

Análisis bibliográfico para la formulación de variables en la puesta en marcha de un sistema
germicida de radiación UV-C para aplicación en productos post-cosecha

Presentado por:

Johanna Milena Camargo Cortes

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C. Colombia
Julio de 2020

Análisis bibliográfico para la formulación de variables en la puesta en marcha de un sistema germicida de radiación UV-C para aplicación en productos post-cosecha

Johanna Milena Camargo Cortes

Trabajo de Grado Presentado Para Obtener El Título De
Ingeniera Ambiental

DIRECTOR

Ph.D. Iván Alejandro Ávila León

Modalidad de proyecto:

Monografía

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C. Colombia

Julio de 2020

Nota de aceptación:

Firma de director de tesis: Ph.D. Iván Alejandro Ávila León

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 04 de junio del 2020

*Primeramente, a Dios al creador y mentor de la vida (salmos 8:3-4);
A mis padres y hermanas que estuvieron conmigo en todo este proceso de
formación a pesar de la distancia; y que son el mejor regalo que Dios me
ha obsequiado
A mis tíos adoptivos José y Ana L. que estuvieron cuidando de mí.*

Agradecimientos

A Dios por guardarme, guiar mi camino, por su amor inconmensurable y darme licencia para el desarrollo de este proyecto de grado.

A mi papá por su esfuerzo de brindarme ese apoyo económico, por ese gran ejemplo de vida que siempre me inculco y me formo como persona.

A mi tutor de tesis el Dr. Iván Alejandro Ávila León por su paciente, esfuerzo, tiempo y orientación durante todo este proceso, y como maestro de la Facultad de ingeniería ambiental aportó en gran manera a mi formación profesional con sus conocimientos, durante el aprendizaje que obtuve en el semillero con el profe, porque por muy absurdas que fueran mis preguntas siempre estuvo presto a contestar mis inquietudes.

A Sebastián, Liceth y Claudia que valoro muchísimo su apoyo incondicional en cada corre, corre a lo largo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| I. INTRODUCCIÓN | 15 |
| II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 17 |
| III. OBJETIVOS..... | 18 |
| A. Objetivo general | 18 |
| B. Objetivos específicos | 18 |
| IV. MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 4.1. Generalidades de la luz ultravioleta | 19 |
| 4.2. Efecto de la radiación UV-C en los microorganismos..... | 20 |
| 4.3. Variables de diseño para un prototipo de desinfección UV-C | 20 |
| 4.3.1 Dosis de irradiación | 20 |
| 4.3.2 Intensidad de radiación: | 21 |
| 4.3.3 Tiempo de exposición de radiación | 21 |
| 4.3.4 Distancia de radiación..... | 21 |
| 4.4. Generalidades del Reino Fungi | 21 |
| 4.4.1. Hongos fitopatógenos en flores | 22 |
| 4.4.1.1. Propagación de hongos fitopatógenos | 23 |
| 4.4.1.2. Cladosporium..... | 24 |
| 4.4.1.3 Morfología de Cladosporium..... | 25 |
| V. ESTADO DEL ARTE | 27 |
| 5.1 UV-C como tratamiento en semillas | 27 |
| 5.2 Desinfección UV-C para cereales | 28 |
| 5.3 Desinfección frutas y semillas..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 5.4. Efectos del tratamiento con luz ultravioleta sobre la fisiología postcosecha de frutas y verduras. | 31 |
| VI. METODOLOGÍA | 32 |
| 6.1. Revisión bibliográfica, análisis de variables e inteligencia competitiva..... | 32 |
| | 32 |
| 6.1.1 Formulación de ecuaciones iniciales de búsqueda..... | 33 |
| 6.1.2. Criterios de selección:..... | 35 |
| 6.1.3. Análisis de la información recopilada de ecuaciones de búsqueda iniciales | 37 |
| 6.2 Reconstrucción y refinamiento de la ecuación de búsqueda..... | 38 |
| 6.3 Búsqueda de las variables de diseño en las ecuaciones refinadas (R1, R2, R3 y R4)..... | 40 |
| VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 40 |
| 7.1. Análisis de criterios de selección de ecuaciones iniciales de búsqueda..... | 40 |
| 7.2 Análisis de las palabras claves de las primeras ecuaciones de búsqueda..... | 42 |
| 7.3. Análisis de resultados de las ecuaciones iniciales de búsqueda..... | 43 |
| 7.3.1. Análisis bibliométrico de ecuaciones iniciales de búsqueda | 46 |
| 7.4. Análisis de información bibliométrica ecuaciones refinadas (R1, R2, R3, R4)..... | 53 |
| 7.4.1 Información bibliométrica ecuación R1..... | 54 |
| 7.4.2 Información bibliométrica ecuación R2..... | 54 |
| 7.4.3. Información bibliométrica ecuación R3..... | 56 |
| 7.4.4 Información bibliométrica ecuación R4..... | 57 |
| 7.5. Análisis de las variables para la operación de equipo fungicida basado en las ecuaciones refinadas | 58 |
| 7.5.1. Recopilación de variables de análisis de las ecuaciones refinadas | 58 |
| 7.5.2 Análisis de Documentos con información completa de las variables:..... | 64 |
| 7.5.3. Análisis de medidas de tendencia central de las variables de diseño | 68 |
| 7.5.3.1 Dosis de radiación | 68 |

| | |
|--|----|
| 7.5.3.2 Distancia de radiación | 71 |
| 7.5.3.3 Tiempo de exposición | 72 |
| 7.5.3.4 Porcentaje de fase de oscuridad: | 73 |
| 7.6 Consideraciones a tener en cuenta para el funcionamiento de un aparato germicida | 74 |
| VIII. CONCLUSIONES..... | 76 |
| IX. RECOMENDACIONES..... | 77 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |
| XI. ANEXOS | 83 |
| 10.1 Información preliminar para realizar el aislamiento del hongo Cladosporium..... | 83 |
| 10.2 Aislamiento e identificación de hongo..... | 84 |
| 10.2.1 materiales | 84 |
| 10.2.2 Métodos de aislamiento de hongo fitopatógeno a partir de matriz biológica infectada | 86 |
| 10.2.2.1 Método por diluciones en serie | 86 |
| 10.2.2.2 Método siembra en estría a partir de la muestra STOCK | 87 |
| 10.2.2.3 Método de microcultivo | 87 |
| 10.2.2.4 Tinción de azul de metileno | 87 |
| 10.2.2.5 Resiembra..... | 88 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| TABLA. I. LOS 10 PRINCIPALES PATÓGENOS FÚNGICOS DE PLANTAS | 23 |
| TABLA. II. ECUACIONES DE BÚSQUEDA UTILIZADAS EN SCOPUS..... | 33 |
| TABLA. III. ARTÍCULOS QUE APLICARON AL TEMA DE INVESTIGACIÓN | 35 |
| TABLA. IV. N° DE PORCENTAJES DE DOCUMENTOS DE ACCESO ABIERTO QUE SI APLICA AL TEMA DE INVESTIGACIÓN | 38 |
| TABLA. V. NUEVAS ECUACIONES DE BÚSQUEDA | 39 |
| TABLA. VI. N° DE ARTÍCULOS QUE MENCIONAN LAS VARIABLES DE BÚSQUEDA | 40 |
| TABLA. VII. INFORMACIÓN LEVANTADA DE VARIABLES DE DE ESTUDIO..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| TABLA. VIII. ECUACIONES CON MEJORES RESULTADOS DE BÚSQUEDA | 44 |
| TABLA. IX. COINCIDENCIA DE RESULTADOS DE BÚSQUEDA..... | 45 |
| TABLA. X. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE BÚSQUEDA, ECUACIÓN # 2 | ¡Error! Marcador no definido. |
| TABLA. XI. NÚMERO DE DOCUMENTOS CATEGORIZADOS EN LAS ECUACIONES FINALES REFINADAS..... | 63 |
| TABLA. XII. DOCUMENTOS PARA ANÁLISIS DE VARIABLES CON INFORMACIÓN INCOMPLETA | 63 |
| TABLA. XIII. REVIEWS RESULTANTES DE LAS ECUACIONES DE BÚSQUEDA REFINADA | 63 |
| TABLA. XIV. DOCUMENTOS CON INFORMACIÓN DE VARIABLES COMPLETAS..... | 66 |
| TABLA. XV. VARIABLES DE DISEÑO EN DOCUMENTOS CON INFORMACIÓN DE RESISTENCIA INDUCIDA EN PLANTAS POR LUZ UV-C..... | 67 |
| TABLA. XVI. FRECUENCIA DE DOSIS DE RADIACIÓN | 68 |
| TABLA. XVII. FRECUENCIA DE DISTANCIAS DE RADIACIÓN..... | 71 |
| TABLA. XVIII. FRECUENCIA DE TIEMPOS DE EXPOSICIÓN..... | 73 |
| TABLA. XIX. MATERIALES DE LABORATORIO PARA AISLAR EL HONGO CLADOSPORIUM..... | 85 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Fig. 1. Posicionamiento de la luz UV con respecto al espectro de luz | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 2. Posicionamiento de la luz UV con respecto al espectro de luz. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 1. Esquema de un hongo fitopatógeno penetrando directamente en una planta: a) propágulo; b) tubo germinal; c) apresorio; d) hifa de penetración y vesícula; e) haustorio..... | 24 |
| Fig. 2. (izq.) Microscopía de un cultivo de <i>Cladosporium</i> sp (der.) Fuente: (Cepero et al., 2012). Morfología de <i>Cladosporium</i> ; muestra de hojas clavel con manchas foliares; material vegetal donado por la empresa Flexpor. Tomada de: Laboratorio Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño. | 26 |
| Fig. 3. Plataforma de base de búsqueda de Scopus | 32 |
| Fig. 4. Información bibliométrica ecuación No. 2. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus ... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 5. Información bibliométrica ecuación No. 3. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. C). Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 6. Información bibliométrica ecuación No. 3. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. C). Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | 48 |
| Fig. 7. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. Fuente: Scopus. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 8. Información bibliométrica ecuación No. 4. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | ¡Error! Marcador no definido. |
| Fig. 9. Información bibliométrica ecuación No. 6. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. Fuente: Scopus | 50 |
| Fig. 10. Información bibliométrica ecuación No. 6. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | 51 |
| Fig. 11. Información bibliométrica ecuación No. 7. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | 52 |
| Fig. 12. Información bibliométrica ecuación No. 8. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | 53 |
| Fig. 13. Operación booleana con el operador AND en la ecuación R2 | 54 |
| Fig. 14. Información bibliométrica Ecuación R2. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus. | 55 |
| Fig. 15. Información bibliométrica Ecuación R3. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus | 57 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Fig. 16. Información bibliométrica Ecuación R4. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus</i> | <i>58</i> |
| <i>Fig. 17. A). Hojas de clavel con presencia de mancha foliar B). Muestra de material infectado en tubo de ensayo. Tomado de: Laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Fig. 18. Morfología de Cladosporium. A) hifas septadas (aumento 40x). B) conidios ovalados, color marrón y verde. Tomada del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño</i> | <i>88</i> |
| <i>Fig. 19. A) Hongo expuesto a rayos UV. B) hongo sin ningún tipo de exposición lumínica. Tomada de: Laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño</i> | <i>89</i> |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Gráfica. 1. Porcentaje de artículos relacionados con cultivos agrícolas postcosecha irradiados con UV-C.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Gráfica. 2. Porcentaje de artículos relacionados con patógenos irradiados con UV-C</i> | <i>42</i> |
| <i>Gráfica. 3. Porcentaje de Temas encontrados en la búsqueda de radiación UV-C</i> | <i>43</i> |
| <i>Gráfica. 4. Resultados de búsqueda ecuación 5,6,7 y 8 de libre acceso.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Gráfica. 5. Porcentaje de hongos irradiados con luz UV-C.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Gráfica. 6. Habilidad de Botrytis cinerea en productos de postcosecha.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Gráfica. 7. Porcentaje de inhibición de esporas irradiadas con UV-C después de un periodo de oscuridad. Fuente: Autora</i> | <i>74</i> |

RESUMEN

En el presente trabajo se planteó realizar una revisión bibliográfica, que permita definir criterios de diseño, para un prototipo de sistema automático para control de fitopatógenos en cultivos agrícolas, utilizando radiación UV-C. Esta investigación es una iniciativa junto con la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica (FIMEB), la cual se encargará de la construcción del prototipo, por medio de lámparas conectadas a un sistema de potencia que permita generar ciclos de radiación sobre los cultivos de manera programada. Las variables a revisar para esta investigación fueron: tiempo de exposición, distancia de radiación y dosis de radiación.

Para realizar esta revisión bibliográfica se realizó una búsqueda en la base de datos *Scopus*, llevando a cabo un rastreo de la información con la ayuda de operadores booleanos y operadores de trocamientos, lo cual permitió formar ecuaciones de búsqueda que se fueron sistematizando hasta obtener un sistema de ecuaciones más refinadas, para finalmente hacer un análisis de la información recopilada.

Palabras clave: Radiación UV-C, tiempo de exposición, hongo fitopatógeno, ecuaciones de búsqueda, base de datos *Scopus*

ABSTRACT

In the present work, it was proposed to carry out a bibliographic review, to define design criteria, for a prototype of an automatic system for the control of phytopathogens in agricultural crops, using UV-C radiation. This research is an initiative together with the Faculty of Mechanical, Electronic and Biomedical Engineering (FIMEB), which will be in charge of the construction of the prototype, by means of lamps connected to a power system that allows generating radiation cycles on the crops of scheduled way. The variables to review for this investigation were: exposure time, radiation distance and radiation dose.

To carry out this bibliographic review, a search was made in the Scopus database, carrying out a search of the information with the help of Boolean operators and operators of changes, which allowed to form search equations that were systematized until obtaining a system. Of more refined equations, to finally make an analysis of the information collected.

Key words: UV-C radiation, exposure time, plant pathogen fungus, search equations, *Scopus* database

I. INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) ha sido utilizada en varios países de Europa como una técnica para el control de fitopatógenos para el tratamiento de postcosecha en cultivos agrícolas. La luz UV-C tiene un potencial de ejercer efectos inhibitorios, perjudiciales dentro y fuera de la célula de los agentes fitopatógenos, utilizándose también como un agente estimulante en las plantas como mecanismos de respuesta de adaptación al estrés biótico y abiótico. Los hongos fitopatógenos son los principales responsables de pérdidas inmensurables en los tiempos de pre y postcosecha de varias hectáreas de cultivos que han tratado de ser controlados con el suministro de agroquímicos, pero que realmente se han hecho más resistentes por la aparición de mutaciones en su ADN; "se estima que las pérdidas de hectáreas de cultivos están en el orden de 5-25% en países desarrollados y 20-50% en países en desarrollo" [1]. Existen alrededor de más de 8.000 especies de hongos que producen enfermedades en las plantas, parte del ciclo de vida de los hongos viven en ellas y otra parte en el suelo, desarrollándose sobre la superficie de la planta o por lo menos cerca de ella, causando que se dispersen las esporas fácilmente [2].

Colombia se encuentra como el segundo país con más exportaciones a nivel mundial seguido de Holanda, primer exportador en el mundo de claveles y primer proveedor de los Estados Unidos, teniendo este sector una gran importancia en la generación de empleos en la nación. El clavel es una flor derivada de especies ancestrales de *D. caryophyllus* siendo nativa de Europa Meridional y Asia Occidental fue traída a Colombia a partir de los años setenta y ochenta [3]. Para lograr esta competencia tan alta en el mercado se debe a que Colombia aparte de poseer factores propios como su ubicación geográfica, topografía, clima, luminosidad y cualidades como belleza de la misma planta cuenta con un buen sistema controlado de cadena en frío, este proceso alarga la vida útil de la flor manteniendo este sistema desde el corte hasta la entrega del cliente final [4],[5] permitiendo durabilidad y mayores rendimientos de producción en el país, pero aun así existe una preocupación puesto que el clavel se ha visto seriamente afectado por el hongo *Cladosporium echinulatum*, generando una enfermedad comúnmente llamada "ojo de gallo" la cual comienza como una mancha foliar. Esta enfermedad ataca principalmente la parte aérea de la planta, especialmente flores y hojas. En las flores el hongo provoca en los pétalos manchas foliares de color marrón claro. El botón floral de la planta presentan afectaciones severa que generan que se abran de forma

prematura y las flores que emergen no alcanzan su tamaño normal, la infección mancha la flor generando deformación que impiden su comercialización [6]

En este trabajo se realizó una revisión bibliográfica en la base de búsqueda de *Scopus*; mediante la formulación de ecuaciones de búsqueda que tuviese la combinación de operadores boléanos y operadores de truncamiento, para hacer una búsqueda más específica y acertada que consultase sobre la radiación UV-C para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos en cultivos agrícolas de postcosecha; se estudiaron variables como la distancia de radiación, tiempo de exposición y dosis de irradiación, que causan inhibición del hongo provocando daños estructurales en su ADN.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria agrícola de alimentos y floricultura, es común que se generen problemas en los productos por el efecto de patógenos, los cuales son de cuatro tipos: bacterias, virus, protozoos y hongos. El control de estos patógenos es fundamental para que los productos puedan ser comercializados, consumidos o exportados. El control de estos microorganismos se realiza comúnmente con productos químicos a base de Azoxystrobin, Azufre, Benomil y Bitertano, entre otros. Lo cual, aunque efectivo como método de control, resulta en ciertos casos peligroso para la salud humana, tanto para el consumidor como para el operario que los administra [7],[8],[9].

Los plaguicidas, bien sean protectantes o preventivos y erradicantes, pueden dejar trazas en los productos finales lo cual influye en la calidad de los mismos y la posibilidad de comercialización. La tendencia del mercado es generar productos libres de plaguicidas, esto debido a las alertas formuladas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por tal motivo es necesario la incorporación de nuevas técnicas y tecnologías limpias que sustituyan a los productos químicos; por ende la desinfección con radiación UV se considera un proceso físico, que de forma controlada no afecta el crecimiento ni el desarrollo normal de las plantas, a diferencia de la desinfección con productos químicos como Dazomet, Bromuro de Metilo, Cloropicrina, siendo productos prohibidos en muchos países, pues representan un alto grado de toxicidad para el ambiente y el ser humano[8], [9],[10].

Teniendo en cuenta estas consideraciones y el importante mercado que representan la industria agrícola, alimentaria y floricultura, es que planteamos el uso de radiación UV-C para control de fitopatógenos, mediante el uso de variables como tiempo de exposición, distancia y dosis de irradiación, esto con el fin de generar una alternativa limpia y saludable al control de gérmenes, que sea de uso práctico, seguro y viable económicamente para las empresas del sector agroindustrial. Es aquí donde surge la pregunta hipótesis

¿Cómo obtener información más específica en la base de *Scopus*, que permita relacionar las variables operacionales para el diseño de un prototipo germicida de radiación UV-C?

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar un análisis bibliográfico sobre variables como tiempo de exposición, distancia y dosis de irradiación, para la puesta en marcha de un sistema germicida de radiación UV-C en productos de postcosecha, a través de la búsqueda en la base de datos *Scopus*.

B. Objetivos específicos

- Sistematizar la información recolectada de las ecuaciones de búsqueda, con el fin de seleccionar la información aplicable al tema de investigación.
- Estructurar una ecuación de búsqueda refinada que sea acorde a la desinfección con radiación UV-C para productos agrícolas de postcosecha en la base de datos *Scopus*.
- Seleccionar los resultados más frecuentes de las variables estudiadas, que se hayan encontrado en la revisión bibliográfica para el desarrollo y puesta en marcha de un sistema germicida de radiación UV-C.

IV. MARCO TEÓRICO

Para la realización del presente trabajo, se realizó una búsqueda sistemática en la base de búsqueda de *Scopus*, método con el que se buscó información relacionada con la implementación de la luz UV-C como agente germicida en productos de pos cosecha, para lo cual se definieron los siguientes conceptos:

4.1. Revisión sistemática

El propósito de una revisión sistemática es dar respuesta a una pregunta de investigación definida, utilizando criterios apropiados para seleccionar o rechazar contenido no necesario al tema a investigar [11], del cual se realiza a partir de la identificación, selección y evaluación de la información ya sea en bases de datos de búsqueda, literatura no convencional, informes de ensayos clínicos o mediante una búsqueda manual de la literatura, permitiendo extraer y estudiar la información recolectada. Esta revisión puede ser de dos clases cuantitativa, esta maneja datos numéricos mientras que la cualitativa se deriva a partir de los datos observados, entrevistas o diarios [12]. Este método es muy empleado en trabajos de investigación, que permite incluir al proyecto investigado distintas intervenciones de relevancia científica, para ello se debe definir una estrategia de búsqueda que permita realizar una búsqueda más exacta, y una depuración de la información de forma manual mediante la selección de títulos y resúmenes, con la información recolectada se realiza una interpretación de los resultados hallados, de lo cual permite sacar un análisis y conclusiones[13].

4.2. Generalidades de la luz ultravioleta

La luz ultravioleta es un tipo de radiación electromagnética el cual se encuentra referida en una banda de rayos X (200 nm), teniendo un límite con el espectro de luz visible (400 nm). Se clasifica según su longitud de onda en UV-A, UV-B y UV-C (Figura 1), siendo esta la que presenta una longitud de onda más corta (200 a 280 nm) con respecto a la UV-A y la UV-B. La radiación UV-C al igual que las otras es producida por el sol, pero al ser tan corta su longitud de onda, ésta es bloqueada por el ozono estratosférico [14],[15]. La radiación UV se puede generar a través de diferentes procesos físicos: 1) por excitación eléctrica u óptica

de un material semiconductor. 2) por excitación eléctrica u óptica de gas xenón o vapor de mercurio. 3) o por el calentamiento de un material hasta la incandescencia [16].

4.3. Efecto de la radiación UV-C en los microorganismos

Los sistemas de desinfección con radiación ultravioleta (UV) ya han sido probados eficazmente en el tratamiento de aguas. Su funcionamiento consiste en la transferencia de energía electromagnética producida por una lámpara al material genético del organismo a tratar (ADN o ARN), provocando daños en las bases pirimidinas generando dímeros de pirimidina y dímeros producidos por la formación de enlaces covalentes entre dos bases timinas adyacentes halladas en la misma hebra de ADN; ambos productos conducen a la mutagénesis ya que el ADN no puede replicarse o transcribirse, muchas células sin embargo son capaces de reparar este daño por medio de foto-reactivación[17]. Este proceso de desinfección funciona de manera natural cuando los microorganismos son expuestos a la radiación del sol, eliminando incluso gérmenes y evitando su reproducción, sin embargo, este proceso puede usarse más eficientemente aplicando radiación UV de forma controlada; cuando los rayos UV ingresa en la pared celular de un organismo, inhibiendo así mismo el desarrollo de reproducción celular. Es por esto que el proceso de dosificación y el control de la exposición a la radiación UV se considera muy importante en este estudio, ya que la exposición de la radiación UV puede entre otras cosas oxidar la materia orgánica y por tanto afectar directamente cultivos que sean tratados por esta técnica. La radiación UV ha sido altamente empleada para tratar enfermedades causadas principalmente por hongos [18], se han trabajado con algunos parámetros de diseño controlados para este tipo de sistemas como el tiempo de exposición de la radiación UV, intensidad de la radiación, área de radiación de la lámpara y distancia desde el foco de radiación hasta el agente germicida, entre otros [10][19].

4.4. Variables de diseño para un prototipo de desinfección UV-C

4.4.1 Dosis de irradiación

Es la cantidad de radiación ultravioleta expresada en kJ/m^2 que incide en una muestra o superficie con un área conocida, que es acumulada durante un determinado periodo de

tiempo, con una longitud de onda específica [20]; esa cantidad de energía o de fotones es la cantidad de energía que es absorbida por la pared celular del hongo ingresando al ADN, permitiendo la eliminación o inhabilitando su reproducción. La dosis de radiación permite calcular la capacidad de tratamiento que se empleará en un sistema germicida, mediante el producto del tiempo de exposición y la intensidad de radiación, como también se puede hallar por la densidad de potencia óptica (mW/cm^2) multiplicada por el tiempo de exposición. [21].

4.4.2 Intensidad de radiación:

La intensidad es la cantidad de potencia radiante total, expresada en vatios o milivatios por centímetro cuadrado (W/cm^2 o mW/cm^2). Ese flujo de electrones por unidad de área difiere de la intensidad luminosa expresada en fotones que posee una lámpara, que es la que se convertirá en potencia irradiada donde junto con un tiempo de exposición estimado permitirá calcular la dosis de radiación sobre el objeto de estudio en kJ/m^2 [21].

4.4.3 Tiempo de exposición de radiación

Es la cantidad de energía liberada al hongo en un determinado intervalo de tiempo, el cual dependerá de la intensidad de la luz. Cuanto mayor es el tiempo de exposición a una determinada dosis, será más eficaz el tratamiento, pero un periodo prolongado de radiación puede provocar daños en los tejidos vegetales causando un alto grado de fototoxicidad[22], [23].

4.4.4 Distancia de irradiación

Se entiende como la distancia empleada a irradiar sobre un material, la distancia obedece a la ley del cuadrado inverso en donde la potencia irradiada transmitida en un punto, es reducida en proporción inversa al cuadrado de la distancia del punto de emisión, siendo esta potencia inversamente proporcional a la distancia irradiada [24].

4.5. Generalidades del Reino Fungi

Son organismos eucariotas, unicelulares o filamentosos. Su pared celular es rica en quitina y α -glucanos. Los hongos son organismos heterótrofos y quimioorganótrofos que se nutren por absorción, obtienen su alimento por la liberación de enzimas que degradan su alimento en

moléculas menos complejas y tienen las siguientes estrategias de obtención de energía: interacciones simbióticas, interacción parásita e interacción saprófita. En su morfología se caracterizan por tener un cuerpo vegetativo donde no se diferencian ni órganos ni tejidos como en otros organismos, llamado hifas con formas filamentosas estas pueden ser continuas o divididas por tabiques o septos. Las hifas también se ramifican denominándose el conjunto de este micelio que son portadoras de esporas [25].

4.5.1. Hongos fitopatógenos en flores

Algunas flores como *Alstroemeria*, *Anigozanthos*, *Antirrhinum majus*, Clavel, *Delphinium*, Gerbera, Girasol, *Gypsophila* se ven seriamente afectadas por los siguientes hongos:

Botrytis sp. Es un hongo necrotrófico conocido también como moho de podredumbre, que ataca a más de 200 huéspedes de cultivos en el mundo provocando que el hospedero sea inducido a una muerte celular generando una necrosis en sus tejidos, por lo general los síntomas empieza por una mancha de tonos claros en las flores con un anillo marrón oscuro. Causando una pudrición suave de todas las partes aéreas de la planta, y pudrición de vegetales, frutas y flores después de la cosecha para producir prolíficos conidióforos grises y (macro) conidios típicos de la enfermedad [26].

Pythium sp. Es un hongo perteneciente a la clase de Oomycetos, causando pudrición especialmente en el tallo y raíz de la planta.

Phytophthora sp. Es un hongo de género filo pseudofungi de la clase Oomycetos, provocando la marchitez, decadencia en flores y raíces.

Rhizoctonia solani. Es un hongo de podredumbre perteneciente a la clase de los Adelomicetos iniciando un ataque sobre la planta a nivel del cuello y luego de forma progresiva hacia el bulbo y sistema radicular.

Alternaria sp. Es un hongo dematiáceo, perteneciente al orden Pleosporales, este hongo genera un cambio de coloración en las hojas presentando manchas circulares de color café, rodeadas de un halo amarillo.

Fusarium sp. Es un hongo filamentosos que genera un amarillamiento parcial de las hojas.

Puccinia antirrhini. Es un "hongo de tipo roya que forma uredosoros parduscos en el envés de las hojas ". La planta pierde las hojas y presenta pérdida de turgencia.

Verticillium sp: Es un hongo de la división de Ascomycota, lo cual causa muerte de la planta en semillero, produce clorosis y bronceado parcial de la lámina foliar [27].

R. Dean y colaboradores realizaron una encuesta, haciendo partícipe a la comunidad científica internacional, para determinar cuáles son los 10 hongos patógenos que tienen mayor relevancia científica y económica (ver Tabla I). En el primer puesto está *Magnaporthe oryzae*: es un hongo que afecta significativamente los cultivos de arroz, siendo el principal producto de la canasta familiar afecta la seguridad alimentaria, mientras que *Botrytis cinerea* genera daños en los cultivos antes y después de la cosecha. [28].

TABLA. I. LOS 10 PRINCIPALES PATÓGENOS FÚNGICOS DE PLANTAS

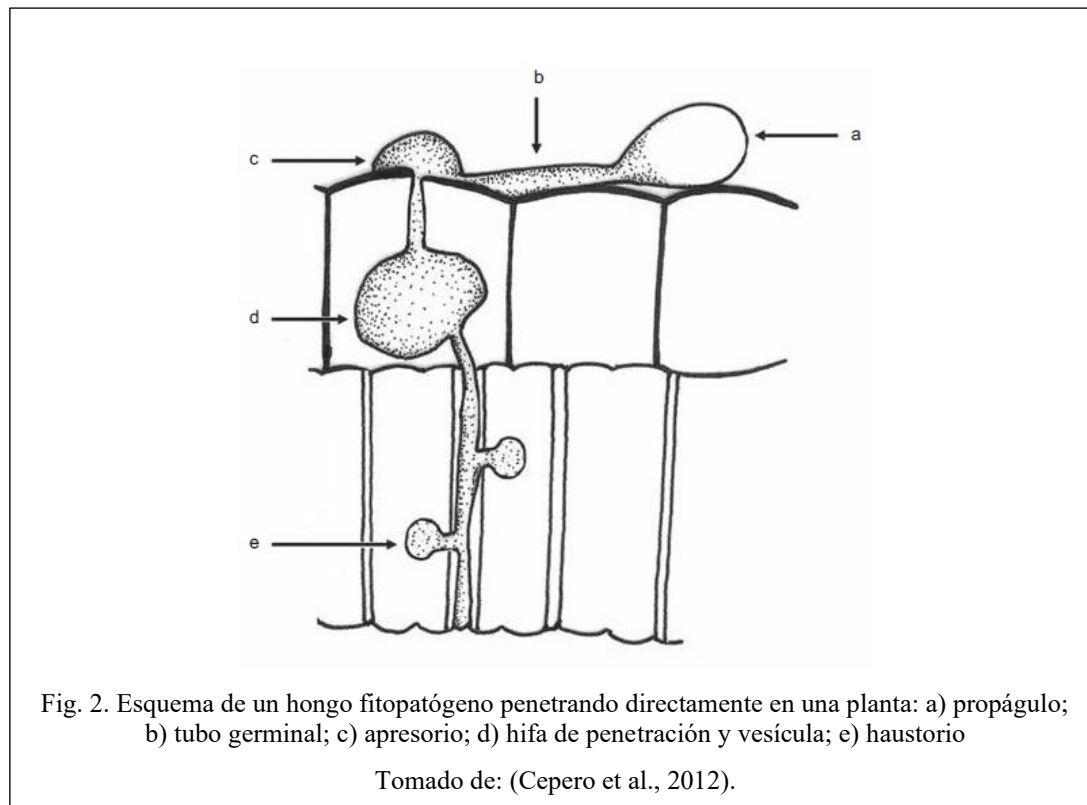
| Rango | Patógeno fúngico | Autor de la descripción de hongos |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | <i>Magnaporthe oryzae</i> | Ralph Dean |
| 2 | <i>Botrytis cinerea</i> | Jan AL van Kan |
| 3 | <i>Puccinia</i> spp. | Zacharias A. Pretorius |
| 4 4 | <i>Fusarium graminearum</i> | Kim Hammond - Kosack |
| 5 5 | <i>Fusarium oxysporum</i> | Antonio Di Pietro |
| 6 6 | <i>Blumeria graminis</i> | Pietro Spanu |
| 7 7 | <i>Mycosphaerella graminicola</i> | Jason J. Rudd |
| 8 | <i>Colletotrichum</i> spp. | Marty Dickman |
| 9 9 | <i>Ustilago maydis</i> | Regine Kahmann |
| 10 | <i>Melampsora lini</i> | Jeff Ellis |

Fuente: (RALPH et al.,2012)

4.5.1.1. Propagación de hongos fitopatógenos

Los hongos se propagan principalmente asexualmente a través de la producción de conidios dispersados por el viento. Cuando un conidio aterriza en una superficie de su huésped germina y produce un tubo germinal primario corto, que penetra consecutivamente en la cutícula de la planta. Luego se forma un tubo germinal secundario, se estira, se hincha y se diferencia en un tubo germinal apresorial que se desarrolla en una estructura de infección lobulada y septada. Posteriormente, el apresorio completamente diferenciado intenta penetrar con fuerza tanto la cutícula del huésped como la pared celular epidérmica para formar la estructura de alimentación, el haustorio (Fig. 2) que proporciona al patógeno fúngico el agua

y los nutrientes necesarios para la formación de hifas secundarias y para el crecimiento de un micelio extendido en la superficie de la hoja del huésped [29],[30].



4.5.1.2. *Cladosporium*

Existen miles de cepas pertenecientes a esta familia de género dematiáceos que afectan al ser humano como a las plantas, además es uno de los géneros que con mayor frecuencia se relaciona con el biodeterioro de objetos de valor histórico mediante la acción de sus enzimas celulolíticas y la secreción de ácidos orgánicos y a su capacidad de crecer en diversos sustratos. Algunas de sus especies son patógenos oportunistas, ya que causan enfermedades cuando ocurre una disminución en los mecanismos de defensa de sus hospederos [31], [32].

Uno de los géneros más conocidos es *Cladosporium fulvum* conocido como moho foliar del tomate, causa una enfermedad conocida como cladosporiosis generando daños en la superficie foliar que limita en las zonas afectadas que haya fotosíntesis. Siendo un hongo que muta fácilmente generando un corto período de tiempo nuevas cepas resultantes [33]. El

primer síntoma es la aparición de una mancha clorótica en el haz de las hojas. En fases más desarrolladas de la enfermedad los conidióforos emergen por los estomas. Esto último ocluye el estoma y genera alteraciones en el intercambio gaseoso y con ello en la respiración de la planta [34], [35].

Los cultivos de cacao (*Theobroma cacao L.*) se ven afectados por una enfermedad llamada “la roña” o “podredumbre de *Cladosporium*” causada por varios géneros de hongos fitopatógenos de *Cladosporium*. Este hongo genera una muerte celular en la planta logrando infestar y matar plántulas y ramas, generando un retraso en la producción y floración que se encuentra afectando la calidad de la cosecha. Entre las setecientos setenta y dos especies se encuentra este género, *C. cladosporioides* y *Cladosporium herbarum*, estas especies son las más preeminentes de hábitats externos y internos donde se caracteriza por ser hongos descomponedores de la materia orgánica, estos hongos se encuentran en su mayoría como agentes contaminantes de alimentos. Como método utilizado para atacar este hongo se han empleado técnicas de biocontrol con otras especies de hongo como *Trichoderma* [36],[37]. Para diferenciar las enfermedades causadas por este hongo varían según el tipo de planta y el síntoma que presenta. Un caso típico se encuentra los cultivos de cereales, donde el hongo *Cladosporium* provoca en las plantas de cereal una enfermedad conocida comúnmente como el punto negro; para género *Cucurbita* existe la enfermedad de la roña de las plantas trepadoras (cucurbitáceas); como también se ha encontrado en cultivos de papaya (*Carica papaya*); y en el tomate (*Solanum lycopersicum*) este causa manchas foliares color marrón en las hojas [38].

4.5.1.3 Morfología de *Cladosporium*

Generalmente puede formar cadenas ramificadas y con gran número de conidios. Este hongo presenta conidiogénesis holoblástica (crecimiento de conidios en forma de balón) y un rápido crecimiento *in vitro* en medios ricos en nutrientes como agar papa dextrosa, agar extracto de malta, y agar Sabouraud [37]. El género *Cladosporium* abarca alrededor de 218 especies [39]. Según los análisis morfológicos y filogenéticos se han agrupado en tres complejos,

Cladosporium herbarum s. lat., *C. sphaerospermum* s. lat. y *C. cladosporioides* s. lat. [37],[40].

Cladosporium presenta colonias con superficies aterciopeladas, de color oliva-grisáceo marrón-olivácea a marrón negro, siendo un organismo de crecimiento lento, con un micelio vegetativo septado, delgado y hialino tornándose marrón claro (Fig. 3). Los conidióforos presentan formas ramificadas de donde se producen conidios en cadenas acrópetas; con formas elipsoides, ovoides, fusiformes y subglobosos presentando una pared rugosa[29].

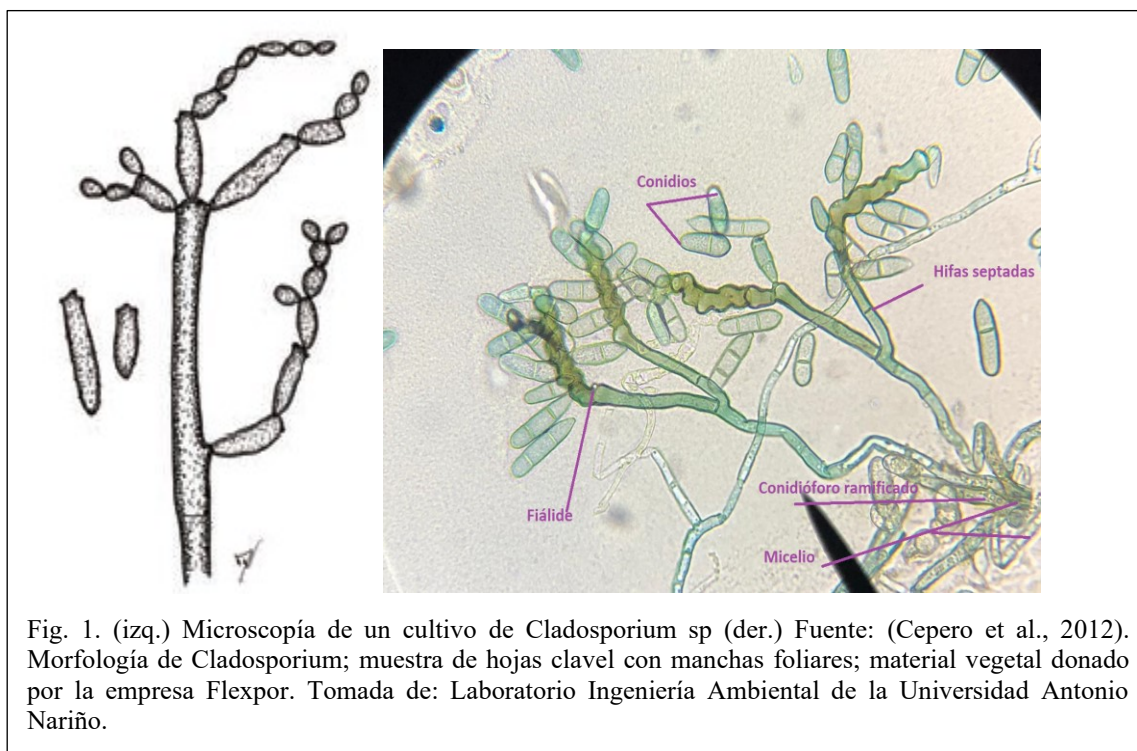


Fig. 1. (izq.) Microscopía de un cultivo de *Cladosporium* sp (der.) Fuente: (Cepero et al., 2012). Morfología de *Cladosporium*; muestra de hojas clavel con manchas foliares; material vegetal donado por la empresa Flexpor. Tomada de: Laboratorio Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño.

V. ESTADO DEL ARTE

Se realizó una revisión en Scopus del uso de la luz UV-C en diferentes productos de postcosecha; se encontraron documentos a partir del año 1998 al 2019 dividiéndose por las siguientes categorías:

5.1 UV-C como tratamiento en semillas

Se evaluaron los efectos de radiación UV-C en semillas de aceite de ricino, este experimento se desarrolló en el laboratorio de secado y almacenamiento de productos vegetales de la Universidad Estatal de Goiás de Brasil. Los tratamientos se desarrollaron en dos especies híbridas de semillas de aceite de ricino Tamar y Agima, sometidas a una cámara de radiación cilíndrica de 45 cm de diámetro y 90 cm de longitud, compuesta de dos lámparas de radiación UV-C con una longitud de onda de 254 nm a cinco dosis de radiación UV-C: 10.4; 20.7; 31.1 y 41.4 kJ/m² correspondientes a tiempos de exposición de 0, 15, 30, 45 y 60 min. La radiación emitida por cada lámpara fue de 6.803 y 4.691 W/m² lo que equivale a una dosis de 0.011494 kJ/sm² (11.494 W/m²). Después del tratamiento las semillas se sometieron a pruebas de calidad fisiológica y sanitaria, por lo que se observó una mayor germinación en el crecimiento de las plántulas de Agima del 66% para dosis menores a 20.7 kJ/m², por lo que también se presentó que a mayores dosis de radiación había una disminución en la germinación de las semillas; para el caso de Tamar hubo un aumento en la germinación del 50% aplicando dosis entre 20.7 kJ/m² y 31.1 kJ/m². Para analizar la probabilidad de cultivar el patógeno *Aspergillus spp* se usó un modelo de incidencia (modelo lineal) y un análisis de varianza por lo que sin tratamiento el porcentaje de incidencia para crecimiento de este hongo fue de 58% para Agima y 20% para Tamar. La dosis más alta de 41.4 kJ/m² mostró un bajo porcentaje de incidencia del hongo para ambos cultivos, estas dosis redujeron la incidencia de *Aspergillus* en 44.8% y 100%, sin embargo, causa una reducción en la calidad fisiológica de las semillas. [41]

También mediante el uso de radiación UV-C, Naheed IKRAM y Shahnaz DAWAR trataron semillas de caupí (*Vigna unguiculata* L.) y frijol mungo (*Vigna radiata* L.) durante periodos de exposición de entre 15 y 30 minutos para promover el crecimiento de las plantas y prevenir

la producción de hongos infectadores de raíces como *Rhizoctonia solani* Kühn , *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid, y *Fusarium*. Los porcentajes de crecimiento de los hongos de la pudrición de la raíz se redujeron prácticamente a 0% cuando las semillas se trataron con radiación ultravioleta (UV-C) durante un periodo de 30 minutos. Para este tiempo de exposición también se reporta una mejora significativa en los parámetros de crecimiento de las plantas [42].

5.2 Desinfección UV-C para cereales

El efecto de la radiación UV sobre sistemas biológicos y más específicamente en el control de patógenos como hongos ha sido ampliamente estudiado por su potencial aplicación en la industria. Autores como M. M. ATÁILA y colaboradores evaluaron el efecto de la radiación UV para evitar la producción de micotoxinas en el trigo, cultivando hongos potencialmente peligrosos como *Aspergillus parasiticus*, *Fusarium verticillioides*, *Scopulariopsis* en granos de este cereal. Los granos de trigo inoculados se expusieron a luz UV almacenándose durante un periodo de tres semanas a temperatura ambiente y diferentes humedades relativas (50-80%). Los resultados obtenidos mostraron que algunas micotoxinas fueron eliminadas por completo, mientras que para otras su concentración varió dependiendo de la humedad relativa y el período de iluminación de 60 min y a una distancia de 25 cm [43].

En la Universidad de Würzburg, Julius-von-Sachs-Institute for Biosciences de Alemania, se estudió cómo la radiación UV-C comprometía la germinación de los conidios de *Blumeria graminis* y reducía la infestación de mildium polvoriento, que afecta a los cultivos de trigo y cebada; siendo considerado como el sexto hongo fitopatógeno más importante del mundo. Para esta investigación se trabajó con plántulas de cebada infectadas, realizando experimentos in vitro con conidios inoculados, tratados a diferentes dosis de luz UV-C (de 100 J/m² y 200 J/m²) a una longitud de onda de 254 nm, incubados bajo un fotoperiodo (oscuro 6h/ claro 18h) durante 3 a 5 días, para evaluar la eficacia de la fotoreactivación se empleó luz Led blanca de 475 nm con una dosis de 80 nmol fotones m²/s con el fin de determinar en qué grado *B. graminis* podría reparar el daño funcional causado por la radiación, por lo que la fotorreactivación mediante luz blanca fue más efectiva inmediatamente después de la irradiación con UV-C, aumentando los niveles de transcripción

de fotoliasa, realizándose otro experimento para luego de ser irradiadas y sometidas a un periodo prolongado de oscuridad de 48 h aumento la eficacia de control de *B. graminis* controlando efectivamente la infestación y proliferación del hongo. Se encontró que la irradiación UV-C no solo afectó la germinación sino también la formación de apresorios (hifas unicelulares laterales cortas que se adhieren al hospedero) al restringir los procesos de penetración del hongo al huésped. El porcentaje de germinación para los conidios no sometidos a radiación UV-C fueron del 70%[30].

5.3 Desinfección frutas y semillas

F. Nigro y colaboradores analizaron el efecto de la radiación UV-C aplicada en bajas dosis sobre el fenómeno de descomposición de las fresas en el periodo de postcosecha causada por *Botrytis cinerea* y otros patógenos. Las fresas se irradiaron con dosis de UV-C de 0.25 a 4.00 kJ/m² y se inocularon, después de la irradiación con *B. cinerea* en diferentes momentos (0, 12, 24 y 48 horas). Los resultados experimentales mostraron que para las dosis de UV-C a 0,50 y 1,00 kJ/m² se produjo una reducción notoria en el grado de podredumbre por almacenamiento de *Botrytis*, tanto por las inoculaciones artificiales como por las infecciones naturales en comparación con el control no irradiado [44]. Autores como J. Wojciech *et al.* También han estado trabajando en la inhibición de *Botrytis cinerea* realizando tratamientos de radiación UV-C, seguido de un periodo oscuro de cuatro horas, este tratamiento se realizó dos veces por semana durante 7 semanas, con una dosis de 12,36 J/m² y un tiempo de exposición de 60 segundos, de ahí que se observó de manera significativa una reducción del número de conidios y aún más se redujeron cuando se sometieron a un periodo de oscuridad después de la irradiación antes de la exposición a luz incandescente continua [45].

En el laboratorio de Poscosecha de Ciencias de la Universidad de Kyushu Tokio Japón emplearon modelos predictivos de inactivación con radiación UV-C para esporas de hongos *Cladosporium* y *Penicillium digitatum*, responsables de la descomposición de frutas; las distancias manejadas de radiación fueron 60, 100, 150 y 200 mm, con dosis de radiación para *Cladosporium* de 2.13 a 13.8 W/m² para luego incubar las muestras irradiadas a 25°C por tres días anteriores de que se contara el número de colonias (UFC) con un tiempo de tratamiento máximo de treinta minutos. Los modelos empleados fueron: modelo cinético de

primer orden, modelo de Weibull y el modelo bifásico que combina los modelos de predicción utilizando método de mínimos cuadrados para luego simular las curvas de supervivencia. En efecto el modelo que más se ajustó y describió con precisión la inactivación fue el modelo bifásico, de hecho *Cladosporium* presentó mayor resistencia debido a la aparición de un pigmento extracelular que secreta llamado 1,8-dihidroxi-naftatelo, cuando es expuesto a la luz UV-C, mientras que *P. digitatum* no secreta ninguna clase de pigmentos y es más sensible a la radiación UV-C; también se encontró que la eficacia de inactivación para distancia de 50 mm es igual para distancias de 150 mm, manejándose para esta distancia una dosis de 3.72 W/m^2 [46].

Aunque la mayoría de los reportes se enfocan en la radiación UV-C, algunos trabajos muestran también que la radiación UV-B produce efectos importantes en la prevención del crecimiento de hongos en cultivos. En este sentido W. Sugeno *et al.* estudiaron la influencia de la intensidad de la radiación UV-B sobre cultivos de fresa, con el fin de prevenir la formación del hongo denominado moho polvoriento o mildiú en polvo. Las plantas de fresa fueron irradiadas a diario con luz UV-B, con una intensidad de luz $4.0\text{-}13.4 \mu\text{W/cm}^2$ durante 3 h en periodos nocturnos desde el momento del trasplante hasta la cosecha. Los resultados de esta investigación reflejan que el número de frutas infectadas con el hongo disminuyó en un 84.3% con respecto a las muestras de control sin irradiación. Así mismo, la radiación UV-B de intensidad luminosa total aplicada de $4.3\text{-}15.3 \mu\text{W/cm}^2$, aplicada durante 4 días/semana durante 3 horas en la noche redujo el porcentaje de infección en un 54,8% en relación con las muestras de control. Sin embargo, bajo un régimen diario de radiación UV-B de 3 horas con intensidades de $8.0\text{-}18.8 \mu\text{W/cm}^2$, el porcentaje de infección fue de 0.1%. Estos resultados indican que el uso de un sistema de iluminación UV-B para inhibir el mildiú polvoriento en las plantas de fresa reduce sustancialmente la pérdida de fruta y el costo de la fumigación con fungicidas [19].

Vázquez, A. y colaboradores trabajaron en el uso combinado de radiación UV-C y biorecubrimiento de quitosán con una concentración (15 gramos/ litro) con un contenido de aceites esenciales de tomillo (10 mililitro/litro) y clavo (10 mililitro/litro) generando un efecto sinérgico sobre las zonas afectadas de la enfermedad producidas por hongos del género

Rhizopus stolonifer (Ehrenb.), y *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) inoculados especialmente en frutos de papaya *var. Maradol* como tratamiento de postcosecha. Los frutos fueron inoculados con esporas de los dos hongos de estudio, luego los frutos fueron recubiertos de quitosán conteniendo los aceites esenciales, luego se dejaron secar en temperatura ambiente para ser irradiados por luz UV-C con una dosis de 2.88 kJ/m^2 aplicado a las 24 horas post-inoculación de esporas. Los frutos en tratamiento, y los de control positivo fueron llevados a un cuarto de almacenamiento bajo condiciones de temperatura de $28 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ y 80% de HR, que son las condiciones iniciales que se tienen los frutos de papaya cuando son almacenados sin ningún tipo de tratamiento. Al combinar estos dos métodos de control se logró contrarrestar la incidencia de la enfermedad con resultados del 15% en *R. stolonifer* y 25% en *C. gloeosporioides* durante todo el almacenamiento, y así como también reducir la velocidad específica de la incidencia de la enfermedad por lo que indico que los rayos UV-C en combinación de aceites esenciales presenta un potencial de inhibición en la germinación de las esporas.[47].

5.4. Efectos del tratamiento con luz ultravioleta sobre la fisiología postcosecha de frutas y verduras.

Después de la cosecha la mayoría de frutas y verduras envejecen rápidamente deteriorando su calidad, produciendo ablandamiento y destrucción en los tejidos vegetales, proceso que ocurre en el almacenamiento de frutas y verduras. Se ha demostrado en los últimos años que la radiación UV-C produce un efecto de inhibición en la senescencia de frutas y verduras de postcosecha alargando su vida útil, permitiendo mantener una calidad de los frutos durante el almacenamiento, puesto que retrasa la degradación de la clorofila. Para frutas de durazno se empleó tratamiento de UV-C (3.0 kJ/m^2) con temperaturas de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ donde se disminuyó la actividad respiratoria al inhibir las actividades de succinato deshidrogenasa y la citocromo C oxidasa, retrasando la aparición de la senescencia, esto produce un cambio en la pared celular del fruto [48] [49], también hubo resultados similares en frutas de arándanos con una temperatura de 4°C durante 8 días y fresa a 0°C durante 13 días donde el tratamiento UV-C ($4.0 \text{ kJ/m}^2 - 4.1 \text{ kJ/m}^2$) redujo significativamente la tasa de respiración [48] .

VI. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta metodología se basó en realizar una *systematic review* que busca dar solución a la pregunta formulada en el planteamiento del problema **¿Cómo obtener información más específica en la base de Scopus, que permita relacionar las variables operacionales para el diseño de un prototipo germicida de radiación UV-C?**

6.1. Definición de una estructura de búsqueda.

Para dar solución a la pregunta formulada en el planteamiento del problema se realizó una búsqueda del estado del arte en la base de datos de Scopus (Ver Figura 4.) mediante la incorporación de operadores booleanos (AND, OR y NOT), donde el AND permite conjugar palabras afines a la investigación encontrando documentos que tengan ambos términos, mientras que el OR es una disyunción que permite conectar dos palabras localizando documentos que abarque al menos uno de los términos empleados; finalmente el NOT es una negación que excluye términos del conjunto de búsqueda que se ha formado. Estos operadores son combinados por operadores de truncamiento (*,'): El asterisco se utilizó para encontrar todas las formas posibles de una palabra o sus derivados (prefijos, sufijos) y las comillas buscan frases o expresiones; los términos de consulta fueron agrupados por paréntesis, para establecer un orden de ejecución de la consulta hasta formar una ecuación de búsqueda, esta información consultada fue guardada en una bitácora en Excel, para analizar si los resultados encontrados estaban mejorando y tener una evidencia de consulta que fue muy útil para no repetir la ecuación. Esta fase consistió de los siguientes pasos:

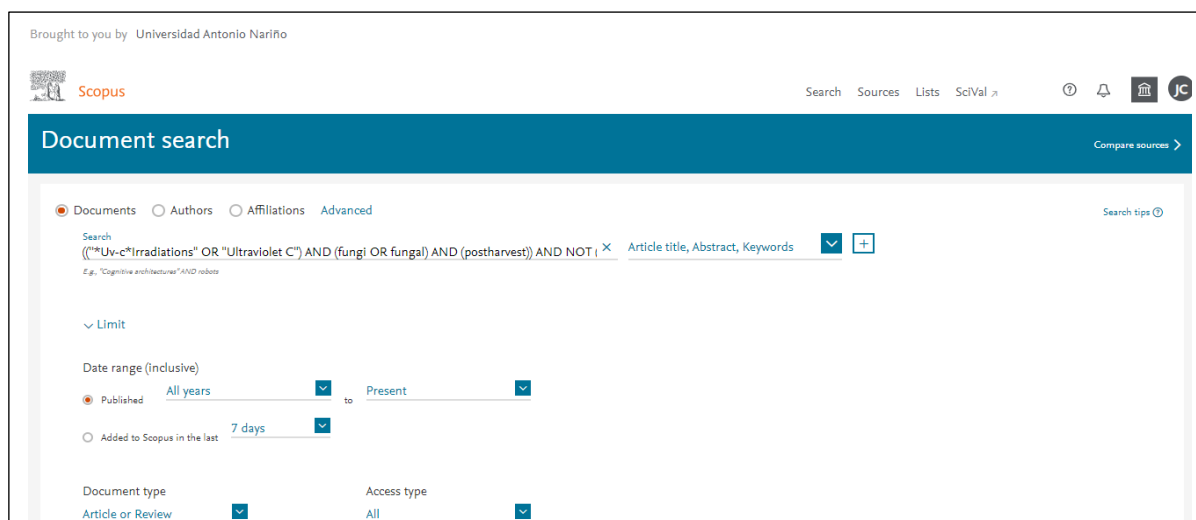


Fig. 2. Plataforma de base de búsqueda de Scopus

Fuente: <https://www.scopus.com/>

6.1.1 Formulación de ecuaciones iniciales de búsqueda

Para la formulación de las dos primeras ecuaciones de búsqueda en Scopus, se emplearon palabras claves (*UV-C, fungi, fruits y flower*) separadas por operadores booleanos, el tipo de documento fue limitado sólo para artículos o *review* y para el año de publicación se restringió del año 2009 al 2019 teniéndose como ecuaciones pilotos para finalmente formular 9 ecuaciones, que se fueron organizando en una tabla de Excel.

Para mayor claridad de la tabla se explica, en la columna uno nombrada como # de la ecuación, donde muestra el orden de cómo se fueron formando las ecuaciones, en la columna número dos (Criterios de búsqueda ecuación) muestra las palabras claves empleadas sombreadas de color rojo unidas a los operadores booleanos resaltados con negrilla color negro, en la columna número tres (# de documentos) muestra el número de resultados que arrojó *Scopus*, la columna número cuatro (tipo de documentos) muestra los tipos de documentos que arrojaron las ecuaciones, la columna cinco (año) muestra el año de publicación de los documentos encontrados por cada ecuación y la columna número seis (palabras claves importantes) muestra las palabras claves más significativas en cada búsqueda.

TABLA. II.ECUACIONES DE BÚSQUEDA UTILIZADAS EN SCOPUS

| # DE LA ECUACIÓN | CRITERIOS DE BÚSQUEDA (ECUACIÓN) | # DE DOCUMENTOS | TIPO DE DOCUMENTO | AÑO DE PUBLICACIÓN | PALABRAS CLAVES IMPORTANTES |
|------------------|--|-----------------|--------------------|--------------------|---|
| 1 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND (flower) AND (fungi))) AND DOCTYPE (ar OR re) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2008 AND PUBYEAR < 2020</i> | 1 | Article | 2016 | <i>ultraviolet radiation, Darkness, Fruit, Spores, Fungal, ultraviolet radiation, botrytis cinerea.</i> |
| 2 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND (fungi) AND (fruits)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2020</i> | 7 | Article | 2012-2018 | <i>Cladosporium cladosporioides, disinfection, Irradiation dose, red light, UV-C radiations, white light, Fungi</i> |
| 3 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND (fungi) AND (irradiation)) AND ACESSTYPE (OA)</i> | 65 | Review- Article | 1996-2019 | <i>Irradiation, plant disease, Aspergillus parasiticus, Fungi, Penicillium digitatum, Penicillium expansum.</i> |

| | | | | | |
|---|--|----|---------------------------------|-----------|--|
| 4 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND NOT (escherichia*)) AND (postharvest) AND (ultraviolet) AND (radiation))</i> | 89 | Article | 1996-2020 | <i>Botrytis, Physiology, Plant Diseases, Pollen, Root Rot Fungi, Ultraviolet Rays, Darkness</i> |
| 5 | <i>TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (cladosporium) AND (ultraviolet AND radiation))</i> | 3 | Conference Paper-article | 2004-2019 | <i>Fungi, Alternaria Alternata, Aspergillus Fumigatus, Aureobasidium Pullulans, Disinfection, Filamentous Fungus, Fungal Species, Fungal Spores, Irradiation, UV-C Radiations, Ultraviolet Germicidal Irradiations, Cladosporium Cladosporioides</i> |
| 6 | <i>TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (ultraviolet AND germicidal AND irradiations))</i> | 64 | Conference Paper-article-Review | 2019-1979 | <i>Ultraviolet Radiation, Article, Ultraviolet Rays, Disinfection, Irradiation, Radiation Exposure, Ultraviolet C Radiation, UV-C, Ultraviolet Irradiation, Ultraviolet Germicidal Irradiation, Fruit</i> |
| 7 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND NOT (water OR humans OR *animal* OR genetics OR expression)) AND (plants) AND (irradiations)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR > 2011</i> | 56 | Article | 2012-2020 | <i>Ultraviolet Radiation, Ultraviolet C Radiation, Plant Leaves, Radiation Exposure, Uv-c Irradiations, Disinfection, Chemistry</i> |
| 8 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c OR uv-c AND radiations OR fungal AND spores) AND NOT (water OR humans OR *animal* OR genetics)) AND (fungi) AND (ultraviolet AND radiation)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2020</i> | 8 | Article | 2013-2019 | <i>Spores, Fungal, Ultraviolet C Radiation, Fusarium, Metabolism, Genetic Transcription, Mycotoxins, Pollution</i> |

| | | | | | |
|---|---|---|---------|------|--|
| 9 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c OR ultraviolet AND dose) AND NOT (air* OR water* OR alcohols* OR human*)) AND (flower OR flowering) AND (harvest AND (fungi))</i> | 1 | Article | 2012 | <i>Botrytis, Darkness, Fragaria, Fruit, Fungus Spore, Microbiology, Physiology, Plant Disease, Plant Leaf, Pollen, Pollination Prevention And Control Radiation Response Spores, Fungal Ultraviolet Radiation Ultraviolet Rays</i> |
|---|---|---|---------|------|--|

6.1.2. Criterios de selección:

Para la construcción de esta base de datos se realizó una revisión sistemática para lo cual se descargó de *Scopus* en formato CSV la información de las 9 ecuaciones, como título del documento, palabras claves, tipo de documento y *abstract*; se organizó y se revisó la información mediante la lectura de 294 abstract [50], y de esta manera seleccionar los documentos que presentara relación al tema investigado, se observó que los resultados de la ecuación 9 son los mismos resultados de la ecuación 1 por lo que esta ecuación se anuló; igualmente la ecuación 1 tuvo un solo resultado de búsqueda que salió repetido en la ecuación 2 ya que si podía conseguir ese mismo resultado en otra ecuación es válido también anularla, en total se encontraron 89 documentos que si aplican al tema que se está investigando (ver Tabla III), los demás documentos que no aplicaron se debió a que muchos se encontraban repetidos en búsquedas anteriores y los demás aunque hablaban de radiación UV, no la empleaban como un agente germicida para cultivos agrícolas.

TABLA. III. ARTÍCULOS QUE APLICARON AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

| # DE LA ECUACIÓN | CRITERIOS DE BÚSQUEDA (ECUACIÓN) | # DOCUMENTOS | TIPO DE DOCUMENTO | ¿CUANTOS DOCUMENTOS APLICAN? | AÑO DE PUBLICACIÓN | PALABRAS CLAVES IMPORTANTES |
|------------------|---|---------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|---|
| 1 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND (flower) AND (fungi))) AND DOCTYPE (ar OR re) AND ACCESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2008 AND PUBYEAR < 2020</i> | 1 ANULADA | Article | 1 | 2016 | <i>ultraviolet radiation, Darkness, Fruit, Spores, Fungal, ultraviolet radiation, botrytis cinerea.</i> |

| | | | | | | |
|---|---|----|---------------------------------|----|-----------|--|
| 2 | TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (fungi) AND (fruits)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2020 | 7 | Article | 7 | 2012-2018 | <i>Cladosporium cladosporioides, disinfection, Irradiation dose, red light, UV-C radiations, white light, Fungi</i> |
| 3 | TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (fungi) AND (irradiation)) AND ACESSTYPE (OA) | 65 | Review-Article | 41 | 1996-2019 | <i>Irradiation, plant disease, Aspergillus parasiticus, Fungi, Penicillium digitatum, Penicillium expansum.</i> |
| 4 | TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND NOT (escherichia*)) AND (postharvest) AND (ultraviolet) AND (radiation)) | 89 | Article | 25 | 1996-2020 | <i>Botrytis, Physiology, Plant Diseases, Pollen, Root Rot Fungi, Ultraviolet Rays, Darkness</i> |
| 5 | TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (cladosporium) AND (ultraviolet AND radiation)) | 3 | Conference Paper-article | 0 | 2004-2019 | <i>Fungi, Alternaria Alternata, Aspergillus Fumigatus, Aureobasidium Pullulans, Disinfection, Filamentous Fungus, Fungal Species, Fungal Spores, Irradiation, UV-C Radiations, Ultraviolet Germicidal Irradiations, Cladosporium Cladosporioides</i> |
| 6 | TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (ultraviolet AND germicidal AND irradiations)) | 64 | Conference Paper-article-Review | 5 | 2019-1979 | <i>Ultraviolet Radiation, Article, Ultraviolet Rays, Disinfection, Irradiation, Radiation Exposure, Ultraviolet C Radiation, UV-C, Ultraviolet Irradiation, Ultraviolet Germicidal Irradiation, Fruit</i> |
| 7 | TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND NOT (water OR humans OR *animal* OR genetics OR expression)) AND (plants) AND (irradiations)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR > 2011 | 56 | Article | 8 | 2012-2020 | <i>Ultraviolet Radiation, Ultraviolet C Radiation, Plant Leaves, Radiation Exposure, Uv-c Irradiations, Disinfection, Chemistry</i> |
| 8 | TITLE-ABS-KEY (((uv-c OR uv-c AND radiations OR fungal AND spores) AND NOT (water OR humans OR *animal* OR genetics)) AND (fungi) AND (ultraviolet AND radiation)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2020 | 8 | Article | 3 | 2013-2019 | <i>Spores, Fungal, Ultraviolet C Radiation, Fusarium, Metabolism, Genetic Transcription, Mycotoxins, Pollution</i> |

| | | | | | | |
|---|---|---------------------|---------|---|------|--|
| 9 | TITLE-ABS-KEY(((<i>uv-c</i> <i>OR ultraviolet AND dose</i>) <i>AND NOT (air* OR water*</i> <i>OR alcohols* OR human*</i> <i>) AND (flower OR</i> <i>flowering) AND (harvest)</i> <i>AND (fungi)</i>) | 1 ANULADA | Article | 1 | 2012 | <i>Botrytis, Darkness,</i> <i>Fragaria, Fruit, Fungus</i> <i>Spore, Microbiology,</i> <i>Physiology, Plant</i> <i>Disease, Plant Leaf,</i> <i>Pollen, Pollination</i> <i>Prevention And Control</i> <i>Radiation Response</i> <i>Spores, Fungal</i> <i>Ultraviolet Radiation</i> <i>Ultraviolet Rays</i> |
|---|---|---------------------|---------|---|------|--|

6.1.3. Análisis de la información recopilada de ecuaciones de búsqueda iniciales

De los 89 documentos encontrados se realizó una segunda revisión con el fin de saber con cuantos documentos se contaban con acceso a la información, recordando que en *Scopus* no hubo restricción para el tipo de acceso del documento, permitiendo tener un mayor número de resultados ya que a pesar que los documentos fuera de no acceso abierto *Scopus* permitía redireccionar a la información, como algunos se obtuvieron de Google académico. De esos 89 documentos 30 de ellos no se lograron descargar, quedando un total de 59 documentos de acceso abierto (ver Tabla IV); los documentos que no se descargaron se debió porque en varias páginas como: *ACS publications*, *Web BioOne Complete*, *Society for Applied Microbiology*, *Taylor & Francis Online*, *Institute of Food Science & Technology* y *Wiley Online Library* el acceso es restringido, hay que pagar una suscripción para tener acceso a la información, o se encontraron en idiomas de Asia oriental, en la tabla IV los artículos se organizan por número de ecuación de búsqueda donde se observa aparentemente que la ecuación con mayor número de resultados fue la ecuación 3; en esta ecuación se combinaron términos poco puntuales como *UV-C*, *hongo*, *radiación* buscados sólo en el resumen, título y palabras claves del documento para lo cual se obtuvo inicialmente 65 resultados y 41 documentos descartados porque no aplicaban al tema de investigación, realizándose de forma manual, la consulta bibliográfica termina siendo un poco ineficiente y tediosa pues el investigador debe revisar documento por documento para encontrar los que sí aplican a su búsqueda, por lo tanto se vio la necesidad de realizar unas nuevas ecuaciones que al ser ingresadas a *Scopus* tuviesen una aplicación cercana al 100%. Sin embargo, la ecuación 2 cumple con este criterio ya que de 7 resultados encontrados todos los 7 documentos aplicaron.

TABLA. IV. NÚMERO DE DOCUMENTOS DE ACCESO ABIERTO QUE SI APLICA AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

| TIPO DE DOCUMENTO | Nº ECUACIÓN | AÑO DE PUBLICACIÓN | Nº DE DOCUMENTOS |
|-----------------------|-------------|-----------------------|------------------|
| <i>Article</i> | 2 | 2012-2018 | 7 |
| <i>Article</i> | 3 | 1998-2019 | 24 |
| <i>Article/Review</i> | 4 | 1996-2019 | 17 |
| <i>Article</i> | 6 | 2002-2014 | 3 |
| <i>Article</i> | 7 | 2013-2019 | 6 |
| <i>Article</i> | 8 | 2018-2019 | 2 |
| | | Total, general | 59 |

6.2 Reconstrucción y refinamiento de la ecuación de búsqueda

Para la reconstrucción de estas ecuaciones se emplearon palabras claves combinadas con los operadores booleanos y operadores de truncamiento, que permiten articular una relación de términos y exclusión de aquellos no útiles para el presente tema de investigación. Las palabras claves empleadas en la búsqueda, fueron identificadas de las ecuaciones iniciales mediante AND y NOT, estos operadores tienden a reducir el número de resultados. Las palabras claves se fueron combinando con sinónimos, permitiendo obtener los siguientes resultados:

De las 9 ecuaciones de búsqueda inicial, la ecuación número dos se empleó en este conjunto de ecuaciones, puesto que es un modelo de búsqueda refinada nombrándose como R1, las otras ecuaciones que se empezaron a formar tendrían que ser un poco más acordes al tema de investigación buscado, con el fin de tener unas segundas ecuaciones más robustas con resultados más eficientes; la revisión de estos resultados se hizo de forma manual realizando la lectura de los *abstract* por cada documento encontrado, como se muestra en la tabla. V en la columna dos (Nº de búsqueda), Así se obtuvieron 3 ecuaciones finales más la ecuación R1 que venía de las primeras ecuaciones de búsqueda iniciales, denominadas R1, R2, R3 y R4. En la ecuación R1 se obtuvieron 7 documentos acordes al tema investigado. Para la ecuación R2 se obtuvieron 16 resultados, de esos 16 documentos encontrados aplicaron salvo que once son de acceso abierto, los otros 6 hay que pagar para su acceso. Para la ecuación R3 se encontraron 14 documentos y aplicaron los mismos 14, pero se encontraron 3 coincidencias con la ecuación R2 y siete documentos que no se podía tener acceso, para tener 4 documentos de acceso abierto. La ecuación R4 tuvo 12 resultados, 5 coincidencias, dos documentos de

acceso restringido y cinco documentos para consulta; estos cinco documentos al ser revisados utilizan la luz UV-C para inducir en las plantas mecanismos de defensa, y para la desinfección de superficies; sin embargo estos resultados fueron tomados para el análisis de variables de diseño, ya que dentro de los experimentos realizados se encontraron algunas variables de estudio necesitadas, lo que permite contar con veintiséis documentos por las cuatro ecuaciones, como se muestra a continuación:

R1= 7 (resultados)

R2= 16 (Resultados)-5 (Documentos de NO libre acceso) = 11 Documentos de consulta

R3= 14 (Resultados)-3(Coincidencias con R1)-7 (documentos de NO acceso libre) = 4 Documentos de consulta

R4=14 (Resultados)-6(Coincidencias con R1 y R2)-2 (documentos de NO acceso libre) = 4 Documentos de consulta

R1+R2+R3+ R4= 26 Documentos para consulta

TABLA. V. NUEVAS ECUACIONES DE BÚSQUEDA

| # DE LA ECUACIÓN | CRITERIOS DE BÚSQUEDA (ECUACIÓN) | # DOCUMENTOS | TIPO DE DOCUMENTO | ¿CUANTOS ARTICULOS APLICAN? | AÑO DE PUBLICACIÓN | ARTICULOS DE ACCESO LIBRE | PALABRAS CLAVES IMPORTANTES |
|------------------|---|--------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--|
| | TITLE-ABS-KEY(((<i>uv-c</i>) AND (<i>fungi</i>) AND (<i>fruits</i>)) AND DOCTYPE (<i>ar</i> OR <i>re</i>) AND ACESSTYPE (<i>OA</i>) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2020 | 7 | Article | 7 | 2012-2018 | 7 | <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>disinfection</i> , <i>Irradiation dose</i> , <i>red light</i> , <i>UV-C radiations</i> , <i>white light</i> , <i>Fungi</i> |
| | (TITLE-ABS-KEY (" <i>uv-c</i> " AND (<i>inhibition</i> OR <i>increase</i>) AND (<i>fungi</i> OR <i>fungi</i>) AND (" <i>flower</i> " OR <i>plant</i>)) AND NOT TITLE-ABS-KEY ((<i>microbes</i> * OR <i>bacteria</i> *) OR (<i>protein</i> *) OR (<i>d2</i>) OR (<i>mutants</i>))) | 16 | Article y review | 16 | 2002-2019 | 11 | <i>Pathogen control</i> , <i>UV-C lights</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>UV-C</i> ", " <i>nucleic acid</i> , <i>inhibition</i> , <i>fungi disease</i> , <i>ultraviolet radiation</i> , <i>UV-C treatment</i> ", <i>ultraviolet radiation</i> ; <i>Light intensity</i> . |
| | TITLE-ABS-KEY (((" <i>uv-c</i> " OR " <i>ultraviolet</i> " OR " <i>radiation</i> ") OR " <i>ultraviolet</i> " OR " <i>radiation</i> ") AND (<i>fungi</i> OR <i>fungi</i>) AND (<i>postharvest</i>)) AND NOT (<i>bio</i> *) AND NOT (<i>per</i> OR <i>metabolites</i> OR <i>d2</i> OR <i>chitosan</i> OR <i>chitinase</i> OR <i>neural</i> OR (<i>uv-b</i> OR <i>uvb</i>) OR <i>mycotoxins</i> OR <i>hormesis</i> OR (<i>hplc</i>))) AND DOCTYPE (<i>ar</i> OR <i>re</i>) | 14 | Article | 14 | 1998-2019 | 4 | <i>Fungal disease</i> , <i>inhibition</i> , <i>Radiación ultravioleta</i> , <i>Ultraviolet Rays</i> , <i>temperature sensitivity</i> , <i>fruit</i> , <i>fungi</i> , <i>radiation dose</i> , <i>Relación dosis-respuesta</i> , <i>radiación</i> . |
| | (TITLE-ABS-KEY (" <i>uv-c</i> " AND (<i>uv-c</i> OR <i>irradiation</i> OR <i>radiation</i>) AND (<i>fungi</i> OR <i>fungi</i> OR <i>spores</i>) AND (<i>fruits</i> OR <i>plants</i> OR <i>flower</i>) AND (<i>postharvest</i> OR <i>harvest</i>)) | 12 | Article | 12 | 2012-2019 | 4 | <i>Ultraviolet Radiation</i> , <i>Radiation Response</i> , <i>Dose-response Relationship</i> , <i>Flavonoids</i> , <i>Fungal Diseases</i> , <i>Mycelium</i> , <i>Botrytis Cinerea L.</i> , <i>Penicillium Digitatum</i> , <i>Disinfection</i> , <i>Darkness</i> . |

6.3 Búsqueda de las variables de diseño en las ecuaciones refinadas (R1, R2, R3 y R4)

Para la búsqueda de las variables de diseño se hizo una revisión de los 26 resultados obtenidos de las ecuaciones refinadas; de los 26 documentos 2 eran revisiones (*reviews*) para contar realmente con 24 documentos, que no todos contenían información de las tres variables requeridas (ver Tabla VI), por lo que se decidió evaluar de manera independiente. Se organizó la información en un archivo Excel en el que se incluía la siguiente información: título del documento, # de la ecuación, año de publicación, material biológico irradiado, dosis de radiación y una columna auxiliar para realizar conversiones de unidades, tiempo de exposición, longitud de onda de las lámparas germicidas, tipo de hongo, fase de oscuridad, autores, % de inhibición. Los documentos obtenidos se iban ingresando en la Tabla IX a medida que se iban leyendo; para rastrear las variables de diseño en los documentos se identificó que se encontraban en la metodología del experimento y en los resultados, a partir de estos ítems se iba sacando la información para luego tabularla y organizarla, luego se calcularon las medidas de tendencia central (media, moda y mediana).

TABLA. VI. N° DE ARTÍCULOS QUE MENCIONAN LAS VARIABLES DE BÚSQUEDA

| VARIABLE | # DE DATOS |
|---|------------|
| Dosis de radiación (kJ/m ²) | 22 |
| Distancia (cm) | 15 |
| Tiempo de exposición (s) | 17 |

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Análisis de criterios de selección de ecuaciones iniciales de búsqueda.

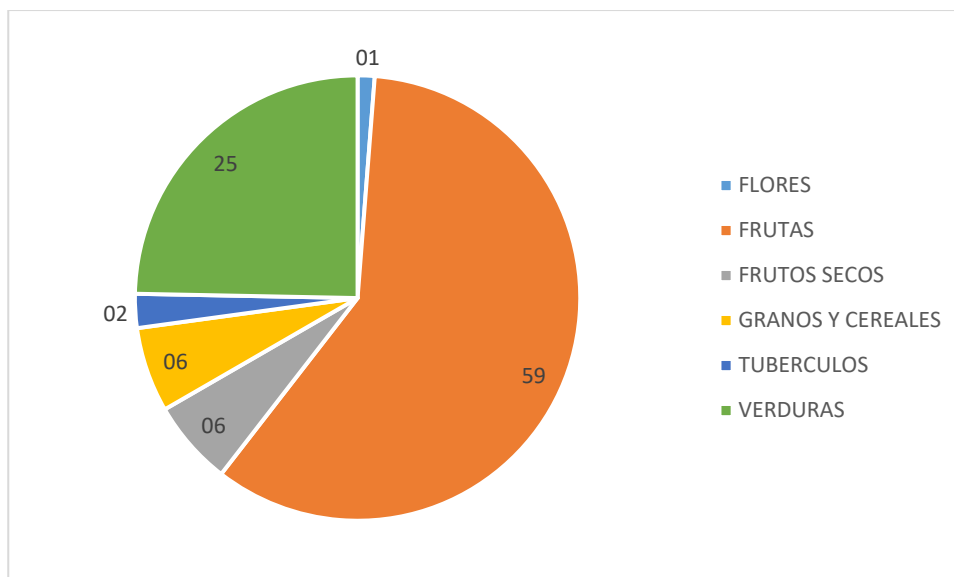
Inicialmente se buscaron entre los años 2009 al 2019, donde arrojó 1 resultado de búsqueda para la primera ecuación y 7 resultados para la segunda ecuación. La ecuación piloto inicial es la que se muestra a continuación:

TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (flower) AND (fungi)) Y ACESSTYPE (OA) Y PUBYEAR > 2008 Y PUBYEAR < 2020

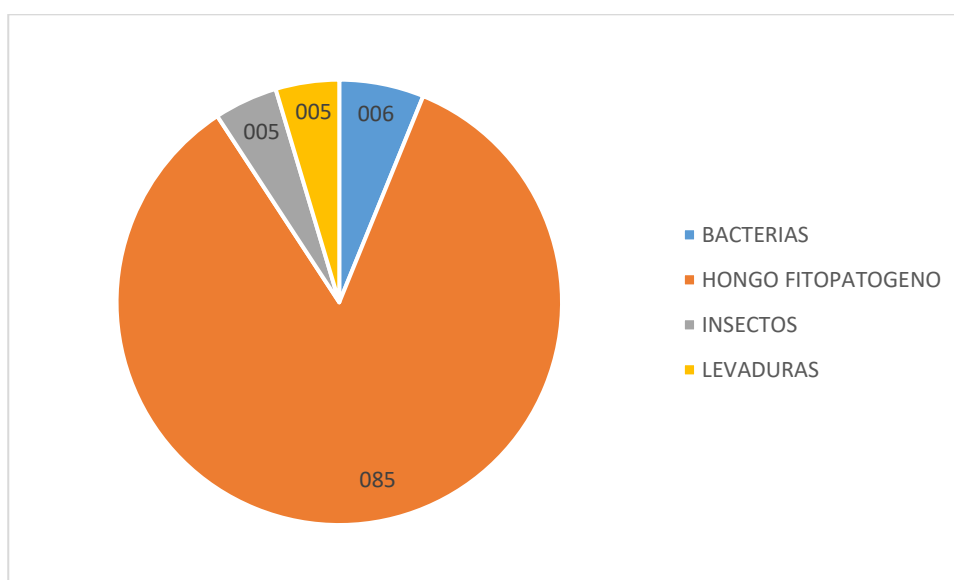
Ecuación 1. Modelo de búsqueda inicial

A partir de los resultados de las dos primeras ecuaciones se determinó ampliar más la búsqueda, utilizando las keywords que recopila Scopus, ampliando el año de publicación a partir de la ecuación 3 hasta la ecuación 9 con excepción de la ecuación 7 y 8, puesto que se observó un aumento en el número de resultados pero que realmente se encuentre acordes al presente tema de investigación, también se amplió el tipo de acceso del documento y se obtuvieron nueve ecuaciones de búsqueda con 294 resultados en total, pero que finalmente se redujeron el número de ecuaciones ya que la ecuación 1 y 9 obtuvieron el mismo resultado y ya se encontraba en la ecuación 2 para obtener 292 resultados de las ecuaciones 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, se encontraron 53 coincidencias y 150 documentos que no aplicaban al tema de investigación, estos documentos se revisaron de forma manual y se observó que utilizaron la radiación UV-C como un mecanismo de desinfección para ambientes hospitalarios, desinfección de monumentos históricos, sistemas de tratamiento para la desinfección de aguas residuales, estimulación de la vitamina D en frutas y verduras, tratamiento UV-C para tratar la onicomycosis, radiación UV-C para inducir un retraso en la degradación de la clorofila y el desverdecimiento, sistemas de irradiación UV-C germicida en baños, potencial mutagénico para ayudar al desarrollo de nuevas variedad de plantas por radiación UV-C, desinfección de agua de acuicultura con radiación UV-C, respuestas morfológicas de la planta por la radiación UV-C, estimulación de biosíntesis de metabolitos secundarios defensivos con actividad antimicrobiana y antioxidante, irradiación de algunas cepas para la producción mejorada de amoniacos y aceites para la generación de biocombustibles.

El restante (89 documentos) se revisó para saber si son de acceso abierto, teniendo un total de 59 documentos, que se categorizaron por diferentes productos agrícolas (flores, frutos, granos y cereales, tubérculos y verduras) (Gráfica 1) y por tipo de microorganismo que se encontraba afectando a estos mismos productos (hongo, bacteria, levadura e insecto) (Gráfica 2); el producto de postcosecha que más es expuesto a desinfección por radiación UV-C eran las frutas con un 59.3% seguido de verduras con un 24.7%, frutos secos, granos y cereales con una misma proporción del 6,2%, para tubérculos en un 2.5% y con un 1,2% el sector floricultor.



Gráfica. 1. Porcentaje de artículos relacionados con cultivos agrícolas postcosecha irradiados con UV-C

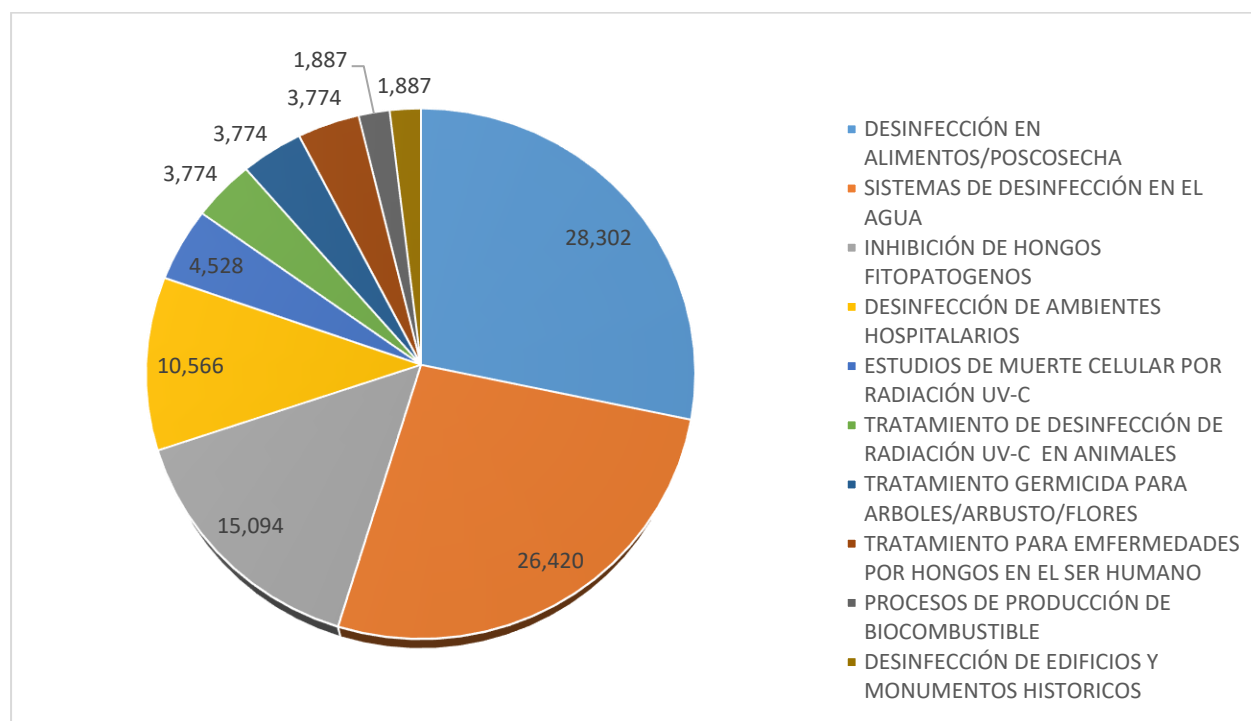


Gráfica. 2. Porcentaje de artículos relacionados con patógenos irradiados con UV-C

7.2 Análisis de las palabras claves de las primeras ecuaciones de búsqueda

Para la recopilación de las palabras claves de las primeras ecuaciones de búsqueda (ecuación 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8) encontradas en *Scopus*, se obtuvieron 1786 palabras claves, para llegar esta cifra se organizaron los términos de la A a la Z y se eliminaron todas las palabras que se duplicaban mediante Excel, lo que permitió finalmente agrupar estas palabras clave en temáticas que han empleado la radiación UV-C (ver gráfica 3). Se observó que dentro de toda

esta proporción se encuentra en primer lugar la desinfección en alimentos y cultivos de postcosecha con 28,30% seguido de los sistemas de desinfección para agua con 26,42%, inhibición de hongos fitopatógenos tratados en laboratorio con un 15,09%, desinfección de ambientes hospitalarios con un 10,57% , estudios de muerte celular por radiación UV-C con un 4,53%, tratamiento de desinfección de radiación UV-C en animales y tratamiento germicida para árboles/arbusto/flores con un 3,77%, tratamiento para enfermedades por hongos en el ser humano 3,77%, procesos de producción de biocombustible y desinfección de edificios y monumentos históricos con un 1, 89%.



Gráfica. 3. Porcentaje de Temas encontrados en la búsqueda de radiación UV-C

7.3. Análisis de resultados de las ecuaciones iniciales de búsqueda

De las 9 ecuaciones de búsqueda iniciales hubo tres ecuaciones que generaron un buen número de resultados: 2, 3 y 4. Para la ecuación número dos se empleó como operador lógico el AND y el OR siendo una de las primera ecuaciones limitadas por el año de publicación; de hecho se puede decir que fue la que tuvo mejores resultados a comparación de la ecuación 3 y 4 (ver Tabla VIII), pues esta ecuación rastreó información de inhibición de hongos fitopatógenos que atacan productos de postcosecha de papaya, fresa, mango y tomate, siendo

afectados por hongos biótrofos y hongos necrótrofos, estos son hongos parásitos oportunistas que causan una gran variedad de lesiones en sus huéspedes. Para la ecuación número 3 en adelante no se restringió el año de publicación con el fin de tener un mayor número de resultados, combinándose términos muy similares salvo por la palabra *irradiación* permitiendo obtener 65 resultados. De estos 65 resultados 41 documentos aplicaron, pero realmente solo 24 documentos tienen acceso abierto. Para la ecuación número 4 se tuvo 89 resultados con 25 documentos que si aplicaron al tema de investigación y tan sólo 17 documentos de acceso abierto; en esta ecuación se conjugaron más términos por tanto la búsqueda se amplió un poco más, aunque se vio más variedad de productos expuestos a radiación UV-C; esto representa una búsqueda no eficiente pues tuvo 89 resultados y 17 documentos de consulta, llevando al investigador a tomar más tiempo para la revisión de 89 resultados que a la final solo el 19% de podrían ser empleados.

TABLA. VII. ECUACIONES INICIALES CON MEJORES RESULTADOS DE BÚSQUEDA

| Nº DE BÚSQUEDA | CRITERIOS DE BÚSQUEDA | # DOCUMENTOS | TIPO DE DOCUMENTO | ¿CUANTOS DOCUMENTOS APLICAN? | AÑO DE PUBLICACIÓN | Nº DE DOCUMENTOS DE ACCESO ABIERTO |
|----------------|---|--------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 2 | <i>TITLE-ABS-KEY((uv-c) AND (fungi) AND (fruits)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND ACCESTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2020</i> | 7 | Article | 6 | 2012-2018 | 6 |
| 3 | <i>TITLE-ABS-KEY((uv-c) AND (fungi) AND (irradiation)) AND ACCESTYPE (OA)</i> | 65 | Review- Article | 41 | 1996-2019 | 24 |
| 4 | <i>TITLE-ABS-KEY(((uv-c) AND NOT (escherichia*)) AND (postharvest) AND (ultraviolet) AND (radiation))</i> | 89 | Article | 25 | 1996-2020 | 17 |

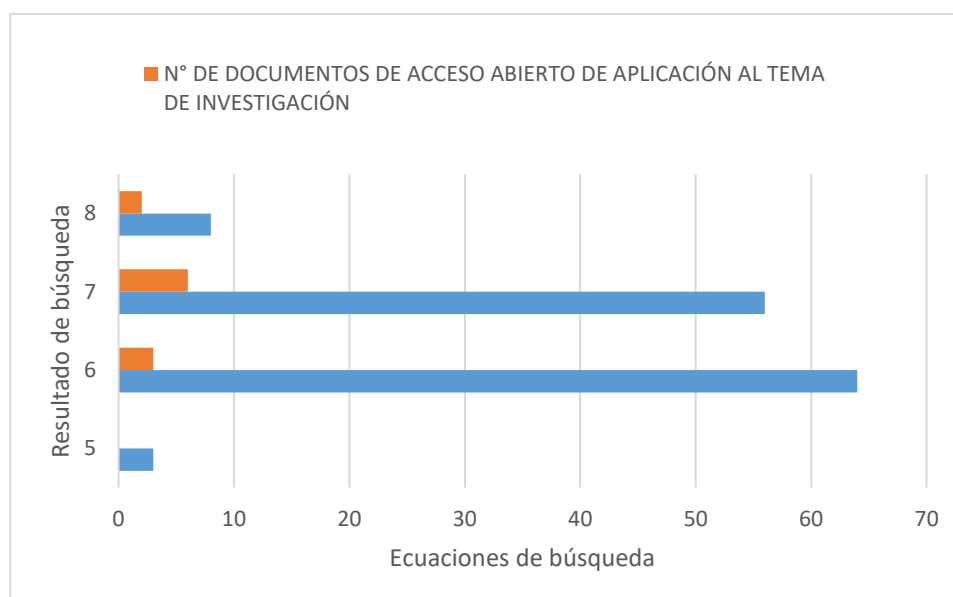
Los resultados de búsqueda para las ecuaciones 1 y 9 fueron coincidentalmente el mismo, siendo una ecuación nula ya que estos mismo resultados se encontraron en la ecuación 2 (ver Tabla XI); en vista de los resultados se puede analizar que las dos ecuaciones podrían ser equivalentes ya que ambas buscan los mismos criterios; salvo que la ecuación nueve busca tres términos más que no están en la ecuación uno e incluye sinónimos de los términos *flor* y *ultravioleta*, habiendo para esta búsqueda restricción en el año de publicación; en esta ecuación también emplearon los operadores booleano AND y NOT conjugados para excluir

términos que no presentaban ninguna relación con el tema; estas condiciones permitieron llegar a la ecuación número 1.

TABLA. VIII.COINCIDENCIA DE RESULTADOS DE BÚSQUEDA

| # DE LA ECUACIÓN | ECUACIÓN DE BÚSQUEDA | RESULTADO DE BÚSQUEDA | ARTICLE |
|------------------|--|-----------------------|--|
| 1 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c) AND (flower) AND (fungi))) AND DOCTYPE (<i>ar OR re</i>) AND ACESSTYPE (<i>OA</i>) AND PUBYEAR > 2008 AND PUBYEAR < 2020</i> | 1 | <i>Dark period following UV-C treatment enhances killing of botrytis cinerea conidia and controls gray mold of strawberries.</i> |
| 9 | <i>TITLE-ABS-KEY (((uv-c OR ultraviolet AND dose) AND NOT (<i>air*</i> OR <i>water*</i> OR <i>alcohols*</i> OR <i>human*</i>)) AND (flower OR flowering) AND (harvest) AND (fungi)</i> | 1 | <i>Dark period following UV-C treatment enhances killing of botrytis cinerea conidia and controls gray mold of strawberries.</i> |

Para las ecuaciones 5, 6, 7 y 8 no fueron medianamente acordes para poder ser usadas como un modelo eficiente de búsqueda (ver Gráfica 4) ya que se puede tener un gran número de resultados, pero con un margen de aplicación del 4 al 10 %, tomándole tiempo al investigador de localizar los 17 resultados dentro de un conjunto de 89 resultados de forma manual.



Gráfica. 4. Resultados de búsqueda ecuación 5,6,7 y 8 de libre acceso

7.3.1. Análisis bibliométrico de ecuaciones iniciales de búsqueda

De los resultados obtenidos de las 9 ecuaciones de búsqueda se realizó una revisión bibliométrica con excepción de las ecuaciones 1,5 y 9; la ecuación 5 contó con 3 resultados, pero ninguno aplicó debido a que la información encontrada empleaba la radiación UV-C para simular hábitats extremos de un accidente nuclear en hongos, y los otros dos documentos utilizaban la luz UV-C para la inhibición de biocontaminantes en el aire. Esta revisión se hizo por autor, año de publicación, país y afiliación aprovechando las herramientas métricas que ofrece *Scopus*, también conocidas como métricas de *snowball*; esta información es definida y respaldada por universidades de investigación intensiva [51].

Ecuación número dos:

Para esta ecuación se obtuvieron 7 resultados, siendo la búsqueda más efectiva entre las primeras nueve ecuaciones formuladas, pues todos los 7 documentos aplicaron, estos son documentos a partir del año 2012 hasta el 2018, fueron realizados por 38 autores y con la participación de 7 países y 15 institutos de investigación entre universidades. Como se muestra en la Fig. 5, se encontraron presentes dos universidades provenientes de dos países latinoamericanos Colombia y México, la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín el cual publico una investigación llamada ‘‘Uso de radiación UV-C y análisis de imágenes para el control de hongos en plantas de tomate.’’, esta investigación fue realizada por un grupo de 7 autores (M.A, Valencia, L.F. Patiño, J.A. Herrera, D. A. Castañeda, J.A. Gómez, Jairo C. Quijano) con la colaboración del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM)[22], publicada para el año 2017 la Universidad Autónoma de Chiapas realizó una investigación titulada ‘‘Combinación de radiación UV-C y películas de quitosano enriquecidas con aceites esenciales para el control de hongos en papaya 'Maradol'’’ realizada para el año 2018 [47].

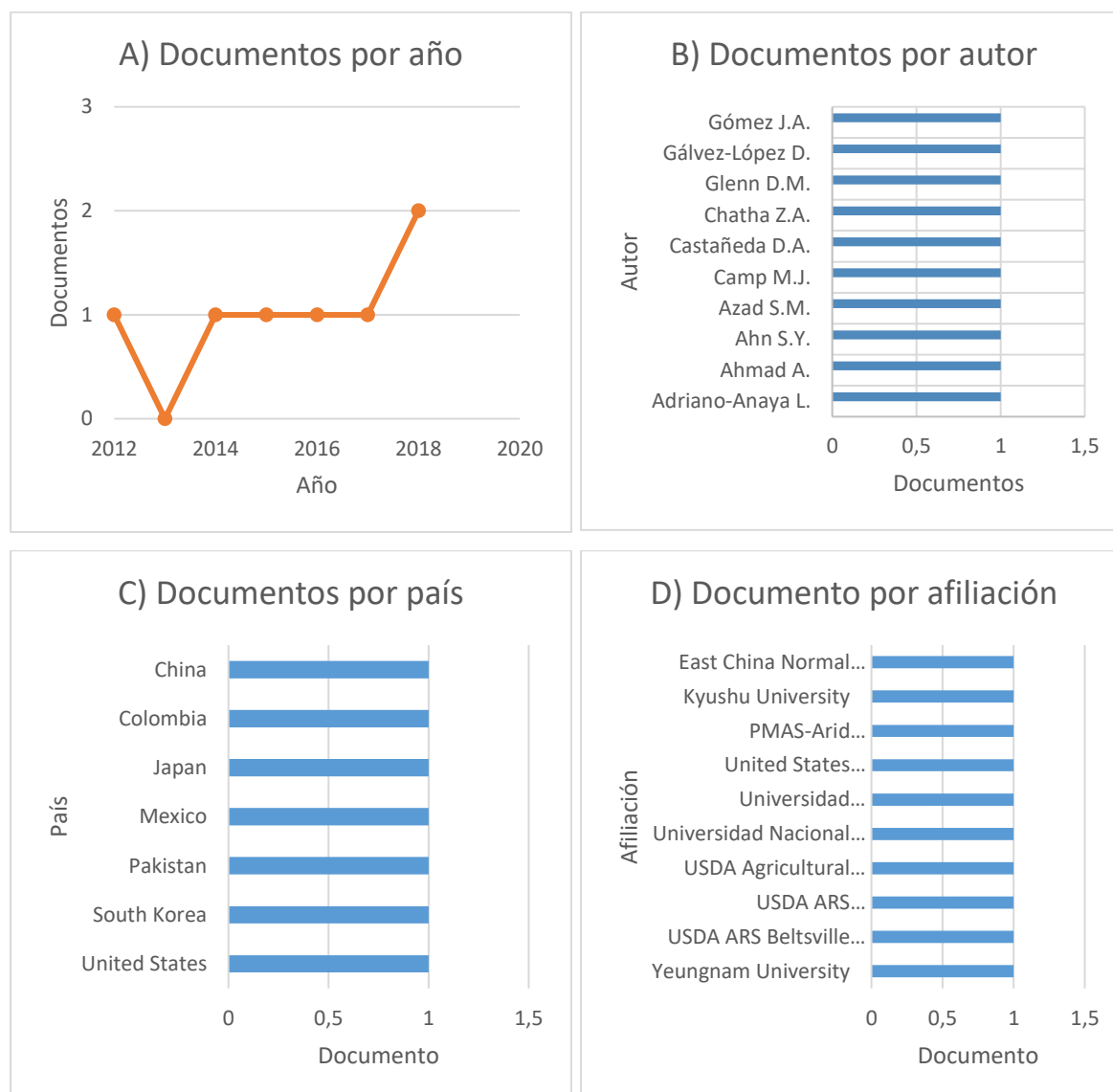


Fig. 3. Información bibliométrica ecuación No. 2. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación.

Fuente: *Scopus*

Ecuación número tres:

Para esta ecuación se tuvieron 65 resultados de búsqueda, empleando términos de consulta como UV-C, *hongo* e *irradiación* con años de publicación desde 1995 al 2020, siendo el año 2018 con mayor número de publicaciones. Entre los autores que más han publicado documentos se encuentra Marquenie, D. de la Universidad Católica de Lovaina (La Vieja) en Bélgica, con 4 publicaciones en compañía de Michiels, CW y Van Impe, J.F que han trabajado juntos en la desinfección con luz UV-C de la fresa para prevenir la descomposición

durante el almacenamiento. En los resultados de esta búsqueda tuvo la participación de 31 países, entre los países con mayor número de publicaciones se encuentran Estados Unidos con 15 publicaciones y Japón 5. Entre los centros de investigación se tuvieron la participación de 124 universidades entre institutos de investigación públicas y privadas, las instituciones con mayor trascendencia se encuentran: Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (ver Fig.6).

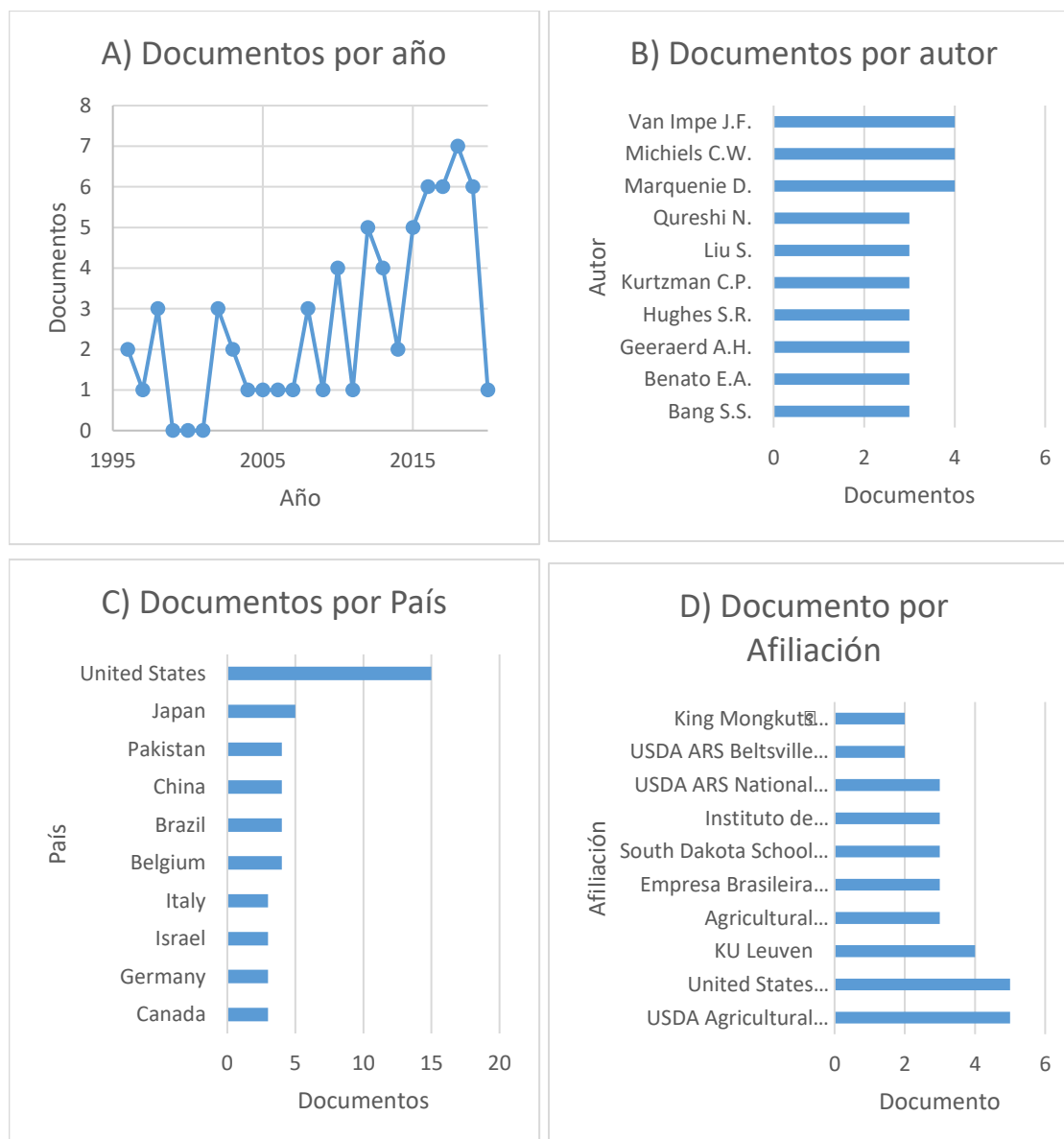


Fig. 4. Información bibliométrica ecuación No. 2. A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: *Scopus*

Ecuación número cuatro

Esta ecuación contó con 89 resultados, teniendo mayor número de documentos con respecto a las otras ecuaciones de búsqueda, debido a que se combinaron varios términos de consulta (Tabla III); los años de publicación están entre 1996 al 2020 siendo el año 2016 con mayores publicaciones (10 documentos). Para el caso de los autores hubo 160 investigadores entre autores y coautores, entre los más destacados se encuentra Charles, M.T. con 6 documentos publicados sobre el uso de luz UV-C para el tratamiento de productos de postcosecha, con la colaboración de Rolland, D. y Roussel. D. Estos autores participó con la publicación de 5 documentos de 6 que había publicado Charles, M.T. (ver Fig. 7)

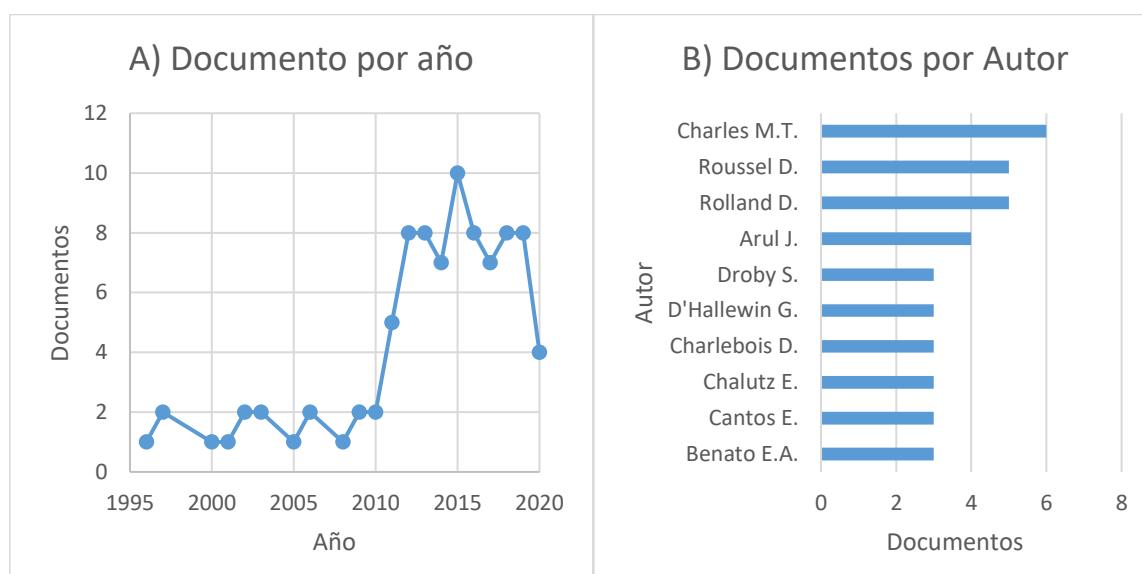


Fig. 7.A) Documentos clasificados por año. B). Documentos clasificados por autor. Fuente: *Scopus*

Las investigaciones se han realizado en 29 países, entre los más destacados se encuentra China con 26 publicaciones y Brasil con 15 publicaciones. Por instituciones de afiliación participaron 135 instituciones, llevando el primer lugar *Agricultural Research Service*, esta es una institución del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ver Fig.8).

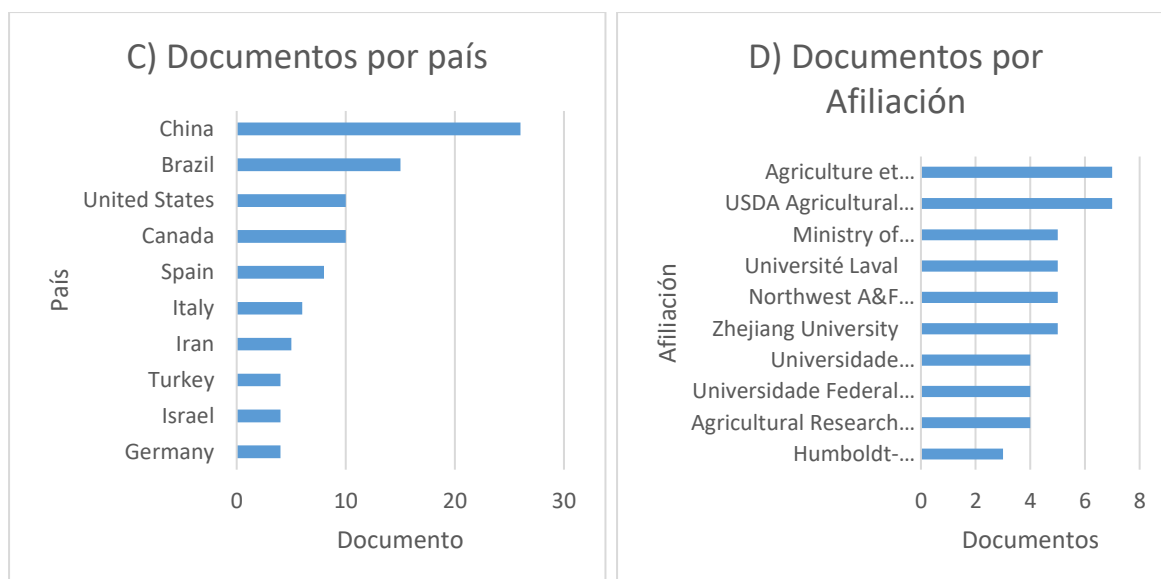


Fig. 6. Información bibliométrica ecuación No. 4. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: *Scopus*

Ecuación número seis:

Esta ecuación tuvo 64 resultados de búsqueda con fechas de publicación desde 1979 hasta el 2019, siendo el año 2015 con mayor número de publicaciones, con la participación de 160 autores de los cuales 6 de ellos cuentan con dos publicaciones. (ver Fig. 9).

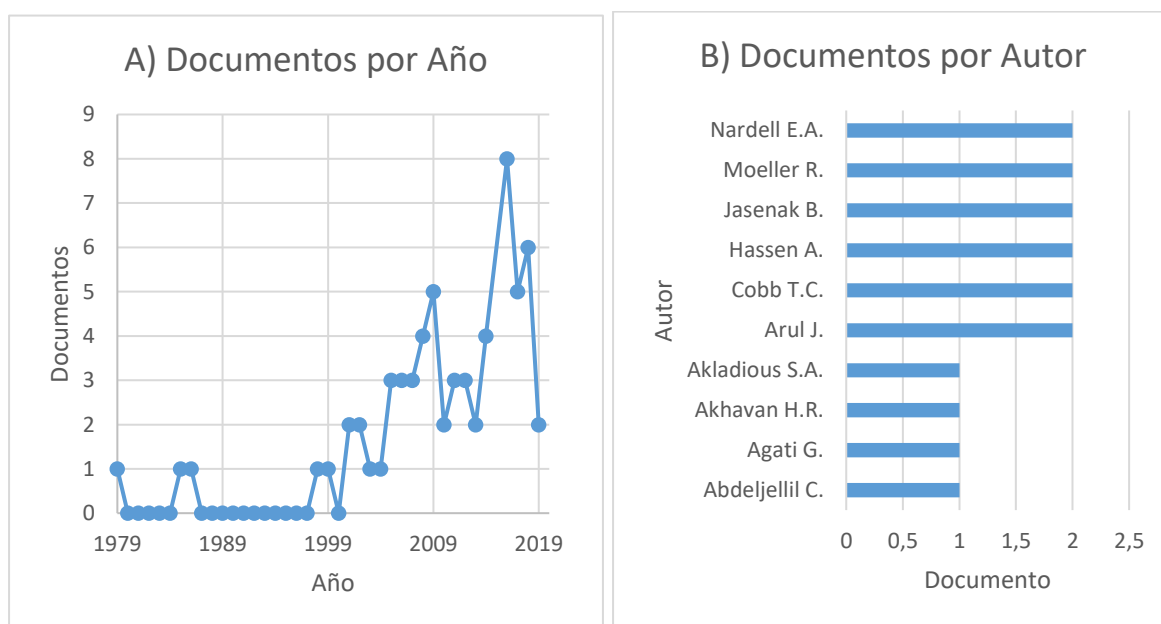


Fig. 7. Información bibliométrica ecuación No. 6. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. Fuente: *Scopus*

En cuanto a las publicaciones por país contó con 29 países, siendo encabezado por Estados Unidos por 28 publicaciones. Para las instituciones afiliadas esta búsqueda contó con 107 instituciones publico privadas (ver Fig.10)

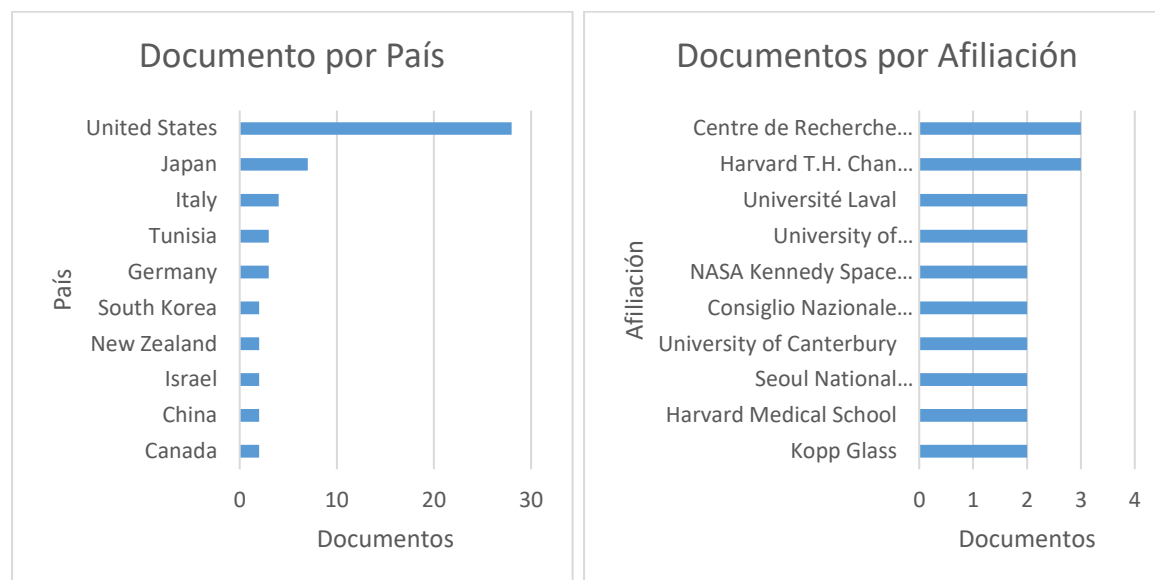


Fig. 8. Información bibliométrica ecuación No. 6. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: *Scopus*

Ecuación número siete:

Esta ecuación contó con 56 resultados de búsqueda teniendo inicios de publicación a partir del año 2012 al 2019, el año con mayor publicación correspondió al año 2017 con 9 publicaciones, se tuvo la participación 162 autores de 27 países; los países con mayor participación se encontraron China con 9 publicaciones y Estados Unidos y Italia con 7 publicaciones. Entre las instituciones afiliadas entre públicas y privadas se contó con 100 teniendo mayor número de publicaciones 3 instituciones; nuevamente se encontró *USDA Agricultural Research Service*, seguido de *Agriculture et Agroalimentaire Canada*, que es uno de los departamentos de gobierno federal que apoya al sector agrícola y agroalimentario canadiense y finalmente está el *Technological Educational Institute of Peloponnese* es un centro educativo de investigación que se encuentra en Grecia (ver Fig.11).

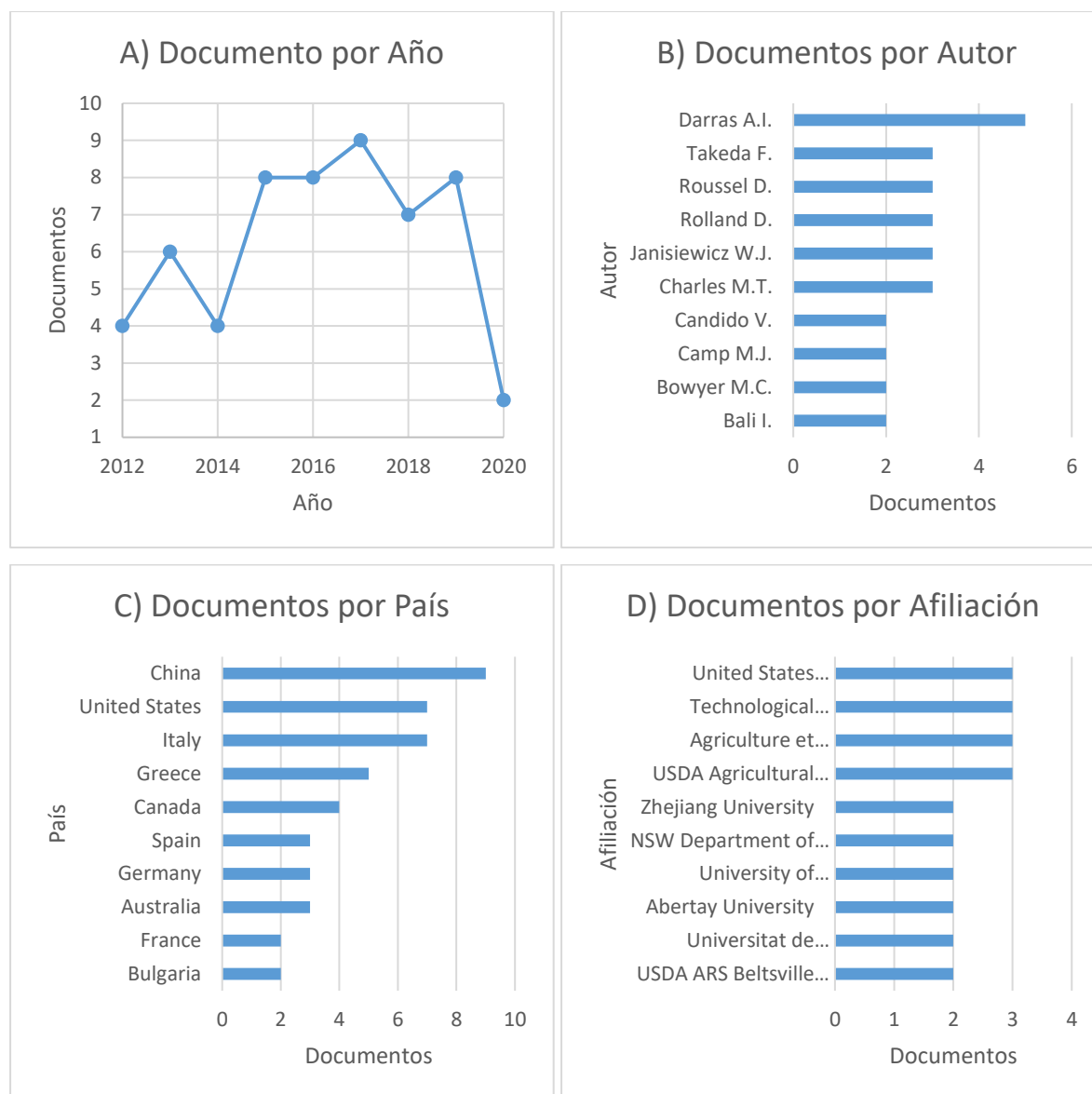


Fig. 9. Información bibliométrica ecuación No. 7. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus

Ecuación número ocho:

Esta ecuación contó con 8 resultados de búsqueda con periodos de publicación a partir del año 2013, siendo 2019 el año con mayor número de publicaciones, con la participación de 39 autores 8 países, encabezados por Francia con dos publicaciones estas investigaciones fueron realizadas por 29 instituciones público privadas afiliadas (ver Fig. 12).

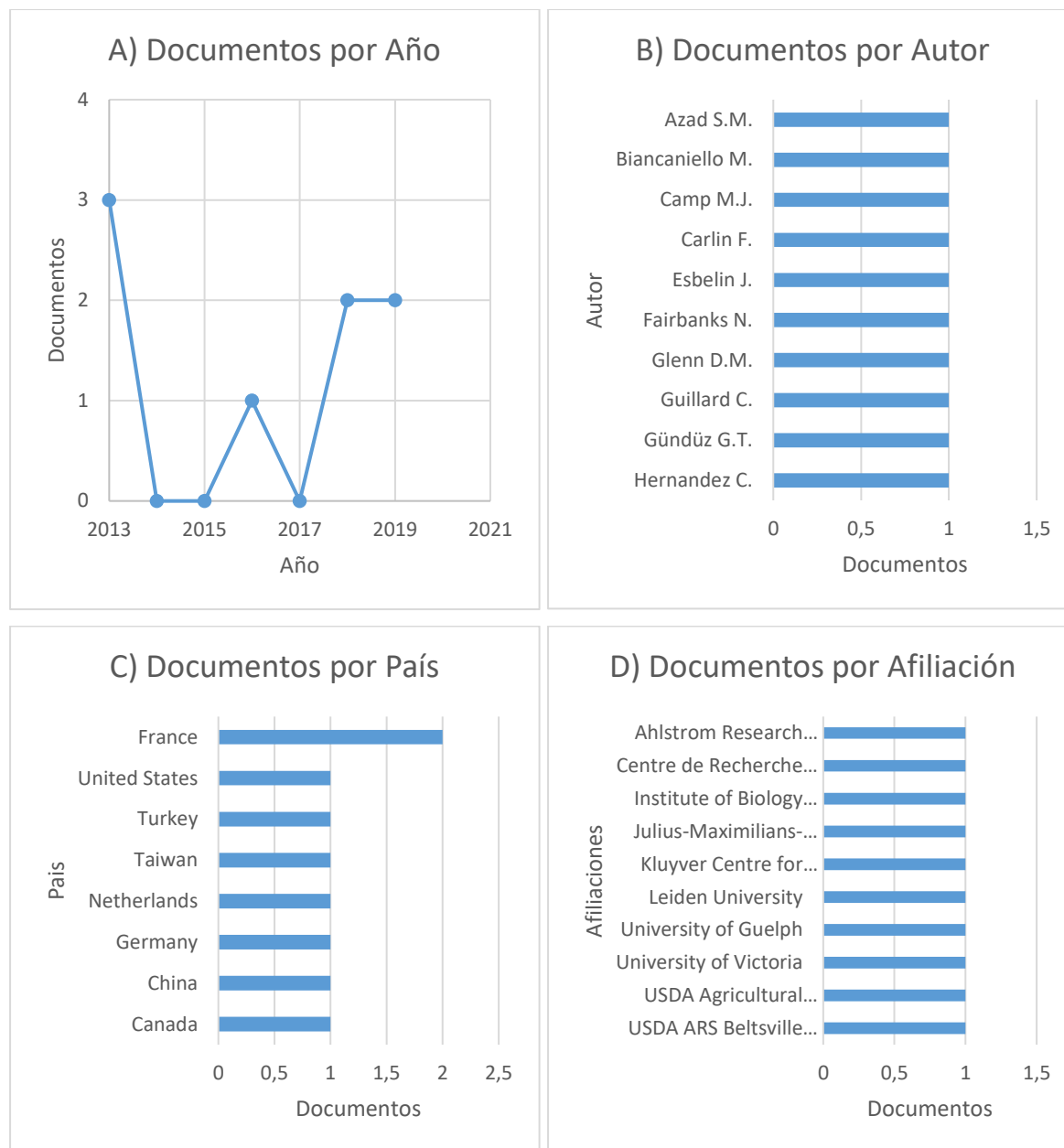


Fig. 10. Información bibliométrica ecuación No. 8. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus

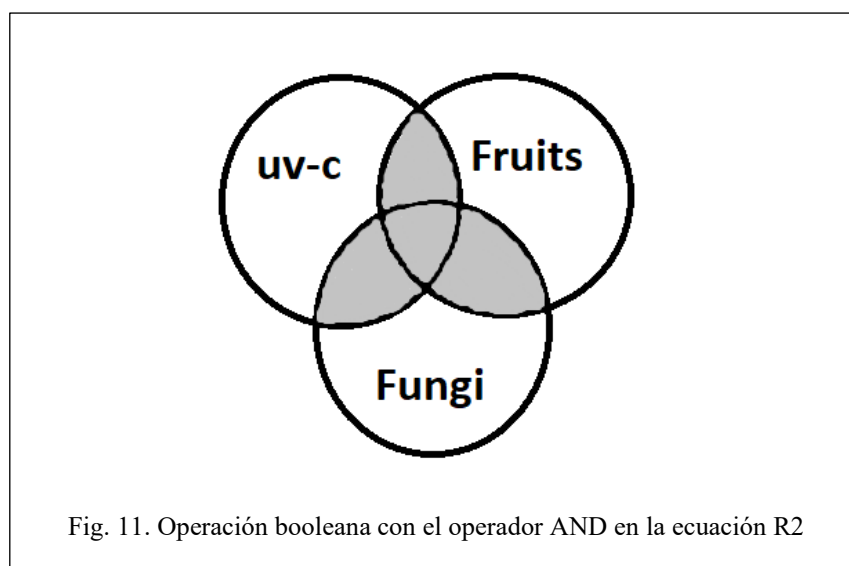
7.4. Análisis de información bibliométrica ecuaciones refinadas (R1, R2, R3, R4)

El refinamiento de estas ecuaciones de búsqueda tenía como objetivo que los resultados encontrados fueran más acordes cerca al presente tema investigado para cumplir con este criterio se empezaron a excluir términos que no tenían ningún tipo de relación al tema de estudio y se fueron combinando las palabras claves con sus palabras sinónimas, con los

resultados obtenidos permitió realizar un análisis bibliométrico del año de publicación, autores, país y afiliación.

7.4.1 Información bibliométrica ecuación R1.

La información bibliométrica de esta ecuación 2 de las ecuaciones iniciales de búsqueda ahora llamada R1 con 7 resultados; fue seleccionada puesto que los resultados obtenidos aplicaron todos para el presente proyecto, siendo una ecuación ideal de búsqueda. Los términos empleados para esta ecuación fueron: *TITLE-ABS-KEY ((uv-c) AND (fungi) AND (fruis)) AND DOCTYPE (article OR reviews) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2020*. Las tres palabras claves combinadas (ver Fig.12) recogieron todos los documentos que contenía estos tres términos, permitiendo reducir y hacer una búsqueda más concreta.



7.4.2 Información bibliométrica ecuación R2

Para esta ecuación se obtuvieron 16 resultados de búsqueda, los términos empleados fueron *"*uv-c*" AND inhibition OR increase*; acá la ecuación busco palabras que contuviesen estos tres términos combinadas (AND) por *fungial* como sinónimo *fungi* AND *flower* o *plant* con 5 términos excluidos (AND NOT) como *microbes*, *bacteria*, *protein*, *D2* y *mutants* términos que se iban excluyendo mediante se veía que salían temas que no aplicaban a la investigación. *Scopus* arrojó información a partir del año 2002 al año 2019 por ende, no se observaron investigaciones del año 2003 al año 2011(Fig. 14A), volviendo a tener registros de publicación es esta ecuación para el año 2014, donde el 93.8% de las publicaciones se

encuentran en artículos y el 6.3% son *review*. Los países que ocupan los primeros puestos de investigación se encuentran Francia y Túnez, publicaciones que realizaron a partir del año 2015 en adelante (ver Fig.14B.) Los autores más representativos son Aarouf, J., y colaboradores Nicop, P., Ouhibi, C. y Urban, L (Fig.14C). Este grupo de investigadores han trabajado juntos encabezado por Aarouf, J. vinculados en la *Université d'Avignon et des Pays Vaucluse* (Fig.14D), esta es una universidad francesa fundada hace más de nueve siglos reconocida por tener un centro de investigación de enseñanza superior científica.

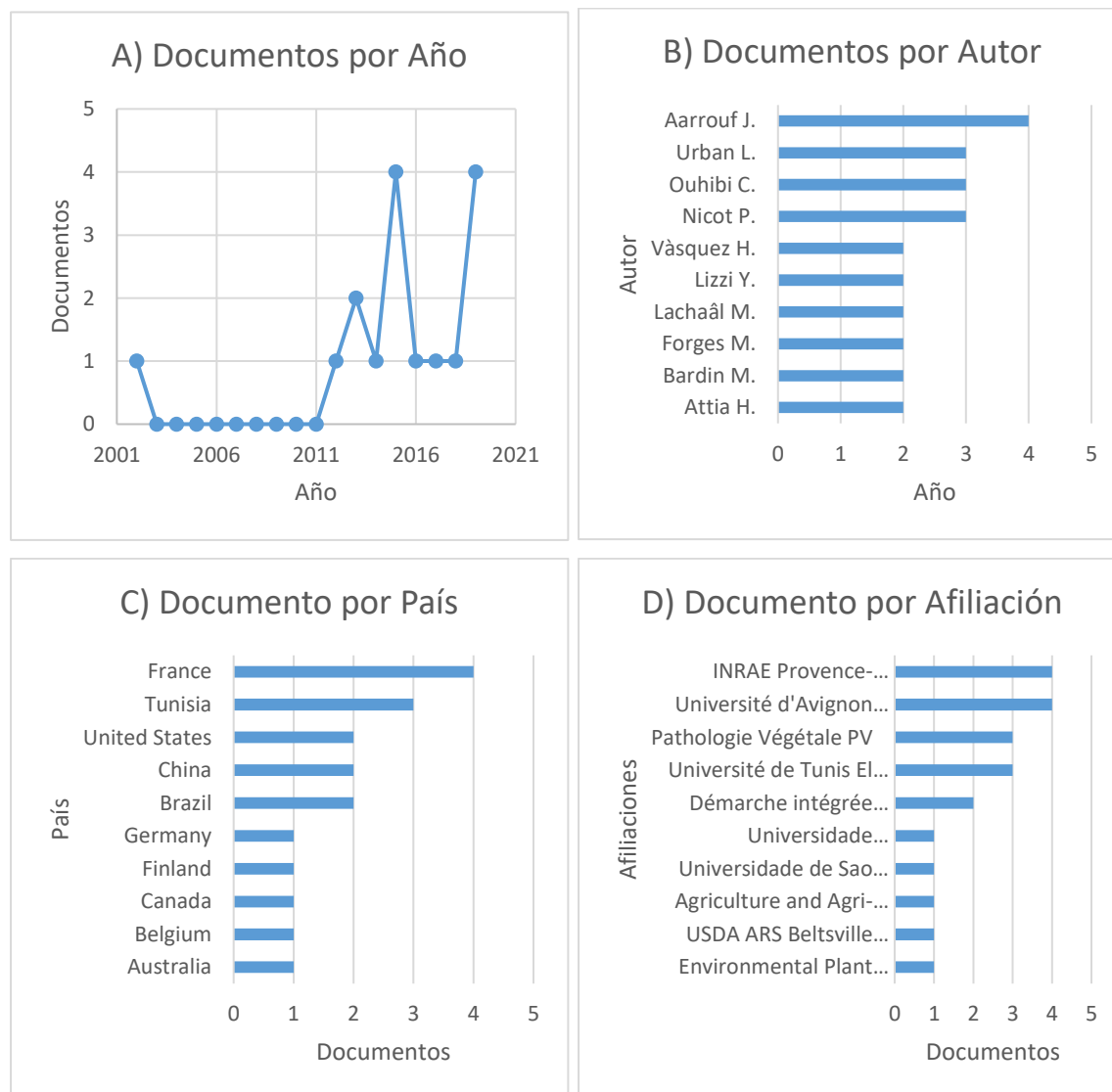


Fig. 12..Información bibliométrica Ecuación R2. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus.

7.4.3. Información bibliométrica ecuación R3

Para esta ecuación se obtuvieron 14 resultados de búsqueda empleándose la frase “*UV-C* irradiations” siendo combinada por *fungi* OR *fungal* con (AND) *postharvest* con la restricción (ANT y NOT) de 12 términos como *bio**, *PCR*, *metabolites*, *D2*, *chitosan*, *chinatase*, *neural*, *uv-b* OR *uvb*, *mycotoxins*, *hormesis*, *hplc*, palabras que fueron restringidas que no aplicaban al tema de investigación. Se observó que para esta ecuación la publicación inició desde el año 1998 con un número de dos publicaciones (Fig.15A), realizadas en Israel e Italia; hay periodos sin investigación del 1999 al 2019 de diez años no consecutivos. Los países que más se destacan son Brasil y China (Fig.15B),

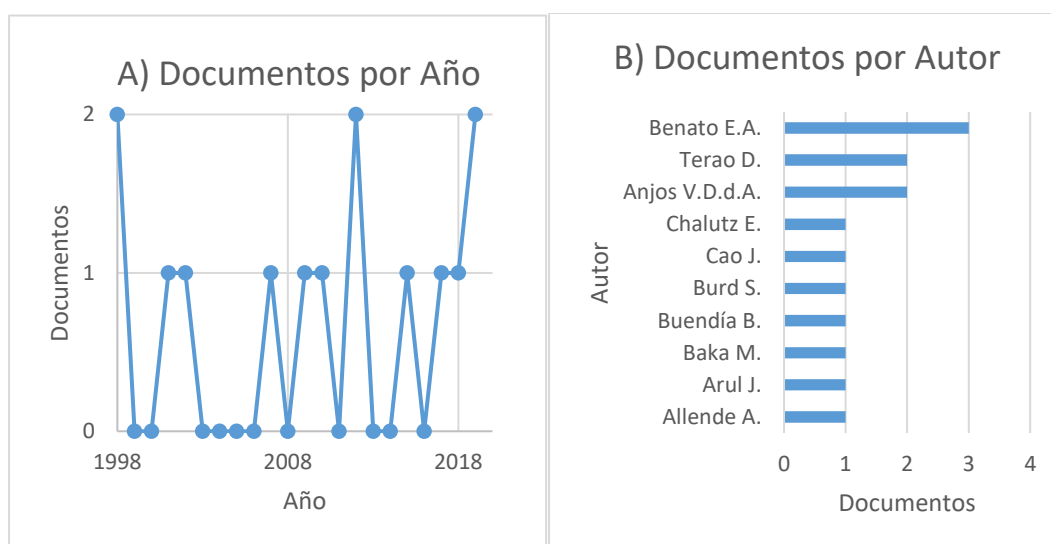


Fig. 13.. Información bibliométrica Ecuación R3. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. Fuente: *Scopus*

Por autor se observó que el primer lugar se encuentra Benato, E.A. junto sus colaboradores Anjos, V.D.d.A. y Terao, D. investigaciones financiadas por la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo Brasil (Fig.16C) para revistas como *Journal of*

Phytopathology, *Bragantia* y *Food Engineering Reviews* (Fig.16D) realizadas a partir del año 2009 al 2018.

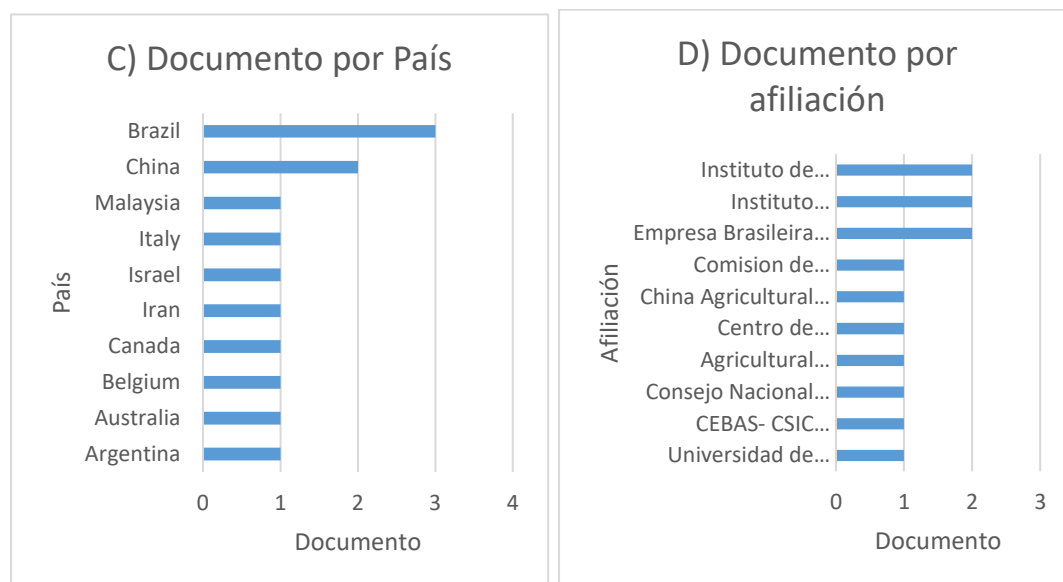


Fig. 14. Información bibliométrica Ecuación R3. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: *Scopus*

7.4.4 Información bibliométrica ecuación R4

Para esta ecuación se obtuvieron 12 resultados de búsqueda, los primeros resultados de esta ecuación tuvieron 5 coincidentes con las ecuaciones R1, R2 y R3; los términos de búsqueda de esta ecuación fueron: **uv-c** AND combinados por *irradiation* OR como sinónimo *radiation* seguida de *fungi* OR (*fungal* OR *spores*) AND (*fruts* OR *plants* OR *flower*) AND (*postharvest* OR *harvest*). En esta ecuación se tuvieron 5 coincidencias con las ecuaciones R1, R2, y R3 con tres documentos de acceso restringido, el restante contenía información sobre el uso de luz UV-C como una estrategia de defensa en las plantas. En la revisión bibliométrica para el año de publicación aparece el primer documento para el año 1998 pero este mismo documento sale en la ecuación R3, por lo que se encontró que el año de publicación abarca desde 2010 al 2019 (Fig. 17 A). Los países que se destacan son China, con cuatro documentos seguido de Francia (Fig. 17 B). Para los documentos publicados por autor se encontraba nuevamente encabezados por Aarouf, J. y colaboradores, L (Fig.17 C) publicados, en conjunto dos documentos desarrollados en la *Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse*. (Fig.17 D).

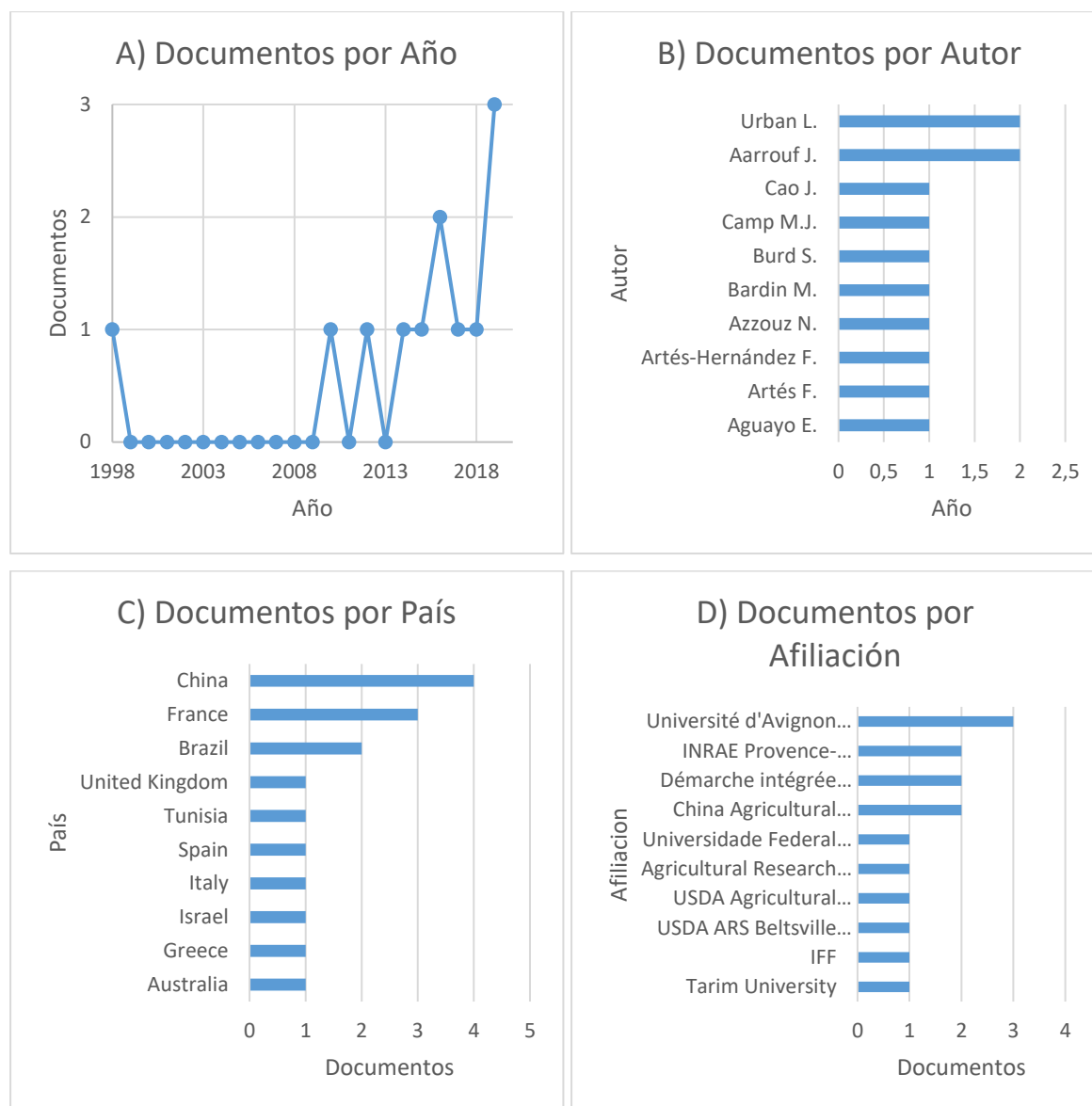


Fig. 15. Información bibliométrica Ecuación R4. A) Documentos clasificados por año. B) . Documentos clasificados por autor. C) . Documentos clasificados por país. D) Documentos clasificados por afiliación. Fuente: Scopus

7.5. Análisis de las variables para la puesta en marcha de un equipo fungicida basado en las ecuaciones refinadas

7.5.1. Recopilación de variables de análisis de las ecuaciones refinadas

Con base a los 26 documentos que se obtuvieron de las ecuaciones refinadas (R1, R2, R3 y R4) se construyó en Excel una base de datos de las variables de operación del prototipo (Ver Tabla IX), la información recopilada fue organizada y dividida por 4 categorías (ver Tabla X). En efecto no todos los 26 documentos contaban con la información requerida; se

encontraron 5 documentos que no se encontraba la información completa de las tres variables de estudio (ver Tabla XI). Dos documentos tipo *review* no hicieron parte del análisis de resultados de este capítulo (ver Tabla XII), puesto que estas revisiones mencionaban los distintos usos de la radiación UV-C combinada con otros tratamientos de desinfección, mas no hablaban de las variables de estudio, 8 documentos del uso de luz UV-C en productos de postcosecha; en estos si se encontraron las tres variables de estudio (ver Tabla XIII); Hubo 11 documentos que empleaban la luz UV-C como agente germicida, y también como mecanismo de respuesta inducida en organismos vegetales ante el ataque de plagas (Tabla XIV). Este tipo de información se encontró en las cuatro ecuaciones de refinamiento, de hecho representa el 42%, del total de documentos que se tiene para el presente análisis, por lo que se cree importante analizar esta información ya que muchos de los experimentos aplican la radiación directamente sobre los frutos, hojas, tallos y flores sin ser inoculados por ninguna clase de hongo, y los otros irradian las plantas ya con el hongo inoculado teniendo doble función de inducir la defensa en las plantas y causar la desinfección en la superficie de estos productos, por ende se considera que es sumamente importante definir dosis que proporcionan el efecto deseado en las plantas sin producir efectos secundarios negativos en los órganos vegetales almacenados, puesto que dosis excesivas pueden provocar daños en los frutos.

TABLA. IX. CONSOLIDADO DE VARIABLES DE ESTUDIO. PARTE A

| TÍTULOS | # ECUACIÓN | AÑO DE PUBLICACIÓN | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN | LONGITUD DE ONDA nm | HONGO | FASE DE OSCURIDAD | AUTORES | % DE INHIBICIÓN |
|--|------------|--------------------|---|---------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---|------------------------|--|---|
| <i>In vitro test of mycelial growth inhibition of 5 fungi pathogenic to strawberries by ultraviolet-C (UV-C) irradiation</i> | R1 | 2012 | Fresa | 12 mW / cm ² | 0,0000432 | 40 | 3600 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> F, <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> , (<i>Fusarium oxysporum f.sp. Fragaria</i> y <i>Sclerotium sclerotium</i>) | NO | Kim, S.A., Ahn, S.-Y., Oh, W., Yun, H.K. | 90% |
| <i>Physiological and sanitary quality of castor oil plant seeds due to ultraviolet-C radiation</i> | R2 | 2019 | Semillas de recino | 20,7 kJ m ⁻² | 20,7 | 90 | 900 | 254 | <i>Aspergillus</i> | NO | Marcos Eduardo Viana de Araujoa,*, Eloiny Guimarães Barbosaa, Rodrigo Starneck Lopes de Araújo, Itamar Rosa Teixeira, Felipe Alves Gomesb, Paulo Cesar Corrêaa | 60% |
| <i>Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (Fragaria x ananassa) against Botrytis cinerea</i> | R2 | 2018 | fresa | 1.70 kJ / m ² , | 1,7 | 40 | 208 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> | SI (OSCURIDAD DE 15 H) | M. Forges a bH. Vázquez aF. Charles aD. Chabane Sari ct. Urbana aY. Lizzi aM. Bardin bJ. Aarrouf a | NO REGISTRA |
| <i>Use of low-dose UV-C irradiation to control powdery mildew caused by Podosphaera aphanis on strawberry plants</i> | R2 | 2016 | Planta de fresa | 12.36 J m ⁻² | 0,01236 | 30 | 60 | 254 | <i>Podosphaera aphanis</i> | SI | Wojciech J. Janisiewicz, Fumiomi Takeda, Breyn Nichols, D. Mike Glenn, Wayne M. Jurick II & Mary J. Camp | 88,9 |
| <i>Effects of ethanol and ultraviolet-c treatments on inactivation of Rhizopus oryzae spores which cause postharvest rot</i> | R3 | 2019 | Hongo cultivado en Agar | 0.19 a 1.91 kJ / m ² | 1,91 | 20 | 600 | 254 | <i>Rhizopus oryzae</i> | SI 2 HORAS | Gülsüm Ebru ÖZER UYAR | 99,9 |
| Fungal gene mutation analysis elucidating photoselective enhancement of UV-C disinfection efficiency toward spoilage agents on fruit surface | R1 | 2018 | bayas y uvas de msa | 0.8 kJ / m ² | 0,8 | N/D | N/D | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> | SI | Zhu, P., Li, Q., Azad, S.M., (...), Jiang, Y., Xu, L. | 89 |
| Using UV-C radiation and image analysis for fungus control in tomato plants | R1 | 2017 | tomate (Solanum lycopersicum) =Plantas de 30 días | N/D | N/D | 10 | 60 | 254 | <i>mildeo polvoso</i> | NO | Valencia, M.A., Patiño, L.F., Herrera-Ramírez, J.A., (...), Gómez, J.A., Quijano, J.C. | P <0.01 90% O El % de germinación del hongo despues de la radiación fue de 2,8% |

TABLA. X. CONSOLIDADO DE VARIABLES DE ESTUDIO. PARTE B

| TÍTULOS | # ECUACIÓN | AÑO DE PUBLICACIÓN | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN | LONGITUD DE ONDA nm | HONGO | FASE DE OSCURIDAD | AUTORES | % DE INHIBICIÓN |
|---|------------|--------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---|-------------------|---|-----------------|
| UV-C irradiation compromises conidial germination formation of appressoria and induces transcription of three putative photolyase genes in the barley powdery mildew fungus <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>hordei</i> | R2 | 2019 | Cereal | 100 J m ⁻² a 200 J m ⁻² | 0,2 | N/D | N/D | 254 | <i>Blumeria graminis</i> | SI | Mo Zhu 1, Markus Riederer, Ulrich Hildebrandt* | 50 |
| Alternative Strategy on Control of Postharvest Diseases of Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) by Use of Low Dose of Ultraviolet-C Irradiation | R3 | 2015 | MANGO | 2.5 kJ m ⁻² | 2,5 | 46 | N/E | 254 | <i>Botryosphaeria dothidea</i> , <i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Alternaria alternata</i> y <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | NO | Terao, D., de Carvalho Campos, J.S., Benato, E.A., Hashimoto, J.M. | 70% |
| Inactivation of conidia of <i>Botrytis cinerea</i> and <i>Monilinia fructigena</i> using UV-C and heat treatment | R3 | 2002 | FRESA | 1.50 J / cm ² | 0,00000015 | N/D | 900 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Monilinia fructigena</i> | NO | D Marquenie aJ Lammertyn aA.H Geeraerd bC Soontjens cJ.F Van Impe bB.M Nicolaï aC.W Michiels c | 99% |
| Preharvest UV-C radiation influences physiological biochemical and transcriptional changes in strawberry cv. <i>Camarosa</i> | R4 | 2016 | Fresa | 0.5 kJ m ⁻² | 0,5 | N/E | 120 | 254 | <i>Botrytis Cinerea</i> | N/E | Isadora Rubin de Oliveira a, *, Giseli Rodrigues Crizel b, Joseana Severo c, Catherine M.G.C. Renard d, e, Fabio Clasen Chaves b, Cesar Valmor Rombaldi | N/E |
| Effect of gamma irradiation, UV-irradiation and hot water treatment on fungal growth and aflatoxin in mango fruits (<i>Mangifera indica</i> L.) | R1 | 2014 | mango | N/E | N/E | N/E | 1800 | 279 | <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus flavus</i> y <i>Cladosporium cladosporioides</i> | NO | Chatha, Z.A., Ahmad, A., Zahoor, T., Raza, A., Kaleem, M. | 36% |
| Pre-harvest hormetic doses of UV-C radiation can decrease susceptibility of lettuce leaves (<i>Lactuca sativa</i> L.) to <i>Botrytis cinerea</i> L. | R2 | 2017 | lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) | 0.85 kJ m ⁻² 1.70 kJ m ⁻² | 1,7 | 30 | 120 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> L. | NO | Hilarión Vásquez, Chayma Ouhibia, b, Yves Lizzia, Nasser Azzouza, Marine Forgesa, c, Marc Bardinc, Philippe Nicot, Laurent Urbana, *, Jawad Aaroufa, * | N/E |
| Effects of nitrogen supply and of UV-C irradiation on the susceptibility of <i>Lactuca sativa</i> L. to <i>Botrytis cinerea</i> and <i>Sclerotinia minor</i> | R2 | 2015 | Lechuga <i>Lactuca sativa</i> | 0.85 kJ. m ⁻² | 0,85 | 10 | 53 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Sclerotinia minor</i> | NO | Chayma Ouhibi & Houneida Attia & Philippe Nicot & François Lecompte & Véronique Vidal & Mokhtar Lachaâl & Laurent URBAN & Jawad Aarouf | 67% |

TABLA. XI. CONSOLIDADO DE VARIABLES DE ESTUDIO. PARTE C

| TÍTULOS | # ECUACIÓN | AÑO DE PUBLICACIÓN | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN | LONGITUD DE ONDA nm | HONGO | FASE DE OSCURIDAD | AUTORES | % DE INHIBICIÓN |
|---|------------|--------------------|--|---|------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---|-------------------|---|---|
| <i>Biochemical responses to ultraviolet-C radiation and methyl jasmonate in Pinus radiata seedlings that accompany induced resistance to Diplodia pinea</i> | R2 | 2013 | Plantulas de h 15–20 cm de Pinus radiata | 12 kJ m ² | 12 | N/E | 3600 | 254 | <i>hongo Sphaeropsis sapinea</i> | NO | Reglinski, T., Taylor, J.T., Ah Chee, A., Northcott, G., Spiers, M. | 50% |
| <i>Influence of ultraviolet-C radiation on some growth parameters of mycorrhizal wheat plants</i> | R2 | 2007 | Triticum aestivum L (trigo) día 28 de crecimiento de la planta | 40 w m ⁻² . | 0,036 | 50 | 900 | 254 | <i>Glomus etunicatum Glomus intraradices Glomus verucifor,e</i> | NO | Samaneh Rahmatzadeh y Jalil Khara | N/E |
| <i>Preharvest UV-C treatment improves the quality of spinach primary production and postharvest storage</i> | R4 | 2019 | Espinaca | 1.5 kJ m ⁻² y 3 kJ m ⁻² se aplicaron en las tres etapas: Plantula, madura y etapa comercial | 1,5 | N/E | N/E | N/E | <i>Mohos y levaduras (no identifican el tipo de hongo)</i> | N/E | Martínez-Sánchez, A., Lozano-Pastor, P., Artés-Hernández, F., Artés, F., Aguayo, E. | N/E |
| <i>UV-C light and pulsed light as alternatives to chemical and biological elicitors for stimulating plant natural defenses against fungal diseases</i> | R4 | 2018 | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | Urban, L., Chabane Sari, D., Orsal, B., (...), Miranda, R., Aarrouf, J. | N/E |
| <i>Disease resistance and growth responses in Pelargonium hortorum plants to brief pulses of UV-C irradiation</i> | R2 | 2015 | Pelargonium x hortorum (flores-geranios) | 2.5 kJ m ⁻² | 2,5 | 30 | N/E | 253,7 | <i>Botrytis cinerea</i> | NO | Anastasios I. Darras*, Ioanna Bali, Evangelia ArgyropoulouFloriculture | reducción del 47% en los diámetros de la lesión : P = 0.05. |
| <i>The expression of a grapefruit gene encoding an isoflavone reductase-like protein is induced in response to UV irradiation</i> | R3 | 1998 | Toronja | 3.2 kJ / m ² | 3,2 | 10 | N/E | 254 | <i>Penicillium digitatum</i> | SI | Amnon Lers1; , Shaul Burd1, Ella Lomaniec, Samir Droby and Edo Chalutz | 72 |
| <i>UV-C irradiation induces defence responses and improves vase-life of cut gerbera flowers</i> | R4 | 2012 | Gerbera | 10.0 kJ m ⁻²) ara activar mecanismos de defensa germicidas e inducibles | 10 | 30 | N/E | 253,7 | <i>Botrytis cinerea</i> | N/E | Darras, A.I., Demopoulos, V., Tiniakou, C. | P < 0.05 70%, |
| <i>UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance</i> | R2 | 2019 | SI | N/E | | N/E | | | N/E | N/E | Wanli Zhang, Weibo Jiang* | N/E |
| <i>Use of biocontrol agents in combination with physical and chemical treatments: Efficacy</i> | R2 | 2014 | SI | Dosis bajas | | N/E | | | <i>Penicillium spp., Monilinia spp., Botrytis cinerea</i> | N/E | Alessandra Di Francesco and Marta Mari* | N/E |

TABLA. XII. NÚMERO DE DOCUMENTOS CATEGORIZADOS EN LAS ECUACIONES FINALES REFINADAS

| Clasificación de documentos de análisis | R1 | R2 | R3 | R4 | Total general |
|--|----------|-----------|----------|----------|---------------|
| Documentos con información de variables incompleta. | 2 | 1 | 2 | | 5 |
| Documentos con información de variables completas. | 4 | 3 | 1 | | 8 |
| Resistencia inducida en las plantas por luz UV-C (hormesis). | 1 | 5 | 1 | 4 | 11 |
| <i>Review</i> | | 2 | | | 2 |
| Total general | 7 | 11 | 4 | 4 | 26 |

TABLA. XIII. DOCUMENTOS PARA ANÁLISIS DE VARIABLES CON INFORMACIÓN INCOMPLETA

| TÍTULOS | Nº DE BUSQUEDA | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN N KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN | LONGITUD DE ONDA nm |
|--|----------------|--|---|--------------------------------|------------------------|---|---------------------|
| <i>Fungal gene mutation analysis elucidating photoselective enhancement of UV-C disinfection efficiency toward spoilage agents on fruit surface</i> | R1 | bayas y uvas de msa | 0.8 kJ / m ² | 0.8 kJ / m ² | N/E | N/E | 254 |
| <i>Using UV-C radiation and image analysis for fungus control in tomato plants</i> | R1 | tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) =Plantas de 30 días | N/E | N/E | 10 cm | 30 s o 60 s de UV-C cada 48 h por 10 días | (254 nm) |
| <i>UV-C irradiation compromises conidial germination formation of appressoria and induces transcription of three putative photolyase genes in the barley powdery mildew fungus <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>hordei</i></i> | R2 | Cereal | 100 J m ⁻² a 200 J m ⁻² | 0,1 a 0,2 | N/E | 30 s o 60 s de UV-C cada 48 h por 10 días | 254 |
| <i>Alternative Strategy on Control of Postharvest Diseases of Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) by Use of Low Dose of Ultraviolet-C Irradiation</i> | R3 | MANGO | 2.5 kJ m ⁻² | 2.5 kJ m ⁻² | 46 cm | N/E | 253.7 nm |
| <i>Inactivation of conidia of <i>Botrytis cinerea</i> and <i>Monilinia fructigena</i> using UV-C and heat treatment</i> | R3 | FRESA | 1.50 J / cm ² | 0,00000015 | N/E | 15 min | 254 nm) |

Nota: N/E: Información no encontrada

TABLA. XIV. REVIEWS RESULTANTES DE LAS ECUACIONES DE BÚSQUEDA REFINADA

| TÍTULOS | AÑO DE PUBLICACIÓN | TIPO DE DOCUMENTO | Nº DE LA ECUACIÓN | AUTORES | INSTITUCIÓN | PAIS | DESCRIPCIÓN |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|---|--|--------|---|
| <i>UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance</i> | 2019 | Review | R2 | Wanli Zhang, Weibo Jiang* | China Agricultural University | China | En esta revisión analiza como el tratamiento con UV reduce las enfermedades poscosecha en frutas y verduras como también mejoró el enriquecimiento fenólico en frutas y verduras de poscosecha y como el tratamiento con UV indujo sistemas de defensa en frutas y verduras de poscosecha. |
| <i>Use of biocontrol agents in combination with physical and chemical treatments: Efficacy assessment</i> | 2014 | Review | R2 | Alessandra Di Francesco and Marta Mari* | Alma Mater Studiorum Università di Bologna | Italia | Esta revisión analiza la combinación de agentes de control biológico con agentes físicos (calor, gamma o UV-C), irradiación, atmósfera controlada) o tratamientos químicos (aditivos de sal, quitosano, productos vegetales naturales) contra las principales enfermedades poscosecha de la fruta |

7.5.2 Análisis de Documentos con información completa de las variables:

Para este primer grupo se obtuvieron 8 documentos que contaron con toda la información de las variables de desarrollo del prototipo; para el análisis de la información se construyó una tabla con la siguiente información (Tabla XIII): título del documento, número de la ecuación refinada, año de publicación del documento, material vegetal irradiado, dosis de radiación, conversión en kJ/m^2 , distancia de radiación (cm), tiempo de exposición expresado en segundos, longitud de onda expresada en nanómetros, tipo de hongo, fase de oscuridad, autores y porcentaje de inhibición.

El material biológico encontrado en la revisión fue: papaya, fresa y semillas de resino; siendo la fresa la que más es estudiada en pruebas de radiación UV-C. En las dosis de radiación hay que tener en cuenta que antes de la irradiación el material biológico es inoculado con el hongo fitopatógeno y luego es irradiado, para las dosis de radiación se hizo una conversión a kJ/m^2 , puesto que las unidades de medida de la columna 4 se encontraban en unidades de micro Watt segundo/ cm^2 y otras unidades diferentes del *joule*. Para cancelar las unidades de micro Watt segundo/ cm^2 se empleó la ecuación de dosis UV, siendo igual al producto de la intensidad UV (expresada como energía por unidad del área de superficie). Los rangos de las dosis halladas se encontraron dentro del rango de 0,0000432 a 20,7 kJ/m^2 .

En las distancias de radiación para estos 8 datos se encontró una mayor frecuencia para distancias de 30 cm con dosis mínimas de 0,01236 kJ/m^2 para *Botrytis cinerea* y *Podosphaera aphanis* y como dosis máximas de 2,88 kJ/m^2 para *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) y *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) para frutos de papaya y fresa. El tiempo de exposición de la radiación sobre el material objeto de estudio se encuentra en segundos, para esta columna se presentó que había campos que no contaban con el tiempo de exposición por lo que se calculó con la ecuación de las dosis de radiación (Ecuación. 2) que ya se había empleado en la columna 4:

$$\text{Tiempo de exposición} = \frac{\text{Dosis (D)}}{\text{potencia (I)}} = \frac{X \text{ mW} * \text{s/cm}^2}{\text{mW/cm}^2}$$

Ecuación 1. Ecuación de tiempo de exposición. Fuente: (C.Stevens *et al*, 1999)

Los tiempos de exposición de estos 8 datos presentaron variaciones, este tiempo siempre dependerá de la fórmula de la potencia irradiada y la dosis radiación, con base a esta ecuación no se cuenta con una frecuencia de tiempos, puesto que varía las dosis de radiación. Con

relación al periodo de oscuridad de los 8 datos registrados, este método es empleado para los siguientes hongos: *Botrytis cinerea* después de ser irradiado por $0,01236 \text{ kJ/m}^2$ durante 120 segundos fue sometido por un periodo de oscuridad de 4 horas con un porcentaje de inhibición del 100% para productos de fresa. Este proceso fue muy importante porque redujo significativamente el número de esporas [45]. Para *Podosphaera aphanis* emplearon un periodo de oscuridad de 4 horas después de una dosis de radiación de $0,01236 \text{ kJ/m}^2$ por 1 min de exposición, con un porcentaje de inhibición de 88,90% para productos de fresa [52]. Para *Rhizopus oryzae* el tiempo de oscuridad empleado fue de 2 horas después de una dosis de radiación de $1,91 \text{ kJ/m}^2$ combinado con un recubrimiento en las esporas de este hongo con etanol al 30% cultivado en agar PDA, el porcentaje de inhibición fue de 99,9 % [53].

TABLA. XV. DOCUMENTOS CON INFORMACIÓN DE VARIABLES COMPLETAS.

| TÍTULOS | # ECUACIÓN | AÑO | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN SEGUNDOS | LONGITUD DE ONDA nm | HONGO | FASE DE OSCURIDAD | QUE OTRO MÉTODO EMPLEARON | AUTORES | % DE INHIBICIÓN |
|---|------------|------|--------------------------------|---|------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|---|------------------------|--|---|-------------------------------------|
| <i>Combination of UV-C radiation and chitosan films enriched with essential oils for fungi control in papaya 'Maradol'</i> | R1 | 2018 | Papaya (Maradol) | 2.88 kJ·m ⁻²) aplicado a las 24 h post-inoculación de esporas | 2,88 | 30 | 540 | 254 | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) y <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) | NO | Estrategias de control con biorecubrimiento de quitosán con aceites esenciales para el control de hongos | A. Vázquez-Ovando, H. López-Hilerio, M. Salvador-Figueroa, L. Adriano-Anaya, R. Rosas-Quijano, and D. Gálvez-López, | 35% |
| <i>Dark period following UV-C treatment enhances killing of botrytis cinerea conidia and controls gray mold of strawberries</i> | R1 | 2016 | Fresa petalos, frutas y flores | 12,36 J / m ² | 0,01236 | 30 | 120 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> | SI 4horas | Por 5 dias fase oscura por 4 horas | Janisiewicz, W.J., Takeda, F., Glenn, D.M., Camp, M.J., Jurick, W.M. | 100,00% |
| <i>Inactivation characteristics and modeling of mold spores by uv-c radiation based on irradiation dose</i> | R1 | 2015 | Hongo cultivado en Agar | 13.55 kJ·m ⁻² | 13,55 | 15 | 1200 | 254 | <i>Cladosporium cladosporioides</i> | NO | NO | Trivittayasil, V., Nashiro, K., Tanaka, F., Hamanaka, D., Uchino, T. | 62% |
| | | 2015 | Hongo cultivado en Agar | 7.39 kJ·m ⁻² | 7,39 | 15 | 210 | 254 | <i>Penicillium digitatum</i> | NO | NO | Trivittayasil, V., Nashiro, K., Tanaka, F., Hamanaka, D., Uchino, T. | 71% |
| <i>In vitro test of mycelial growth inhibition of 5 fungi pathogenic to strawberries by ultraviolet-C (UV-C) irradiation</i> | R1 | 2012 | Fresa | 12 mW / cm ² | 0,0000432 | 40 | 3600 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> F., <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> , <i>Blaschkea</i> | NO | NO | Kim, S.A., Ahn, S.-Y., Oh, W., Yun, H.K. | 90% |
| <i>Physiological and sanitary quality of castor oil plant seeds due to ultraviolet-C radiation</i> | R2 | 2019 | Semillas de recino | 20,7 kJ m ⁻² | 20,7 | 90 | 900 | 254 | <i>Aspergillus</i> | NO | NO | Marcos Eduardo Viana de Araujo,*, Eloiiny Guimarães Barbosa, Rodrigo Starneck Lopes de Araujo, Itamar Rosa Teixeira, Felipe Alves | 60% |
| <i>Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (Fragaria x ananassa) against Botrytis cinerea</i> | R2 | 2018 | fresa | 1.70 kJ / m ² , | 1,7 | 40 | 208 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> | SI (OSCURIDAD DE 15 H) | NO | M. Forges a bH. Vázquez aF. Charles aD. Chabane Sari cL. Urbana aY. Lizzi aM. Bardin bJ. Aarrouf a | NO REGISTRA |
| <i>Use of low-dose UV-C irradiation to control powdery mildew caused by Podosphaera aphanis on strawberry plants</i> | R2 | 2016 | Planta de fresa | 12.36 J m ⁻² | 0,01236 | 30 | 60 | 254 | <i>Podosphaera aphanis</i> | SI | 4 HORAS | Wojciech J. Janisiewicz, Fumiomi Takeda, Brey N. Nichols, D. Mike Glenn, Wayne M. Jurick II & Mary J. Camp | 88,90% |
| <i>Effects of ethanol and ultraviolet-c treatments on inactivation of Rhizopus oryzae spores which cause postharvest rot</i> | R3 | 2019 | Hongo cultivado en Agar | 0.19 a 1.91 kJ / m ² | 1,91 | 20 | 600 | 254 | <i>Rhizopus oryzae</i> | SI 2 HORAS | Etanol al 30% (Para examinar el efecto combinado de etanol y UVC sobre la relación de supervivencia de las esporas, los tratamientos mencionados anteriormente se aplicaron secuencialmente (primer etanol, seguido de UVC) a las suspensiones de esporas de R. oryzae) | Gülsüm Ebru ÖZER UYAR | Superviven vi de esporas de 0,015%, |

TABLA. XVI. VARIABLES DE DISEÑO EN DOCUMENTOS CON INFORMACIÓN DE RESISTENCIA INDUCIDA EN PLANTAS POR LUZ UV-C

| TÍTULOS | AÑO DE PUBLICACIÓN | Nº DE BUSQUEDA | MATERIAL BIOLÓGICO IRRADIADO | DOSIS DE RADIACIÓN | CONVERSIÓN N KJ/m ² | DISTANCIA DE RADIACIÓN | TIEMPO DE RADIACIÓN SEG | LONGITUD DE ONDA nm | HONGO | FASE DE OSCURIDAD | QUE OTRO MÉTODO EMPLEARON | AUTORES |
|---|--------------------|----------------|--|--|--------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|--|-------------------------------------|--|--|
| <i>Preharvest UV-C radiation influences physiological biochemical and transcriptional changes in strawberry cv. Camarosa</i> | 2016 | R4 | Fresa | 0.5 kJ m ⁻² | N/E | N/E | 120 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> | N/E | N/E | Isadora Rubin de Oliveira a. *, Giseli Rodrigues Crielz b, Joseana Severo c, Catherine M.G.C. Renard d, e. |
| <i>Effect of gamma irradiation, UV-irradiation and hot water treatment on fungal growth and aflatoxin in mango fruits (Mangifera indica L.)</i> | 2014 | R1 | mango | N/E | N/E | N/E | 1800 | 279 | <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus flavus</i> y | NO | Agua caliente + rayos gamma | Chatha, Z.A., Ahmad, A., Zahoor, T., Raza, A., Kaleem, M. |
| <i>Pre-harvest hormetic doses of UV-C radiation can decrease susceptibility of lettuce leaves (Lactuca sativa L.) to Botrytis cinerea L.</i> | 2017 | R2 | lechuga (Lactuca sativa L.) | 0.85 kJ m ⁻² y 1.70 kJ m ⁻² | 1,7 | 30 | 120 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> L. | NO | Resistencia inducida en las plantas | Hilarion Vásquez, Chayma Ouhibia, b, Yves Lizzia, Nasser Azzouza, Marine Forgesa, c, Marc Bardinc, Philippe Nicot. |
| <i>Effects of nitrogen supply and of UV-C irradiation on the susceptibility of Lactuca sativa L to Botrytis cinerea and Sclerotinia minor</i> | 2015 | R2 | Lechuga Lactuca sativa | 0.85 kJ. m ⁻² | 0,85 | 10 | 53 | 254 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Sclerotinia minor</i> | NO | N/E | Chayma Ouhibi & Houneida Attia & Philippe Nicot & François Leconte & Véronique Vidal & Mokhtar |
| <i>Biochemical responses to ultraviolet-C radiation and methyl jasmonate in Pinus radiata seedlings that accompany induced resistance to Diplodia pinea</i> | 2013 | R2 | Plantulas de h 15-20 cm de Pinus radiata | 1.2 kJ m ⁻² | N/E | N/E | 3600 | 254 | <i>hongo Sphaeropsis sapinea</i> | 60 min, 1 semana | N/E | Reglinski, T., Taylor, J.T., Ah Chee, A., Northcott, G., Spiers, M. |
| <i>Influence of ultraviolet-C radiation on some growth parameters of mycorrhizal wheat plants</i> | 2007 | R2 | Triticum aestivum L (trigo) día 28 de | 40 w m ⁻² . | 0,036 | 50 | 900 | 254 | <i>Glomus etunicatum</i> <i>Glomus intraradices</i> | cada 7 h (28 días, 15 min cada día) | N/E | Samaneh Rahmatzadeh y Jalil Khara |
| <i>Preharvest UV-C treatment improves the quality of spinach primary production and postharvest storage</i> | 2019 | R4 | Espinaca | 1.5 kJ m ⁻² y 3 kJ m ⁻² se aplicaron | N/E | N/E | N/E | N/E | <i>Mohos y levaduras (no identifican el)</i> | N/E | N/E | Martínez-Sánchez, A., Lozano-Pastor, P., Artés-Hernández, F., Artés, F., Aguayo, E. |
| <i>UV-C light and pulsed light as alternatives to chemical and biological elicitors for stimulating plant natural defenses against fungal diseases</i> | 2018 | R4 | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | N/E | Urban, L., Chabane Sari, D., Orsal, B., (...), Miranda, R., Aarouf, J. |
| <i>Disease resistance and growth responses in Pelargonium hortorum plants to brief pulses of UV-C irradiation</i> | 2015 | R2 | Pelargonium x hortorum (flores-geranios) | 2.5 kJ m ⁻² | 2,5 | 30 | N/E | 253,7 | <i>Botrytis cinerea</i> | NO | Las plantas recibieron ocho tratamientos UV-C en total (uno cada semana) | Anastasios I. Darras*, Ioanna Bali, Evangelia ArgyropoulouFloriculture |
| <i>The expression of a grapefruit gene encoding an isoflavone reductase-like protein is induced in response to UV irradiation</i> | 1998 | R3 | Toronja | 3.2 kJ / m ² | 3,2 | 10 | N/E | 254 | <i>Penicillium digitatum</i> | SI | 24 h | Amnon Lers1, Shaul Burd1, Ella Lomaniec, Samir Droby and Edo Chalutz |
| <i>UV-C irradiation induces defence responses and improves vase-life of cut gerbera flowers</i> | 2012 | R4 | Gerbera | 10.0 kJ m ⁻² ara activar mecanismo | 10 | 30 | N/E | 253,7 | <i>Botrytis cinerea</i> | N/E | N/E | Darras, A.I., Demopoulos, V., Tiniakou, C. |

Nota: N/E: Información no encontrada

7.5.3. Análisis de medidas de tendencia central de las variables de diseño

Para el análisis de medida de tendencia central (moda, media y mediana) se organizaron los datos de menor a mayor, se calculó la moda, media y se sacó la frecuencia de incidencia por cada dato, es de recalcar que estos valores son estimaciones; la mediana no se calculó puesto que no es un dato significativo que se pueda aplicar dentro de las variables de diseño ya que la mediana lo que me representa es una posición central dentro un conjunto de datos ordenados. Los datos empleados se tomaron de los 24 documentos encontrados, donde se analizó cada variable de manera independiente; es de aclarar que el análisis no se hizo con las tres variables juntas (tiempo, distancia y dosis) puesto que no todos los 24 artículos brindaba información para las tres variables, de esos 25 artículos sólo 8 se encontraron las tres variables de diseño, donde los datos no presentaron algún tipo de frecuencia, salvo para la distancia que fue de 30 cm como se había mencionado anteriormente.

7.5.3.1 Dosis de radiación

Hay que recordar que las dosis de radiación difieren en gran parte del tipo de material biológico a irradiar, y de esto depende la cantidad de energía suministrada al hongo fitopatógeno; se identificaron las dosis más frecuentes, mínimas y máximas para la operación de un equipo germicida, primero se organizaron los datos de menor a mayor con un total de 22 datos, luego se identificó la frecuencia las dosis de radiación más empleadas para los 22 datos (ver Tabla XV). Vale aclarar que en la ecuación R1 hay un documento con dos experimentos diferentes por eso aumenta el número de datos.

TABLA. XVII. FRECUENCIA DE DOSIS DE RADIACIÓN

| DOSIS kJm² | frecuencia | Hongo irradiado | Material vegetal |
|------------------------------|-------------------|--|-----------------------------------|
| 0,15x10 ⁻⁸ | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Monilinia fructigena</i> | Fresa (fruta) |
| 0,432x10 ⁻⁷ | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> F, <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> , (<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>Fragaria</i> y <i>Sclerotium sclerotium</i> | Fresa (fruta) |
| 0,01236 | 2 | <i>Botrytis cinerea</i> & <i>Podosphaera aphanis</i> | Pétalos, frutas y flores de fresa |
| 0,036 | 1 | <i>Glomus etunicatum</i> | Trigo |

| | | | |
|-------|---|--|---|
| 0,2 | 1 | <i>Blumeria graminis</i> | |
| 0,5 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> | Fresa |
| 0,8 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> | Bayas y uvas |
| 0,85 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Sclerotinia minor</i> | Lechuga Lactuca sativa |
| 1,5 | 1 | <i>Mohos y levaduras</i> | Espinaca |
| 1,7 | 2 | <i>Botrytis cinerea</i> | Fresa y lechuga |
| 1,91 | 1 | <i>Rhizopus oryzae</i> | Hongo cultivado en Agar |
| 2,5 | 2 | <i>Botryosphaeria dothidea</i> , <i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> y <i>Botrytis cinerea</i> | Mango y flores de Geranios |
| 2,88 | 1 | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) y <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) | Papaya (Maradol) |
| 3,2 | 1 | <i>Penicillium digitatum</i> | Toronja |
| 7,39 | 1 | <i>P. digitatum</i> | Hongo cultivado en Agar |
| 10 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> | Gerbera |
| 12 | 1 | hongo <i>Sphaeropsis sapinea</i> | Plantulas de h 15–20 cm de Pinus radiata |
| 13,55 | 1 | <i>Cladosporium cladosporioides</i> | Hongo cultivado en Agar |
| 20,7 | 1 | <i>Aspergillus</i> | Semillas de ricino |

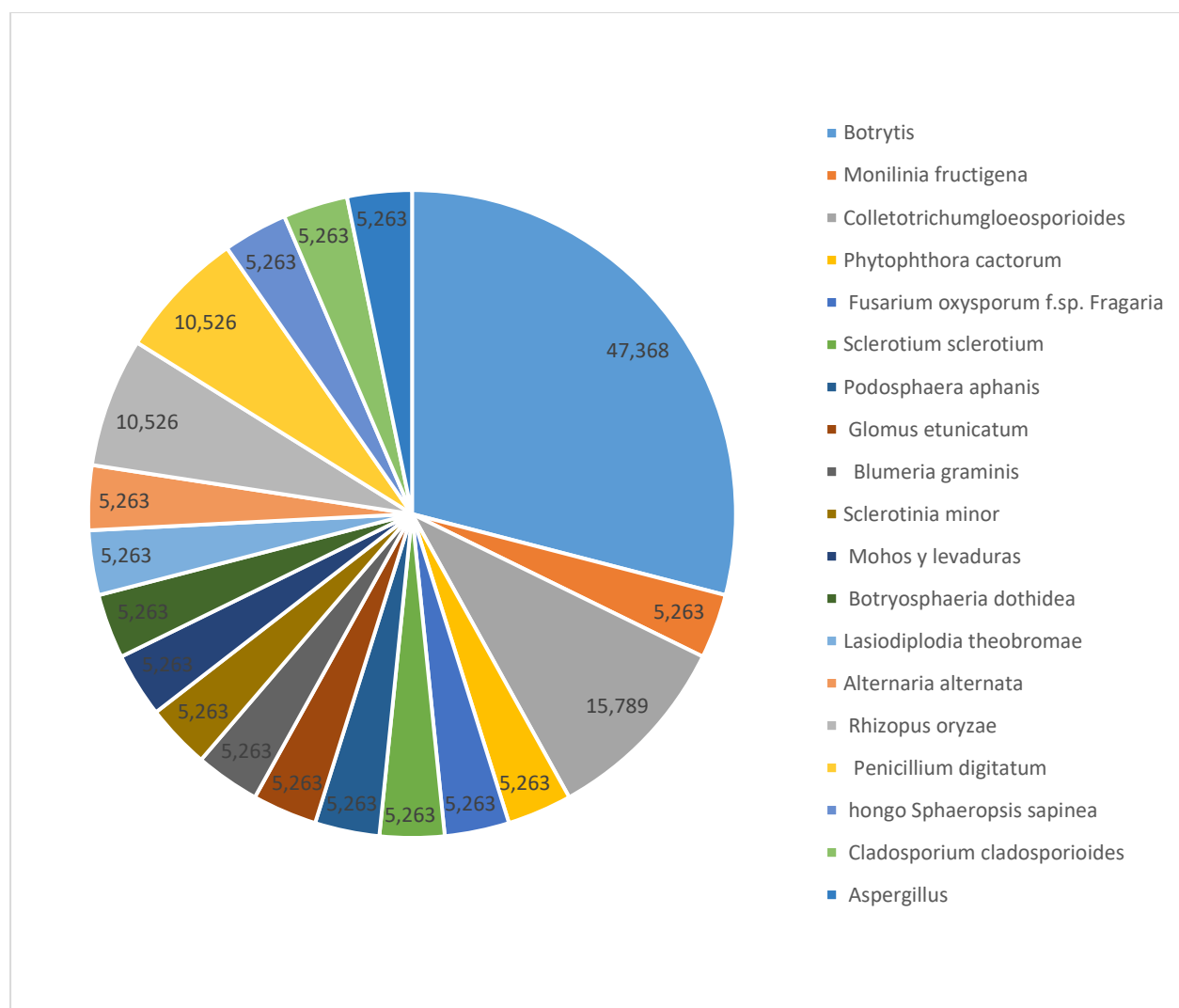
Σ 22

PROMEDIO 3,815 kJ/m²

MODA 0,01236 kJ/m²

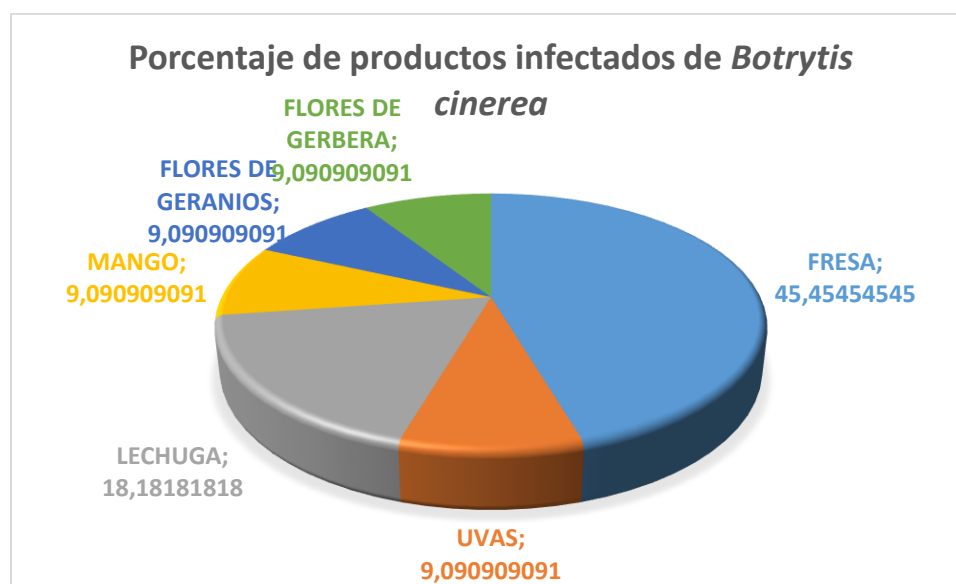
Según los 22 datos recolectados se obtuvo 3 modas siendo multimodal con dosis de 0,01236 kJ/m², 2,5 kJ/m² y 1,7 kJ/m² teniendo en común el mismo hongo *B. cinerea* para productos de fresa, lechuga, mango y flores de geranios. La dosis máxima de irradiación fue de 20,7 kJ/m² para *Aspergillus* en semillas de ricino; siendo un hongos xerofílico que crece en sustratos secos dañando productos que se encuentra almacenados especialmente granos[29]. Como dosis mínima 0,00000015 kJ/m² para *Botrytis cinerea*; pues se revisaron los artículos para saber el motivo del porque las dosis de radiación fue baja y se debió a que realizaron un tratamiento térmico combinado con UV-C de 35 a 48° C, con una tasa de inhibición en el hongo del 100% en frutos

de fresa [54]. Por lo que se puede concluir según la información recolectada de las ecuaciones refinadas de la Tabla XV, que la luz UV-C ha sido frecuentemente empleada para tratar enfermedades producidas por *Botrytis cinerea* dentro de un grupo de los 19 hongos que se recopilaron en la presente investigación con un porcentaje del 47,37 % (ver Gráfica 5.) teniendo mayor presencia en la fresa con un 45% seguida de la lechuga con un 18% , uvas, mango y flores el 9% de incidencia (ver Grafica 6.) No sería raro encontrar a este hongo de primer puesto en esta búsqueda puesto que se encuentra entre los 10 principales patógenos fúngicos de las plantas con mayor relevancia científica y económica que está afectando la seguridad alimentaria y más por su gran número de huésped en donde se presenta [28]. El rango de dosis de radiación se encuentra entre $0,15 \times 10^{-8} \text{ kJ/m}^2$ a 10 kJ/m^2 .



Gráfica. 5. Porcentaje de hongos irradiados con luz UV-C

El promedio se encontró para dosis de radiación de 3.81 kJ/m² por lo que se observó una dispersión de datos, por lo que se determinó la desviación estándar con respecto a la media de $\pm 5,49$ kJ/m² en promedio



Gráfica. 6. Habidad de *Botrytis cinerea* en productos de postcosecha

7.5.3.2 Distancia de radiación

El número de datos recolectados para la media y la moda fueron 17 los cuales se relacionaron con las dosis de radiación, por lo que se puede observar que la moda corresponde a una distancia de 30 cm con un rango de dosis de radiación entre 2,88 a 10 kJ/m² (ver Tabla XVI). Se puede observar algo muy interesante en los datos encontrados que en plantas ornamentales como gerbera y el geranio que crece en temperaturas entre 20 a 25 °C [55] [56] utilizaron las mismas distancias de radiación siendo un posible valor de distancia que se puede fijar en el prototipo. El promedio se encontró cercano a la moda con una distancia de 33, 05 cm.

TABLA. XVIII. FRECUENCIA DE DISTANCIAS DE RADIACIÓN

| Rango de dosis k/Jm ² | Distancia | frecuencias | Hongo irradiado | Material Biológico |
|----------------------------------|-----------|-------------|--|-----------------------------|
| 0,85-3,2 | 10 | 2 | <i>B. cinerea</i> , <i>Sclerotinia minor</i> y <i>P. digitatum</i> | Lechuga- Toronja |
| 13,55-7,39 | 15 | 2 | <i>Cladosporium cladosporioides</i> y <i>P. digitatum</i> | Hongo cultivado en Agar PDA |

| | | | | |
|---------------|--------------|-----------|--|---|
| 1,91 | 20 | 1 | <i>Rhizopus oryzae</i> | Hongo cultivado en Agar PDA |
| 2,88-10 | 30 | 6 | <i>Podospaera aphanis</i> , <i>B. cinerea</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) y <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) | Papaya, fresa, lechuga, flores de geranio y flores gerbera |
| 0,0000432-1,7 | 40 | 2 | <i>Botrytis cinerea</i> <i>F. Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> , (<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>Fragaria</i> y <i>Sclerotium sclerotium</i> | Fresa |
| 2,5 | 46 | 2 | <i>Botryosphaeria dothidea</i> , <i>Lasioidiplodia theobromae</i> , <i>Alternaria alternata</i> y <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Botrytis cinerea</i> - | Mango |
| 0,036 | 50 | 1 | <i>Glomus etunicatum</i> , <i>Glomus intraradices</i> <i>Glomus verucifor,e</i> | Trigo |
| 20,7 | 90 | 1 | <i>Aspergillus</i> | Semillas de recino |
| | Total | 17 | | |

PROMEDIO 33,05 cm

MODA 30 cm

7.5.3.3 Tiempo de exposición

Para el desarrollo de medidas de tendencia central se tomaron de los 25 documentos aquellos que tuviesen por lo menos la dosis y el tiempo, puesto que el tiempo depende en gran medida de las dosis de radiación; de estos 25 datos se obtuvieron 17 que a partir de estos se organizaron de menor a mayor y por formulación en Excel se obtuvo la moda y el promedio (Tabla XVII). Para el caso de la moda es bimodal presentando dos períodos de tiempo de exposición de 120 segundos con rangos de dosis de 0,01236-1,7 kJ/m² para *Botrytis cinerea* y 900 segundos con dosis de radiación de 0,00000015 a 20,7 kJ/m² para hongos: *Botrytis cinerea* y *Monilinia fructigena*, *Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus verucifor* y *Aspergillus*. Los tiempos de exposición que son muy prolongados presentan dosis de radiación relativamente bajos de 0,0000432 kJ/m². El promedio de tiempo de exposición fue 875,4 s estando muy cercano a la moda de 900 s.

TABLA. XIX.FRECUENCIA DE TIEMPOS DE EXPOSICIÓN

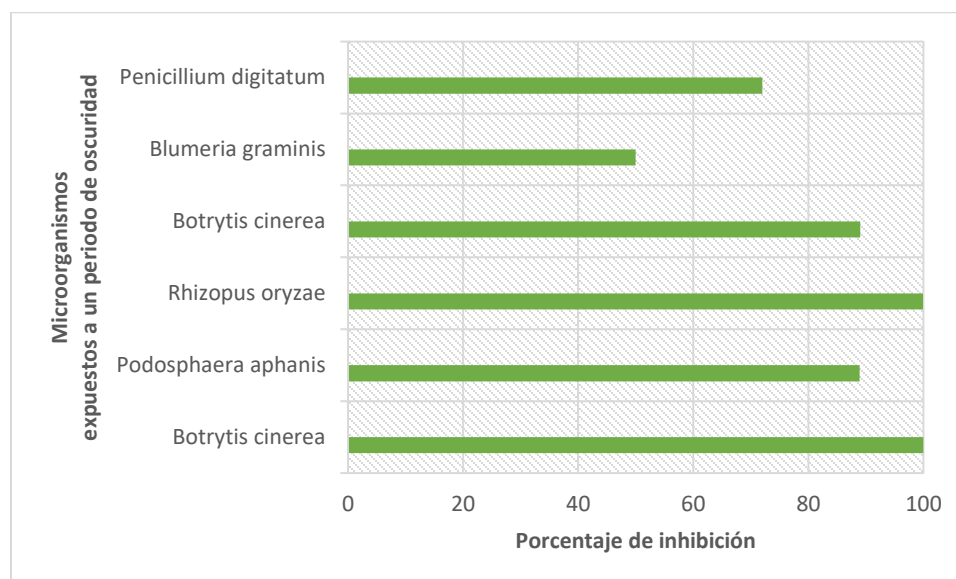
| DOSIS kJ/m ² | Tiempo (s) | frecuencia | Hongo irradiado |
|----------------------------|--------------|------------|---|
| 0,85 | 53 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Sclerotinia minor</i> |
| 0,01236 | 60 | 1 | <i>Podosphaera aphanis</i> |
| 0,01236-1,7 | 120 | 3 | <i>Botrytis cinerea</i> |
| 1,7 | 208 | 1 | <i>Botrytis cinerea</i> |
| 7,39 | 210 | 1 | <i>Penicillium digitatum</i> |
| 2,88 | 540 | 1 | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) y <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) |
| 1,91 | 600 | 1 | <i>Rhizopus oryzae</i> |
| 0,00000015- 20,7 | 900 | 3 | <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Monilinia fructigena</i> , <i>Glomus etunicatum</i> , <i>Glomus intraradices</i> , <i>Glomus verucifor</i> y <i>Aspergillus</i> |
| 13,55 | 1200 | 1 | <i>Cladosporium cladosporioides</i> |
| 0,0000432 | 3600 | 2 | <i>Botrytis cinerea</i> F, <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> , (<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>Fragaria</i> , <i>Sphaeropsis sapinea</i> y <i>Sclerotium sclerotium</i> |
| | Total | 15 | |

PROMEDIO 875,4 s

MODA 120 s 900 s

7.5.3.4 Porcentaje de fase de oscuridad:

El tratamiento de luz UV-C puede ser más eficaz como una alternativa a los fungicidas para el control de enfermedades postcosecha si se emplea un periodo inducido de oscuridad, impidiendo mediante esta técnica la activación de mecanismos de reparación en el ADN proceso llamado fotorreactivación[30]. Para este estudio se contó con de 5 organismos diferentes donde los porcentajes de inhibición se encuentran en valores del 100%. Las fases de oscuridad encontradas están alrededor de 2 a 4 horas durante una semana, acompañada de pulsos de radiación en rangos del 0,0123 a 3.2 kJ para los hongos que se muestra en la gráfica 5. Con tiempos de exposición entre 60 a 600 segundos de radiación [45][52][53][57].



Gráfica. 7. Porcentaje de inhibición de esporas irradiadas con UV-C después de un periodo de oscuridad. Fuente: Autora

7.6 Consideraciones a tener en cuenta para el funcionamiento de un aparato germicida

- Para la puesta en marcha de un prototipo germicida es de tener en cuenta que no se puede utilizar la misma intensidad, distancia y tiempo de exposición para todos los productos de postcosecha, ya que esto va variar según la morfología del producto y del tipo de hongo a irradiar, estos factores inciden en los fotones de luz absorbida por el microorganismo.
- La oscuridad es un factor importante después de la radiación puesto que suprimen las actividades de reparación de daños por UV-C de los patógenos fúngicos que influye a que no haya una foto-reactivación; los periodos de oscuridad manejados oscilan entre 4 a 15 horas [42], [57], [48], [49], [54].
- Hay que tener cuidado con las dosis de radiación ya que puede generar daños en los productos de postcosecha causando fototoxicidad, generando una reacción por el aumento excesivo de energía irradiada provocando daños como quemaduras en los tejidos vegetales o lesiones necróticas, pérdida de turgencia y aceleración del proceso de senescencia; el punto crucial es establecer una dosis que no sea perjudicial para la planta y que inhiba la presencia de microorganismo [19][58].

- Se recomienda que las lámparas tengan alguna protección o apantallamientos laterales que impida que la radiación se disperse fuera del objeto irradiado, generando condiciones inseguras de riesgo radioactivo para los operarios, recordar también hacer el uso de elementos de protección personal
- Tratamientos UV-C combinados con otros métodos de desinfección tienen mayores resultados de inhibición para hongos fitopatógenos; como el uso de biorecubrimientos de quitosano mezclado con aceites esenciales como el tomillo y el clavo antes de la radiación[47]. También el uso irradiación UV-C combinado de etanol al 30% representaron resultados significativos en la supervivencia del número de esporas del 0,015% para *Rhizopus oryzae* [53].
- Se observó que para *Cladosporium* las distancias empleadas era 15 cm con una considerable dosis de radiación como se muestra en la Tabla V de 13,55 kJ/m², y un tiempo de exposición de 20 min irradiado sobre Agar PDA [58] dando a entender que es un hongo muy resistente a la luz UV-C (ver Anexo del documento).

VIII. CONCLUSIONES

- Se logró sistematizar la información recolectada en la base de datos de *Scopus*, mediante la organización de tablas de Excel; para depurar la información que no correspondía al tema de investigación y quitar documentos que se encontraban duplicados de búsqueda anteriores, permitiendo realizar un seguimiento de datos por número de ecuación de búsqueda formulada, título del documento, *abstract*, año de publicación, y tipo de documento.
- Se realizó la estructuración de ecuaciones de búsqueda, mediante un uso ordenado y secuencial de los operadores booleanos y operadores de truncamiento, logrando obtener ecuaciones de búsqueda más refinadas; esto permitió conectar las palabras claves de búsqueda y excluir términos que no presentaban ninguna relación al tema estudiado, para que la información que se encontrara fuera acorde.
- Se seleccionaron los datos de las variables de operación de un equipo germicida que fueran más frecuentes, mediante la revisión de los documentos que fueron seleccionados de las ecuaciones de búsqueda refinadas; esta información se tabuló y se organizó en tablas en Excel, que permitieron obtener medidas de tendencia central que identificasen los datos más representativos.
- Gracias al desarrollo de la metodología se realizó un análisis de las variables de estudio que permitió formular ecuaciones y establecer criterios de selección de la información recopilada. Haciendo un manejo de la información por medio de las medidas de tendencia central que permitiera identificar las dosis, distancias y tiempos de exposición más frecuentes.

IX. RECOMENDACIONES

- Para sistematizar la información recolectada es importante que la información se encuentre registrada en tablas de Excel, ya que presentará mayor organización, permitiendo hacer seguimiento de los resultados obtenidos de las ecuaciones de búsqueda empleadas, también permite tener un control de la información que se haya descargado; para esto es importante asígnale un código de búsqueda que se pueda rastrear en el ordenador de cada equipo. Aparte brinda la oportunidad de graficar la información y tener una historial de búsqueda que podrá ser consultado en cualquier momento cuando requiera referenciar y aplicar alguna búsqueda para algún tema de investigación.
- Para estructurar ecuaciones de búsqueda es importante ser muy coherente a la hora de colocar las palabras claves en la base de búsqueda de Scopus, realizando una selección de palabras específicas acordes al tema investigado, para luego ser combinadas con los operadores booleanos y operadores de truncamiento; es importante saberlos emplear bien y entender el significado que ofrece el operador y para así obtener una búsqueda más lógica.
- Es importante que por cada variable de diseño se maneje un sólo sistema de unidades, para que se pueda graficar y interpretar de manera uniforme, se debe tener claro la relación matemática que presentan entre si cada variable; y así comprender la información que se está buscando en los artículos de consulta que en su mayoría son mencionados en los materiales y métodos, lográndose obtener la información a partir de ese ítem; información que puede tabularse en Excel para su posterior análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Juárez Becerra, M. Sosa, and A. Lopez, “Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control,” *Temas Sel. Ing. Aliment.*, vol. 4, pp. 14–23, 2010.
- [2] C. Garcia, *Introducción a la microbiología segunda Edición*, EUNED. Costa Rica, 2004.
- [3] J. Filgueria, *Experiencias en mejoramiento del clavel (Dianthus caryophyllus)*, 1ª Ed. Bogotá Colombia: Universidad Militar Nueva Granada, 2011.
- [4] Revista Dinero, “Estrategia de los floricultores de Colombia para 2018,” 2019.
- [5] A. González, *Intercambio de información en las cadenas de suministro internacionales: el caso de la cadena de suministro de flor fresca cortada colombiana para la exportación*, no. 1680–869X. Santiago de Chile: Naciones Unidas (CEPAL), 2013.
- [6] L. Cedeño and C. Carrero, “Cladosporium echinulatum, CAUSANTE DE MANCHAS EN HOJAS Y FLORES DEL CLAVEL EN MÉRIDA, VENEZUELA,” *Rev. For. Venez.*, vol. 41, pp. 91–92, 1997.
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “Se adopta un nuevo Código de conducta sobre pesticidas,” *FAO sala de prensa*, 2002. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2002/10525-es.html>.
- [8] Organización Mundial de la Salud (OMS), *Consecuencias sanitarias del empleo de plaguicidas en la agricultura*, no. 9243561391. 2014.
- [9] M. Ayala, J. Merchan, and C. Serrano, “Efecto de Pyraclostrobin+Epoxiconazole en la producción de fresa (Fragaria sp.),” *Cienc. y Agric.*, pp. 35–45, 2014.
- [10] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Manejo seguro de plaguicidas en el tomate.” <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s06.pdf>.
- [11] University of York, *CRD’s Guidance for undertaking reviews in health care*. York: University of York, 2008.
- [12] Curtin University, “Systematic Reviews in the Health Sciences,” 2020. <https://libguides.library.curtin.edu.au/systematic-reviews>.
- [13] University Libraries, “Systematic Reviews & Other Review Types,” *Temple University*, 2020. .
- [14] L. Urban, F. Charles, M. R. A. de Miranda, and J. Aarouf, “Understanding the physiological

- effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest,” *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 105, pp. 1–11, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.PLAPHY.2016.04.004.
- [15] H. FROHNMEYER and D. STAIGER, “Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection.,” *Plant Physiol.*, vol. 133, no. 4, pp. 1420–1428, 2003, [Online]. Available: <http://ow.ly/TwjQ30quBkE>.
- [16] L. Urban, D. Chabane Sari, B. Orsal, M. Lopes, R. Miranda, and J. Aarrouf, “UV-C light and pulsed light as alternatives to chemical and biological elicitors for stimulating plant natural defenses against fungal diseases,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 235, pp. 452–459, 2018, doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.057.
- [17] V. Manova, R. Georgieva, B. Borisov, and L. Stoilov, “Efficient removal of cyclobutane pyrimidine dimers in barley: differential contribution of light-dependent and dark DNA repair pathways,” *Physiol. Plant*, vol. 158, pp. 236–253, 2016.
- [18] H.-P. Sonntag, C. von and Schuchmann, “UV disinfection of drinking water and byproduct formation-some basic considerations,” *J Water SRT-Aqua*, vol. 41, pp. 67–74, 1992.
- [19] Y. H. W. Sugeno, Y. Iwasaki, “Irradiation with UV-B fluorescent bulbs suppresses strawberry powdery mildew.,” *Int. Soc. Hortic. Sci.*, pp. 549–554, 2017.
- [20] CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, “Patrón Nacional de Dosis de Radiación Ultravioleta,” 2017. <http://www.cenam.mx/publicaciones/descargas/PDFFiles/CNM-PNF-17.PDF>.
- [21] S. Garcia and D. Cerón, “Controlador de la dosis de radiación UV para la desinfección microbiana en los sistemas de potabilización de agua,” Cali, Colombia, 2019. [Online]. Available: <http://ow.ly/e0qw30qGTRI>.
- [22] M. A. Valencia, L. F. Patiño, J. A. Herrera-Ramírez, D. A. Castañeda, J. A. Gómez, and J. C. Quijano, “Using UV-C radiation and image analysis for fungus control in tomato plants,” *Opt. Pura y Apl.*, vol. 50, no. 4, pp. 369–378, 2017, doi: 10.7149/OPA.50.4.49073.
- [23] S. Rodrigo, “Conservación de alimentos por irradiación,” *Invenio*, vol. 4, no. 0329–3475, pp. 85–124, 2001, [Online]. Available: <http://ow.ly/cATv30qGSTI>.
- [24] M. Rodriguez, “Ley inversa del cuadrado de la distancia.” <http://ow.ly/zx5330qGSVE>.
- [25] C. Aleuxopoulus and C. Mims, *Introducción a la Micología*, Omega. 1985.
- [26] B. WILLIAMSON, B. KAN, and J. A. VAN TUDZYNSKI, PAUL TUDZYNSKI, “Botrytis cinerea : la causa de la enfermedad del moho gris,” *Mol. PLANT Pathol.*, vol. 8, pp. 561–

- 580, 2007.
- [27] A. Julie and A. del J. Pilar, “Elaboración de atlas para la descripción de hongos fitopatógenos de interés en especies de flores de corte cultivadas en la sabana de Bogotá,” .Trabajo de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de ciencias, 2008.
- [28] D. RALPH *et al.*, “The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology,” *Mol. PLANT Pathol.*, vol. 13, pp. 414–430, 2012, doi: 10.1111/J.1364-3703.2011.00783.X.
- [29] M. Cepero, S. Restrepo, A. Fraco, M. Cárdenas, and N. Vargas, *Biología de hongos*, Uniandes. Bogotá: Facultad de Ciencias, 2012.
- [30] M. Zhu, M. Riederer, and U. Hildebrandt, “UV-C irradiation compromises conidial germination, formation of appressoria, and induces transcription of three putative photolyase genes in the barley powdery mildew fungus, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*,” *Fungal Biol.*, vol. 123, no. 3, pp. 218–230, 2019, doi: 10.1016/j.funbio.2018.12.002.
- [31] I. Pérez and K. Sánchez, “Aspectos fisiológicos del género *Cladosporium* desde la perspectiva de sus atributos patogénicos, fitopatógenicos y biodeteriorantes,” *Rev. Cuba. ciencias biológicas*, vol. 7, pp. 1–10, 2019.
- [32] F. . Segers, K. Laarhoven, H. Wösten, and J. Dijksterhuis, “Growth of indoor fungi on gypsum,” *J. Appl. Microbiol.*, vol. 123, pp. 429–435, 2017.
- [33] E. Torres, J. Lannacone, and H. Gomez, “Biocontrol del Moho Foliar del tomate *cladosporium fulvum* empleando cuatro hongos antagonistas,” *Bragantia*, vol. 67, no. 0006–8705, 2008.
- [34] B. Peteira, A. Bernal, B. Martinez, and I. Miranda, “Caracterización Molecular de aislamiento de *Cladosporium fulvum* cooke provenientes del tomate en condiciones de cultivo protegido,” *Rev. protección Veg. Univ. Cent. Matha Abreu*, vol. 26, pp. 5–15, 2011.
- [35] E. J. Butler and S. . Jones, “Tomato leaf mould, *Cladosporium fulvum* Cooke. Macmillan,” p. 123, 1949.
- [36] M. Ahmad, W. Rafiq, S. Sheikh, S. Sahay, and D. M. Suliman, “Antagonistic potenciality of *Trichoderma harzianum* against *Cladosporium sphaerospermum*, *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum*,” *J. Biol. Agric. Heal.*, vol. 8, pp. 72–76, 2012.
- [37] K. Schubert, J. Groenewald, U. Braun, and J. Dijksterhuis, “Biodiversity in the *Cladosporium herbarum* complex (Davidiellaceae, Capnodiales), with standardisation of methods for *Cladosporium* taxonomy and diagnostics,” *Stud. Mycol.*, vol. 58, pp. 105–156,

- 2007.
- [38] S. Kryczyński and Z. Weber, *Fitopatologia. Tome 2. Choroby roślin uprawnych. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Oddział, cop. Poznań, Polska, Leśne. Odd.* 2011.
- [39] K. Bensch, J. Groenewald, J. Dijksterhuis, and M. Starink, “Species and ecological diversity within the complex (Davidiellaceae, Capnodiales),” *Stud. Mycol*, vol. 67, pp. 1–94, 2010.
- [40] P. Crous, U. Braun, K. Schubert, and J. Groenewald, “Delimiting *Cladosporium* from morphologically similar genera,” *Stud. Mycol*, vol. 58, pp. 33–56, 2007.
- [41] M. E. V. de Araujo, E. G. Barbosa, R. S. L. de Araújo, I. R. Teixeira, F. A. Gomes, and P. C. Corrêa, “Physiological and sanitary quality of castor oil plant seeds due to ultraviolet-C radiation,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 137, pp. 9–15, 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.05.014.
- [42] S. D. Naheed Ikram, “Efficacy of Wild Plant Parts in Combination with UV Irradiation in the Control of Root Rot Fungi,” *Walailak J. Sci. Technol. (WJST)*., vol. 14, no. 3, pp. 225–234, 2017.
- [43] N. Atalia, N. Hassanein, A. El-Beih, and A. Youssef, “Effect of fluorescent and UV light on mycotoxin production under different relative humidities in wheat grains.,” *Acta Pharm. Sci.*, vol. 46, no. 1307–2080, 2004.
- [44] F. Nigro, A. Ippolito, V. Lattanzio, D. Di Venere, and M. Salerno, “Effect of ultraviolet-c light on postharvest decay of strawberry f.,” *J. Plant Pathol.*, vol. 82, no. 2, pp. 29–37, 2000.
- [45] W. J. Janisiewicz, F. Takeda, D. M. Glenn, M. J. Camp, and W. M. Jurick, “Dark period following UV-C treatment enhances killing of *botrytis cinerea* conidia and controls gray mold of strawberries,” *Phytopathology*, vol. 106, no. 4, pp. 386–394, 2016, doi: 10.1094/PHYTO-09-15-0240-R.
- [46] V. Trivittayasil, K. Nashiro, F. Tanaka, D. Hamanaka, and T. Uchino, “Inactivation characteristics and modeling of mold spores by uv-c radiation based on irradiation dose,” *Food Sci. Technol. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 365–370, 2015, doi: 10.3136/fstr.21.365.
- [47] A. Vázquez-Ovando, H. López-Hilerio, M. Salvador-Figueroa, L. Adriano-Anaya, R. Rosas-Quijano, and D. Gálvez-López, “Combination of UV-C radiation and chitosan films enriched with essential oils for fungi control in papaya ‘Maradol’ | *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 40, no. 3, 2018, doi: 10.1590/0100-29452018688.
- [48] W. Zhang and W. Jiang, “UV treatment improved the quality of postharvest fruits and

- vegetables by inducing resistance,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 92, pp. 71–80, 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.08.012.
- [49] Z. Yang, S. Cao, X. Su, and Y. Jiang, “Respiratory activity and mitochondrial membrane associated with fruit senescence in postharvest peaches in response to UV-C treatment,” *Food Chem.*, vol. 161, pp. 16–21, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2014.03.120.
- [50] B. Moreno, M. Muñoz, J. Cuellar, S. Domancic, and J. Villanueva, “Revisión Sistemática: definición y nociones básicas,” *Rev. clínica periodoncia, Implantol. y Rehabil. oral*, vol. 11, no. 0719–0107, 2018.
- [51] A. Migani, “Las métricas de investigación y su uso responsable,” 2019, [Online]. Available: https://www.recursoscientificos.fecyt.es/sites/default/files/las_mtricas_de_investigacion_25032019.pdf.
- [52] W. J. Janisiewicz, F. Takeda, B. Nichols, D. M. Glenn, W. M. Jurick, and M. J. Camp, “Use of low-dose UV-C irradiation to control powdery mildew caused by *Podosphaera aphanis* on strawberry plants,” *Can. J. Plant Pathol.*, vol. 38, no. 4, pp. 430–439, 2016, doi: 10.1080/07060661.2016.1263807.
- [53] G. E. Özer Uyar and B. Uyar, “Effects of ethanol and ultraviolet-c treatments on inactivation of *Rhizopus oryzae* spores which cause postharvest rot,” *Food Sci. Technol.*, vol. 39, no. 3, pp. 691–695, 2019, doi: 10.1590/fst.04618.
- [54] D. Marquenie *et al.*, “Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment,” *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 74, no. 1–2, pp. 27–35, 2002, doi: 10.1016/S0168-1605(01)00719-X.
- [55] M. Soroa, “Revisión bibliográfica *Gerbera jamesonii* L. Bolus,” *Cultiv. Trop.*, vol. 26, pp. 65–75, 2005.
- [56] F. I Cardona, “Geranio, la más popular de nuestras plantas ornamentales. Horticultura,” *Rev. Ind. Distrib. y Socioecon. hortícola frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, vol. 7, pp. 5–11, 1983.
- [57] P. Zhu *et al.*, “Fungal gene mutation analysis elucidating photoselective enhancement of UV-C disinfection efficiency toward spoilage agents on fruit surface,” *Front. Microbiol.*, vol. 9, no. JUN, 2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.01141.
- [58] T. Vipavee, N. Kohei, T. Fumihiko, and U. Daisuke, Hamanaka Toshitaka, “Inactivation Characteristics and Modeling of Mold Spores by UV-C Radiation Based on Irradiation

- Dose,” *Japanese Soc. Food Sci. Technol.*, vol. 3, 2015.
- [59] L. Casadesús, M. Esquivel, L. Hinojosa, and J. Marti, “Agente causal de las afectaciones que se presentan en los cobertores de tabaco,” *Rev. Biol. Univ. la Habana*, vol. 16, pp. 175–177, 2000.
- [60] L. SMITH and B. Coba de Gutierrez, “Hongos fitopatógenos encontrados en hojas, flores y frutos de *Mecleania rupestris*,” *Agron. Colomb.*, vol. 8, pp. 257–260, 1991.
- [61] G. Chaquila, R. Balandrán, A. Mendoza, and J. Mercado, “Properties and application possibilities of wheat bran proteins,” vol. 12, no. ISSN 2007-7521, pp. 137–147, 2018, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-137.pdf>.

XI. ANEXOS

10.1 Información preliminar para realizar el aislamiento del hongo *Cladosporium*

En el departamento de Microbiología y virología de la Universidad de la Habana realizaron el aislamiento en agar de malta donde pesaron 1 g de productos Blansize y Nijar de ahí que antes habían observado que estos textiles habían presentado estructuras de reproducción fúngica, estos textiles son utilizados para cobertores de tabaco, donde se realizó una suspensión en 10 ml de agua destilada en un vortex, de esta suspensión se tomó 1 ml y se adiciono a otro tubo de 9 ml de agua destilada estéril homogenizada, de cada una de las suspensiones se tomó una alicota de 0,5 ml para ser inoculadas en placa de petri conteniendo agar de malta la incubación se efectuó a 28° C. Para comprobar la capacidad de los hongos aislados de crecer en un medio de cultivo donde la única fuente de carbono fue el Blansize o el Nijar se utilizó como medio basal sales de Czapek agarizado con concentraciones finales de 1% vertidos en caja de petri la incubación se efectuó a 28°C, y efectivamente en las observaciones se detectaron hifas pigmentadas, similares a las de *cladosporium cladosporioides* [59].

Para el año 1991 L.C SMITH realizó un aislamiento del hongo *Cladosporium* tomando material biológico infectando de arbustos de *Macleania rupestris* localizados en la vía Usme-Páramo de Chisacá, frente al embalse de la Regadera, en el Departamento de Cundinamarca Colombia. Para

este aislamiento se emplearon hojas, flores y frutos que mostraban afecciones; donde se procedió a realizar una desinfección del material biológico de estudio con NaClO al 5%, etanol al 70% luego se hizo un lavado con agua destilada, para lo que se realizaron siembras tomando las muestras desinfectadas de más o menos 0.5 mm de diámetro en cajas de petri con medio Agar papa dextrosa y se incubaron a 26°C, después de ocho días de incubación se tomó una muestra para analizar su morfología en el microscopio, donde observaron lesiones pardas con aspecto seco quebradizo, presentando un micelio blanco y polvoriento causados por fitopatógenos del genero *Cladosporium sp* y *Gleosporium sp* [60].

10.2 Aislamiento e identificación de hongo

10.2.1 materiales

Lugar de estudio: Laboratorio de la Universidad Antonio Nariño sede Circunvalar.

Las pruebas del hongo *Cladosporium* se hicieron en el Laboratorio de ambiental de la universidad Antonio Nariño sede circunvalar.

Material biológico de estudio: Hojas clavel con síntomas de manchas foliares y pudrición.

Preparación de materiales de laboratorio para aislamiento de hongo Para el aislamiento de *Cladosporium* se trabajó con dos tipos de agares; agar papa dextrosa (PDA) y Agar Salvado de Trigo (AST), se realizó el siguiente listado de materiales (ver Tabla XIX)

TABLA. XX.MATERIALES DE LABORATORIO PARA AISLAR EL HONGO *CLADOSPORIUM*

| ITEM | REACTIVOS | EQUIPOS | UNID |
|------|-----------------------------|--|------|
| 1 | AGAR AGAR | TUBO DE ENSAYO CON 10 ML DE AGUA DESTILADA | 3 |
| 2 | AGAR PDA | MICROPIPETAS DE 1000 MICROLITROS | 1 |
| 3 | SOLUCIÓN SALINA | GRADILLA | 1 |
| 4 | NITRATO DE POTACIO | FRASCOS SCHOLT DE 200 ML | 2 |
| 5 | FOSFATO | FRASCOS AMBAR DE 100 ML | 4 |
| 6 | SULFATO DE MAGNECIO | VIDRIO RELOJ | 1 |
| 7 | CLORURO DE POTACIO | PROBETA DE 100 ML | 1 |
| 8 | MICRONUTRIENTES | CAJAS PETRI | 12 |
| 9 | SALVADO DE TRIGO 1.8 GRAMOS | CAJA DE PUNTAS PARA MICROPIPETA | 1 |
| 10 | AZUL DE METILENO | AZA REDONDA | 1 |
| | | AZA DE VIDRIO | 1 |
| | | VORTEX | 1 |

Autoría propia

Procedimiento:

Se esterilizó el materia en autoclave durante 45 min, que se enlista en la Tabla XIX, donde se trabajó con un volumen final de 200 ml para cada Agar de (AST) y (PDA); Para preparar el medio AST se mantuvo una relación de 1.5 g para 200 ml, combase a la concentración química del Agar mediante regla de tres; la cantidad de agar tomada fue diluida en 100 ml ya que para preparar este agar se toma la mitad del volumen final (200 ml) para que se disocie con el agar y la otra mitad para preparar el medio mínimo de sales (MMS). mientras que para el agar PDA se mantuvo una relación de 7.81 g para preparar 200 ml mezclados con agua destilada con base a la concentración comercial del producto; es de aclarar que este medio no se le adiciona MMS, puesto que el PDA contiene todo este conjunto de sales que se explicaran más adelante. Ya esterilizado el material se procedió a desinfectar todo el material nuevamente en camina de flujo laminar de lámpara de UV-C para luego se realizó el siguiente procedimiento:

Preparación de Agar salvado de trigo

Para la preparación de AST se mantuvo una relación de 1% p/v de salvado de trigo un sustrato vitamínico con un alto contenido de hemicelulosa del 20.8 al 33 % de lignina del 2.2 al 9% y celulosa del 6.5 al 9.9 % [61] que servirá como fuente de carbono para *Cladosporium*, se mezcló junto el agar- agar sumando un volumen de 100 ml; el volumen restante (100 ml) se utilizó para

la preparación del MMS diluido en 100 ml de aguas destilada como se muestra en la Tabla XIX , del cual se le adiciono los micro y macro nutrientes en las siguientes proporciones:

TABLA. XXI. COMPOSICIÓN QUIMICA DE LOS MICRO Y MARCO NUTRIENTE

| SALES | CANTIDADES g/l | SALES | CANTIDADES mg/250L |
|---------------------|----------------|------------|--------------------|
| Nitrato de amonio | 2 ml | MnSO4 H2O | 1 |
| Fosfato | 2 ml | MH4*MOO7 | 1 |
| Sulfato de magnesio | 1 ml | ZNSO4*7H2O | 7 |
| Cloruro de potasio | 1 ml | CUSO4 | 1 |

Fuente: Semillero de Bioprocesos de la Universidad Antonio Nariño

Ya habiéndose mezclado el salvado de trigo con el Agar-agar más los micro y macro nutrientes se sirven en cajas petri adicionando un volumen de 30 ml en cada una de las cajas.

10.2.2 Métodos de aislamiento de hongo fitopatógeno a partir de matriz biológica infectada

Se emplearon tres métodos para poder aislar el hongo de los cuales se mencionan a continuación:

Desinfección de la muestra

Se tomó 1 g de la muestra infectada (hojas de clavel) donado por la empresa Flexpor el cual se desinfectó con 100 ml de solución salina y 0.5% de hipoclorito durante 3 min, pasado este tiempo se realizaron tres lavados con agua destilada.

10.2.2.1 Método por diluciones en serie

A partir de la muestra desinfectada (1 g) Fig. 16 se llevó a un tubo de ensayo de 9 ml de con solución salina, a este primer tubo se le llamo muestra stock, esta muestra es mezclada en un vortex, para luego tomar con una micropipeta una muestra de 100 μ l y llevarla al tubo de ensayo No. 2 con un volumen de 9.9 ml (10^{-3}) este tubo es sometido por agitación en vortex y nuevamente del tubo No. 2 se tomó una muestra de 100 μ l para ser llevada al tubo No.3 con un volumen de 9.9 ml (10^{-5}) y pasado por agitación nuevamente, a partir de la muestra No 3 se tomó un volumen de 100 μ l y se coloca sobre la superficie de dos cajas de Agar ASTy dos cajas de Agar PDA realizándose una siembra por extensión, las cajas sembradas son llevadas a incubación a una temperatura de 25°C por 1 semana.



Fig. 16. A). Hojas de clavel con presencia de mancha foliar B). Muestra de material infectado en tubo de ensayo. Tomado de: Laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño

10.2.2.2 Método siembra en estría a partir de la muestra STOCK

Esta siembra se hizo por medio de un asa redonda, tomándose una pequeña muestra de la solución Stock, en dos cajas de agar PDA y una caja de agar AST, llevadas por un periodo de incubación de una semana a 25° C.

10.2.2.3 Método de microcultivo

Este método consistió en realizar un triángulo con palos de pincho dentro del perímetro de la caja petri, donde se colocó por cada extremo algodón con 1 ml de glicerol + 1 ml de agua destilada, esto con el propósito de garantizar un ambiente con buenas condiciones de humedad, posterior a este montaje se coloca en el medio una lámina de vidrio y sobre la misma lámina se colocó un pequeño recorte rectangular de 1 cm² cuadrado de agar AST, de la muestra stock que se había preparado se tomándose una pequeña muestra con la ayuda de un asa redonda y por cada extremo del rectángulo se hizo una punción en cada lado del cuadrado, para este método se emplearon dos cajas petri con microcultivo de Agar AST, las cajas sembradas son llevadas a incubar a una temperatura de 25°C por una semana.

10.2.2.4 Tinción de azul de metileno

Finalmente se hizo una tinción con azul de metileno sobre lámina portaobjetos para observar la morfología del hongo, para esta tinción se tomó una muestra con cinta adhesiva directamente sobre las hojas infectadas del hongo fitopatológico; por separado se adicionó una gota de azul de metileno sobre el portaobjetos y encima de la gota se colocó la cinta adhesiva, para luego observar en los objetivos 10X y 40 X. donde se detectaron hifas septadas pigmentadas similares a las de *Cladosporium* (Fig. 17)

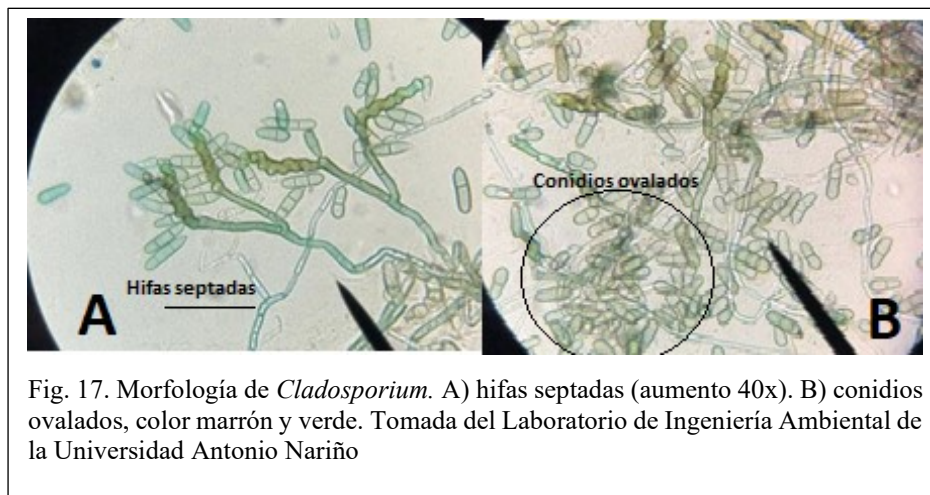


Fig. 17. Morfología de *Cladosporium*. A) hifas septadas (aumento 40x). B) conidios ovalados, color marrón y verde. Tomada del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño

Luego de cuatro semanas no se ha logrado aislar el hongo, se evidenció que no crece en Agar AST, mientras que en el Agar PDA creció en una caja petri, sembrando por la técnica de punción directa, colocando sobre el agar una muestra de la matriz infectada, donde se observó crecimientos radiales color verde a marrón oscuro, siendo muy similar a las coloraciones que presenta las hojas de clavel infectadas por el hongo fitopatológico, aunque se observa que el agar PDA no alcanza a suplir las necesidades alimenticias del hongo *Cladosporium*, este hongo no creció lo suficiente bien ya pasados 3 días el hongo se detiene, aunque es una característica en este hongo su crecimiento [29] lento deja de crecer deshidratándose mucho más rápido habiendo pérdida de peso del micelio este fenómeno puede suceder ya sea por dos cosas en el medio se están produciendo metabolitos tóxicos o la fuente de carbono se está agotando, también se observó que todas las cajas se encuentran contaminadas por levaduras color salmón y blanco acompañadas de bacterias proliferadas en toda la caja por lo que se recomienda emplear ácido acético al 25% aplicándose de tres a cuatro gotas para evitar la formación de bacterias sobre el medio solidificado y aumentar el tiempo de desinfección de las hojas de clavel mínimo 5 minutos [6].

10.2.2.5 Resiembra

Se tomaron a partir de la caja resultante donde creció el hongo una muestra, para realizar un replique en 2 cajas de agar PDA por siembra extensiva y siembra directa y se dejó por una semana a temperatura ambiente expuesto a los rayos solares por lo que se logró identificar un pigmento color verde oscuro en *Cladosporium* Fig.18, siendo una característica de presentar en el micelio y conidios un color oscuro debido a la presencia de pigmentos melanínicos, por esta descripción se

encontró en la literatura que corresponde a un compuesto de tipo 1,8 dihidroxinaftaleno (DHN)[55]; melanina podría proteger al hongo contra el estrés químico, este actúa como un mecanismo de protección contra los rayos UV. Las esporas de hongos usan pigmentos, como melaninas, ubicadas en la pared celular o sobre ellas, y metabolitos endógenos o extracelulares que absorben los rayos UV que actúan como filtros solares UV [27], [56], lo que indica que presenta mayor resistencia a los rayos ultravioleta.

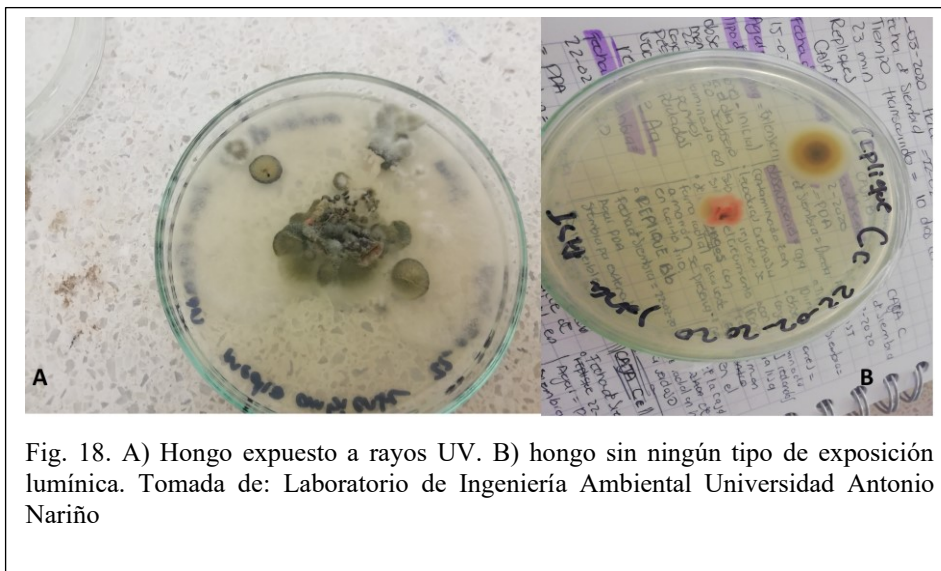


Fig. 18. A) Hongo expuesto a rayos UV. B) hongo sin ningún tipo de exposición lumínica. Tomada de: Laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño