidos del software, estadísticamente se mostraron diferencias entre

la pigmentación de los tratamientos irradiados, no obstante, en comparación con el testigo, solo dos tratamientos (T6 20cm/30s y T7 30cm/10s) mostraron interacciones significativas. Este cambio en la coloración puede deberse al disturbio a nivel fisiológico producido por la irradiación, dado que una de las funciones de la luz UV-C es inducir a la planta a un estrés que le permita desarrollar la capacidad de resistencia a las enfermedades. Urban *et al.* (2016), menciona que la luz UV-C, puede llegar a inhibir la función de los cloroplastos y las mitocondrias en las plantas. Los daños asociados con la exposición a los rayos UV-C en las plantas, se pueden interpretar en términos de estrés oxidativo, al menos parcialmente (Petit *et al.*, 2009).

En los resultados obtenidos por Castronuovo *et al.* (2014), determinaron que plantas de tomates expuestas a dosis bajas de irradiación UV-C durante 10 y 30 minutos, a pesar de mostrar cambios en la pigmentación foliar, estas recuperaron su color, mientras que las plantas expuestas durante 60 y 120 minutos mostraron senescencia y amarillamiento. Determinando que dosis de irradiación UV-C bajas permiten a las plantas recuperar su estado fisiológico normal sin causar daños definitivos. Por ello, consideramos que las dosis aplicadas en nuestro ensayo no causaron daños irreversibles en ninguno de los tratamientos.

Se determinaron los grados Brix de los frutos en cada tratamiento, tomando muestra de las tres repeticiones que los conformaban a cada uno, de esta manera se obtuvo resultados promedios por cada tratamiento en un rango de 4.1 a 5.6 grados Brix, en donde estadísticamente se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, no obstante, todos mostraron resultados con rangos dentro de lo

normal en el fruto del tomate incluyendo al testigo; Silva Barrera (2021), menciona que los grados Brix del fruto de tomate en su punto de maduración y consumo fluctúan entre 4 y 5.4 con base en esto, podemos manifestar que la dosis de irradiación UV-C aplicada en todos los tratamientos no causó alteraciones en este parámetro de calidad en los frutos.

Los azúcares reductores, fructosa y glucosa, representan cerca del 50% de la materia seca y más del 95% de los azúcares totales en el tomate y sus valores oscilan entre 2,5 y 3,0 g/100 mL (Ciruelos-Calvo *et al.*, 2008).

La evaluación de los resultados de los azúcares reductores mostró datos muy por debajo del rango de lo que se espera en el fruto de tomate, esto pudo deberse a la cantidad de días que estuvieron los frutos en refrigeración (10 días) para completar la colección de la primera cosecha por planta, sin incluir los días que se tuvieron que esperar para la disponibilidad del laboratorio tanto para la preparación de muestra como para la medición de azúcares reductores (7 días).

Anoro-Segura *et al.* (2013), resalta que, a partir del octavo día tras la cosecha del fruto, los azúcares van disminuyendo de forma considerable ya que los hidratos de carbono sufren una serie de cambios bioquímicos durante la maduración, se produce una degradación de los polisacáridos de las membranas celulares que ejercen una contribución importante de azúcares y posteriormente su contenido disminuye.

Dentro de las comparaciones de las absorbancias por tratamiento (Tabla 7 y 8), hubo diferencia significativa entre grupos, pero esta significancia no puede tomarse

como referencia en la investigación, ya que hubo alteraciones en los resultados de los tratamientos, incluyendo el testigo, por la cantidad de tiempo en que se demoró hacer el estudio. Tomando en cuenta que los tratamientos produjeron frutos con días de diferencia entre sí. Por todo lo anterior no se puede deducir que las diferencias de azúcares reductores presentes en cada tratamiento estuvieron determinadas por la irradiación al que se expuso a las plantas.

6. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada para cultivar las plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) fue exitosa, garantizando un buen desarrollo de estas desde el trasplante hasta la cosecha.
- Mediante la inoculación directa se obtuvo un cien por ciento de incidencia de *Alternaria solani*, con una sintomatología visible de la enfermedad a los tres días. Debido a este método utilizado y el manejo agronómico proporcionado, solo se dio la presencia de esta enfermedad.
- La irradiación con luz UV-C resultó ser más efectiva en el tratamiento uno (10cm/10s) y ocho (30cm/20s) con base en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Mediante la severidad por lectura se determinó mayor efectividad durante las primeras irradiaciones con el tratamiento uno y en las últimas con el tratamiento nueve (30cm/30s).
- La luz UV-C ralentizó el crecimiento radial de *Alternaria solani* en medio de cultivo PDA, obteniendo los mejores resultados en los tratamientos donde la distancia de irradiación fue de 10 cm y el tiempo de exposición fue de 20 y 30 s (T2 y T3).
- Las irradiaciones a las distancias y tiempos establecidos no ocasionaron alteraciones en los parámetros de calidad del fruto evaluados (azúcares reductores y grados Brix). Mientras que, en la pigmentación foliar, ocasionó un amarillamiento temporal.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar con esta metodología para un nuevo estudio enfocado en la prevención de enfermedades causadas por fitopatógenos.
- Evaluar la luz UV-C como control de hongos fitopatógenos no pigmentados.
- Realizar investigaciones en función del efecto de la luz UV-C en la activación de mecanismos de defensas en las plantas.
- Evaluar otros posibles efectos adversos de la irradiación UV-C a nivel fisiológico en este y otros cultivos.
- Establecer diferentes metodologías para futuras investigaciones en cultivos y patógenos de importancia económica en Panamá.
- Leer cuidadosamente las advertencias descritas en los empaques de las bombillas de luz UVC a utilizar.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anoro-Segura, C., Asensio Casas, E., & Menal Puey, S. (2013). Evaluación de la calidad nutricional y organoléptica del tomate rosa de Barbastro. Trabajo Fin de Grado Universidad de Zaragoza, España.

Ahuja, I., Kissen, R., & Bones, A. M. (2012). Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends Plant Science*, 17(2), 73.

Barbagelata, R., Fuentes, V., & Baschini, M. (2019). Grados Brix (índice refractométrico): Concepto Físicoquímico Aplicado a la Resolución de un Problema Agronómico. *INDUSTRIA & QUÍMICA*, 11.

BioCAB, (2015). *Alternaria solani*, Plagas y Enfermedades, Tomate. Consultado en línea el 30 de julio de 2023. Disponible en: <https://biocab.wordpress.com/2015/03/04/alternaria-solani/>

Bridgen, M. P. (2016). Using ultraviolet-C (UV-C) irradiation on greenhouse ornamental plants for growth regulation. In *VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134* (pp. 49-56).

Brown, J. E., Lu, T. Y., Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J.Y., Wilson, C. L., Collins, D. J., Wilson, M. A., Klgwegbe, E. C., Chalutz, E., & Droby, S. (2001). The effect of low dose ultraviolet light-C seed treatment on induced resistance in cabbage to black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). *Crop Protection*, 20(10), 873-883.

- Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons.
- Camacho, A. (2018). Análisis De Alta Tecnología Para Azúcares Reductores. *Analitek*. Consultado en línea el 18 de abril de 2023. Disponible en: <https://blog.analitek.com/analisis-de-alta-tecnologia-para-azucares-reductores-0-1>
- Castronuovo, D., Sofo, A., Tataranni, G., Lovelli, S., Candido, V., & Scopa, A. (2014). UV-C irradiation effects on young tomato plants: Preliminary results. *Pakistan Journal of Botany*, 46(3), 945-949.
- Ciruelos-Calvo, A., De la Torre, R., & González-Ramos, C. (2008). Parámetros de calidad en el tomate para industria. *La agricultura y la ganadería extremeñas*.
- Christen, L., Lai, C. T., Hartmann, B., Hartmann, P. E., & Geddes, D. T. (2013). Ultraviolet-C irradiation: a novel pasteurization method for donor human milk. *PLoS One*, 8(6), e68120.
- Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., Meléndez-Valdés, F. T., & Fiñana, I. T. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba (España), 1-8.
- Espejel-Maycotte, E. Z. (2019). Uso de luz UV-C para mejorar la calidad postcosecha de rosa (*Rosa hybrida*) (Master's thesis).

- Farfán, F. F. (2019). Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Flores, S., & Hernández, C. (2016). Evaluación bromatológica del *Lycopersicon esculenta* M. (tomate regional) y su capacidad antioxidante. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú.
- González, L. C. (1976). Introducción a la Fitopatología. Costa Rica. Edit. IICA. 148 P. P. 73, 101.
- Grigolli, J. F. J., Kubota, M. M., Alves, D. P., Rodrigues, G. B., Cardoso, C. R., Silva, D. J. H. D., & Mizubuti, E. S. G. (2011). Characterization of tomato accessions for resistance to early blight. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 174-180.
- Guerra, J., Villareal, J., Herrera, J., Aguilera, V., & Osorio, O. (2016). Manejo integrado del cultivo de tomate industrial. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Consultado en línea el 18 de marzo del 2023. Disponible en: <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-manejo-integrado-del-cultivo-de-tomate-industrial/>
- Jansen, M. A., Hectors, K., O'Brien, N. M., Guisez, Y., & Potters, G. (2008). Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops. *Plant Science*, 175(4), 449-458.

- Jaramillo, J. E., & Tamayo, P. J. (2013). Enfermedades del tomate, pimentón, ají y berenjena en Colombia: guía para su diagnóstico y manejo (No. Doc. 26730) CO-BAC, Bogotá).
- Joachim, K., Roland, G., Heather, P., & Kurt, V. (2002). Determination of xylanase, β -glucanase, and cellulase Activity. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374(1), 80-87.
- Kawamura, C., Tsujimoto, T., & Tsuge, T. (1999). Targeted disruption of a melanin biosynthesis gene affects conidial development and UV tolerance in the Japanese pear pathotype of *Alternaria alternata*. *Molecular plant-microbe interactions*, 12(1), 59-63.
- Marti, G., Schnee, S., Andrey, Y., Simoes-Pires, C., Carrupt, P. A., Wolfender, J. L., & Gindro, K. (2014). Study of leaf metabolome modifications induced by UV-C radiations in representative *Vitis*, *Cissus* and *Cannabis* species by LC-MS based metabolomics and antioxidant assays. *Molecules*, 19(9), 14004-14021.
- Maurya, S., Regar, R., Kumar, S., & Dubey, S. (2022). Management tactics for early blight of tomato caused by *Alternaria solani*: a review. *Journal of Plant Biology and Crop Research*, 5(1), 1062.
- Mayorga, C., Tsukagoshi, T., & Sasaki, A. (2019). Effect on the Growth and Nutritional Components in Two Red Lettuces (*Lactuca sativa* L.) Cultivated Under UV Light in a Mini Plant Factory. Consultado en línea el 1 de abril de 2022. Disponible en: <https://arpgweb.com/journal/journal/14>

Mercado-Sierra, A., Mena-Poriales J. (1992). El género *Alternaria* (Hyphomycetes, Deuteromycotina) en Cuba. Instituto de Ecología y Sistemática, Academia de Ciencias de Cuba, 37(1-4), 33-62.

MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). (2022). Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Dirección de Agricultura - Serie histórica 2021-2022. Consultado en línea el 13 de marzo del 2023. Disponible en: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2022/09/SERIE-HISTORICA1990-2021-22-DAG-.pdf?csrt=6056511173250056809>

Millán, D., Romero, L., Brito, M., & Ramos, A. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. Consultado en línea el 1 de abril de 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427743080011.pdf>

Mishra, A. K., Choi, S. J., & Baek, K. H. (2020). Application of ultraviolet C irradiation for the increased production of secondary metabolites in plants. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 30(5), 1082-1092.

Moreano Pilatasig, M. M. (2015). Determinación de azúcares reductores y su relación con carbohidratos no absorbidos en niños (a) del centro de educación inicial "María Montessori" del cantón Latacunga en el período 2014-2015 (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias de la Salud-Carrera Laboratorio Clínico).

Nematollahi, A. R., Badiie, P., & Nournia, E. (2015). The efficacy of ultraviolet irradiation on Trichophyton species isolated from nails. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 8(6).

- Osorio, O., Arango, O., & Hurtado, A. M. (2012). Inhibición de la germinación de cuatro materiales de arveja (*Pisum sativum*), mediante luz ultravioleta tipo C. *Vitae*, 19(1), S63-S65.
- Pachau, Z., & Tiwari, R. (2008). Ultraviolet light-its effects and applications. *Science Vision*, 8(4), 128-136.
- Pandey, K. K., Pandey, P. K., Kalloo, G., & Banerjee, M. K. (2003). Resistance to early blight of tomato with respect to various parameters of disease epidemics. *Journal of General Plant Pathology*, 69, 364-371.
- Petit, A. N., Baillieul, F., Vaillant-Gaveau, N., Jacquens, L., Conreux, A., Jeandet, P., ... & Fontaine, F. (2009). Low responsiveness of grapevine flowers and berries at fruit set to UV-C irradiation. *Journal of Experimental Botany*, 60(4), 1155-1162.
- Pilatti, R. A., & Bouzo, C. A. (2000). Nota corta: efecto del bajado de plantas sobre la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en invernadero. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 15(1-2), 143-150.
- Reyes, C., (2017). Tizón Tardío en Tomate, *Phytophthora infestans*. Con sultado en línea el 22 de marzo de 2022. Disponible en: <https://panorama-agro.com/?p=2414>
- Reyes, M., Arredondo, S., Nuñez, F., Sandoval, C., & Perez, F. (2016). Control de tizón en tomate industrial mediante un sistema de alerta temprana.

- Rusakovich, A. A., Shashko, A. J., Vetoshkin, A. A., Soldatenko, A. A., Bolvanovich, V. V., Smolich, I. I., Sokolik, A. I., Shashko, Y. K., & Demidchik, V. V. (2021). El efecto de la radiación de diodos ultravioleta en la tasa de crecimiento de las colonias de *Alternaria*. *Revista de la Universidad Estatal de Bielorrusia. Biología*, (2), 19-28.
- Sánchez-Valenciano, D. (2014). Análisis del software ImageJ para el análisis científico de imágenes.
- Sauceda-Acosta, C. P., González-Hernández, V. A., Sánchez-Soto, B. H., Sauceda-Acosta, R. H., Ramírez-Tobías, H. M., & Quintana-Quiroz, J. G. (2017). Macf-ij, método automatizado para medir color y área foliar mediante imágenes digitales. *Agrociencia*, 51(4), 409-423.
- Silva Barrera, J. M. (2021). Evaluación de grados brix como herramienta para determinar el punto óptimo de cosecha con dos aplicaciones de k en tomate (*Solanum lycopersicum M.*), Quito - Ecuador (Master's thesis).
- Schumpp, O., Bruderhofer, N., Monod, M., Wolfender, J. L., & Gindro, K. (2012). Ultraviolet induction of antifungal activity in plants. *Mycoses*, 55(6), 507-513.
- Song, W., Ma, X., Tan, H., & Zhou, J. (2011). Abscisic acid enhances resistance to *Alternaria solani* in tomato seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(7), 693-700.
- Tarrán, E. P. (2002). Desinfección por luz ultravioleta. Sao Paulo-Brasil: Tech Filter.

- Urban, L., Charles, F., Miranda, M. R. A., & Aarouf, J. (2016). Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 1-11.
- Urban, L., Sari, D. C., Orsal, B., Lopes, M. M. D. A., Miranda, M. R. A., & Aarouf, J. (2018). UV-C light and pulsed light as alternatives to chemical and biological elicitors for stimulating plant natural defenses against fungal diseases. *Scientia Horticulturae*, 235, 452-459.
- Valdés-Holguín, N. J. (2018). Revisión del uso de la luz ultravioleta como alternativa agroindustrial y ambiental al uso de agua clorada. Maestría en Ingeniería Ambiental.
- Vega Iturbide, M. A. (2020). Evaluación del efecto de la irradiación azul, UV-C y sus combinaciones sobre el crecimiento de microorganismos deterioradores en jitomate (*Solanum lycopersicum* var uva) (Bachelor's thesis).
- Wright, H. B., & Cairns, W. L. (1998). Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva.