



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias Químicas

“Ampliar la vida útil del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) mediante el tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C)”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**Químico Farmacobiólogo.**

PRESENTA

**Andrea Jael Ramírez Zambrano**

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Claudia Santacruz Vázquez

CO-DIRECTOR DE TESIS

D.E.D. Ana Bertha Escobedo López

12 de Octubre de 2023

## Producción asociada a este trabajo.

Este trabajo tuvo una producción asociada al Congreso Internacional de Biotecnología SOCIBI y V Encuentro de estudiantes del posgrado del CICB-UATx celebrado en Tlaxcala, México los días 1-3 de Diciembre de 2024, así como también en la exposición de posters científicos en el día internacional de la Mujer y la Niña en la ciencia 2025 en la Facultad de Ingeniería el día 11 de Febrero de 2025.



SOCIEDAD CIENTÍFICA INTERNACIONAL DE BIOTECNÓLOGOS A.C.  
INTERNATIONAL SCIENTIFIC SOCIETY OF BIOTECHNOLOGIST CSO  
Otorga la presente

**CONSTANCIA**  
a:

**Ramírez Zambrano Andrea Jael, Santacruz Vázquez  
Claudia, Santacruz Vázquez Verónica, Escobedo  
López Ana Bertha**

Por la presentación en CARTEL del trabajo

**Extensión de la vida útil del jitomate saladette  
(Solanum lycopersicum) mediante radiación  
ultravioleta de onda corta (UV-C)**

en el  
XI Congreso Internacional de Biotecnología SOCIBI y  
V Encuentro de estudiantes del posgrado del CICB-UATx  
Celebrado en Tlaxcala, México los días 1-3 de Diciembre de 2024.



  
Dr. Rodrigo Ledesma Amaro  
Secretario

  
Dra. María del Carmen Sánchez  
Hernández  
Presidenta de la SOCIBI

  
C.P. Adriana Hernández Grande  
Tesorera

## AGRADECIMIENTOS.

Agradezco profundamente a la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla** y en especial a la Facultad de Ciencias **Químicas** y la **Facultad de Ingeniería Química** por brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad académica. Este espacio no solo fue clave para mi crecimiento profesional, sino también para mi desarrollo personal. Quiero destacar el invaluable acceso a recursos como sus bibliotecas, laboratorios y herramientas, que fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la **Dra. Claudia Santacruz Vázquez** por su invaluable apoyo y guía a lo largo de este proyecto. A pesar de pertenecer a otra facultad, siempre mostró una disposición inigualable, ofreciendo su tiempo, conocimientos y experiencia para enriquecer esta investigación. Su entusiasmo, comprensión y confianza en mi trabajo fueron pilares fundamentales que me motivaron a superar los desafíos y a llevar este proyecto a buen término. Su capacidad para guiarme con paciencia y claridad no solo contribuyó al desarrollo de esta tesis, sino también a mi crecimiento profesional y personal.

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a **D.E.D. Ana Bertha Escobedo López** por su apoyo y guía durante la realización de este trabajo. Fue gracias a sus valiosos consejos y a la inspiración que me brindó al sugerir mi tesis en el área de Ingeniería Química que este proyecto tomó forma. Agradezco su paciencia, disposición y confianza a lo largo de este proceso, así como su compromiso para orientarme en los momentos clave. Su acompañamiento fue fundamental para superar los retos de esta investigación y enriquecer tanto mi aprendizaje como los resultados obtenidos.

A mis **amigos** de la universidad, gracias por su apoyo constante, tanto a nivel académico como personal. En los momentos de duda, estrés y cansancio, siempre estuvieron allí para ofrecer una palabra de aliento, compartir ideas y darme la motivación necesaria para seguir adelante. Gracias también por todos los momentos felices, las risas y las experiencias que compartimos, que hicieron este viaje universitario mucho más especial. Y por estar presentes en los momentos no tan fáciles, demostrando que la amistad verdadera es un apoyo fundamental en cualquier circunstancia.

## **DEDICATORIAS.**

Dedico este esfuerzo a mis padres **Joel y Nohemí**, a quienes amo inmensamente quien sin su esfuerzo, confianza y dedicación no hubiera llegado hasta donde estoy. Sin importar las circunstancias, siempre creyeron en mí y me brindaron las oportunidades necesarias para alcanzar mis metas académicas. Gracias por su confianza, por ser mi mayor fortaleza y por enseñarme que con dedicación y perseverancia todo es posible. Este logro es un reflejo de su sacrificio y amor inquebrantable.

A mi hermano **Arturo**, por ser un pilar fundamental en mi vida y en este camino académico. Tu apoyo, tu confianza en mí y el amor que siempre me has demostrado han sido una fuente inagotable de fuerza y motivación. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles, por celebrar mis logros y por recordarme siempre que soy capaz de alcanzar mis metas. Este logro también es tuyo y lo dedico con todo cariño y gratitud.

A mi tía **Martha** por ser una segunda madre para mí, siempre brindándome su amor, apoyo y confianza incondicional. Su presencia ha sido fundamental en mi vida y me ha dado la fuerza para superar los retos y alcanzar mis metas. Gracias por cuidarme, por guiarme y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino. Este logro se lo dedico con todo mi cariño, como un reflejo del amor y los valores que me ha enseñado.

A mi querida abuela **Paty** por todo el amor, cuidado y apoyo que siempre me has brindado. Gracias por estar siempre a mi lado, por tus palabras de aliento y por hacerme sentir que todo es posible. Me enorgullece saber que siempre presumes tener una nieta química, y este logro es tan tuyo como mío. Te dedico este trabajo con todo mi amor, por ser una inspiración constante en mi vida.

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCION.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Generalidades de las frutas y hortalizas .....</b>                           | <b>3</b>  |
| <b>1.2. Análisis de las pérdidas y el desperdicio.....</b>                          | <b>3</b>  |
| <b>1.2.1 Alcance de las pérdidas y el desperdicio de alimentos. ....</b>            | <b>4</b>  |
| <b>1.3 El cultivo del tomate.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.3.1 Generalidades. ....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.4. Taxonomía y morfología .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.5. Los tres principales tipos de jitomate en México .....</b>                  | <b>8</b>  |
| <b>1.6. Valor nutricional del jitomate.....</b>                                     | <b>9</b>  |
| <b>1.7 Consumo per cápita de jitomate a nivel mundial .....</b>                     | <b>10</b> |
| <b>1.8. Definición y características de los hongos. ....</b>                        | <b>11</b> |
| <b>1.9. Enfermedades del jitomate. ....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.10. Enfermedades fúngicas postcosecha. ....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>CAPITULO 2. LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA.....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>2.1 Aplicación en alimentos sólidos.....</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>2.2. Fundamento de su aplicación.....</b>  | <b>19</b> |
| <b>CAPITULO 3. MARCO DE REFERENCIA. ....</b>  | <b>22</b> |
| <b>CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....</b>                                 | <b>23</b> |
| <b>CAPITULO 5. JUSTIFICACION. ....</b>  | <b>24</b> |
| <b>CAPITULO 6. OBJETIVOS.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Objetivo general. ....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Objetivos específicos.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>CAPITULO 7. HIPOTESIS. ....</b>  | <b>26</b> |
| <b>CAPITULO 8.DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</b>                                   | <b>27</b> |
| <b>CAPITULO 9. MATERIALES Y METODOLOGIA. ....</b>                                   | <b>29</b> |
| <b>9.1. Diseño de la cámara de luz UV-C.....</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>9.2. Medición de la distancia de exposición a la radiación del alimento.....</b> | <b>31</b> |
| <b>9.3. Cuantificación de la luz irradiada .....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>9.4. Materia prima .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>9.5. Índice de madurez.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>9.6. Selección. ....</b>   | <b>33</b> |
| <b>9.7. Estandarización del tiempo de irradiación del jitomate. ....</b>            | <b>34</b> |
| <b>9.8. Tratamiento UV-C .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>9.9. Análisis fisicoquímico.....</b>   | <b>35</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>9.10. pH.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>9.11. Porcentaje de humedad.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>9.12. Acidez titulable. ....</b>   | <b>36</b> |
| <b>9.13. Estudio de la vida útil del jitomate saladette (<i>Solanum lycopersicum</i>). ....</b> | <b>37</b> |
| <b>9.14. Tratamiento UV-C y testigo.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>9.15. Análisis fisicoquímico. ....</b>   | <b>37</b> |
| <b>9.16. Análisis microbiológico. ....</b>  | <b>38</b> |
| <b>CAPITULO 10.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>CAPITULO 11. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>55</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>56</b> |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Tabla de composición nutritiva del tomate (100 g porción comestible crudo)..... | 9  |
| <b>Tabla 2.</b> Propiedades del tomate.....   | 10 |
| <b>Tabla 3:</b> Consumo per cápita de jitomate a nivel mundial (representado en kilos). ....    | 11 |
| <b>Tabla 4:</b> Consumo per cápita de jitomate 2021. ....                                       | 11 |
| <b>Tabla 5:</b> Ventajas y desventajas de la radiación UV-C .....                               | 19 |
| <b>Tabla 6:</b> Especificaciones de la cámara de luz UV-C .....                                 | 30 |
| <b>Tabla 7.</b> Evolución de los jitomates irradiados a 6 minutos .....                         | 50 |

## Índice de figuras.

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Participación global de las pérdidas y desperdicios por grupo de alimentos expresados en porcentaje de kilocalorías (100%=1,5 cuatrillón kcal)..... | 5  |
| Figura 2 Pérdidas y desperdicios de alimentos expresados en porcentaje de peso (100% = 1.3billón ton) .....   | 6  |
| Figura 3 Levaduras. (400x).....   | 12 |
| Figura 4: Hifas. (400x). .....  | 12 |
| Figura 5: Hifas. (1.000x).....  | 12 |
| Figura 6: Cultivo de <i>Rhizopus</i> spp. en agar PDA. ....   | 15 |
| Figura 7. Cultivo de <i>Alternaria</i> spp. en agar PDA a los 5 días de crecimiento .....   | 17 |
| Figura 8 Componente ultravioleta del espectro electromagnético .....  | 18 |
| Figura 9:Modificaciones en el ADN debido al tratamiento con radiación UV-C .....  | 20 |
| Figura 10:.. Secuencia de barrido del dispositivo que contiene el sensor .....  | 31 |
| Figura 11:Índices de madurez en tomates de acuerdo a los cambios de color. ....   | 33 |
| Figura 12:Metodología para la irradiación del jitomate.....   | 34 |
| Figura 13: Metodología para la evaluación de la vida útil.....  | 37 |
| Figura 14: Preparación de muestras y homogenización.....  | 38 |
| Figura 15:Aplicación del inóculo ( <i>Rhizopus</i> sp) en jitomate .....  | 39 |
| Figura 16: Grafico 3D y 2D a 1 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate .....   | 40 |
| Figura 17:Grafico 3 D y 2D a 10 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate .....  | 40 |
| Figura 18:Grafico 3D y 2D a 20 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate .....   | 41 |
| Figura 19:pH de jitomates irradiados a temperatura ambiente 25°C .....  | 42 |
| Figura 20:pH de jitomates irradiados a temperatura de refrigeración (4°C).....  | 43 |
| Figura 21:ácides titulable de jitomates irradiados a temperatura ambiente. (25°C) .....   | 44 |
| Figura 22: ácidos titulable de jitomates irradiados a temperatura de refrigeración (4°C).....   | 44 |
| Figura 23:% de humedad a temperatura ambiente (25°C) .....  | 45 |
| Figura 24: % de humedad a temperatura de refrigeración (4°C) .....  | 46 |
| Figura 25:pH de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura ambiente .....   | 47 |
| Figura 26:pH de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura de refrigeración.....  | 47 |
| Figura 27: ácidos titulable de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura ambiente (25°C) .....   | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 28: ácidos titulables de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura de refrigeración (4°C) ..... | 48 |
| Figura 29: % de humedad de los jitomates irradiados a 6 minutos en 45 días a temperatura ambiente (25°C) .....              | 49 |
| Figura 30: % de humedad de los jitomates irradiados a 6 minutos en 45 días a temperatura de refrigeración (4°C) .....       | 49 |
| Figura 31: Jitomate sin irradiación a temperatura ambiente (25°C) .....   | 51 |
| Figura 32: Jitomate a temperatura ambiente (25°C) cortado .....   | 51 |
| Figura 33: Jitomate testigo a temperatura de refrigeración (4°C).....   | 52 |
| Figura 34: Células viables de <i>Rhizopus sp.</i> por extendido en placa en ambiente (1) y refrigeración (2).....           | 53 |
| Figura 35: Células viables de <i>Rhizopus sp.</i> sin irradiar por extendido en placa.....                                  | 53 |

## RESUMEN.

El jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) es un fruto altamente perecedero cuya vida útil está limitada por factores como la pérdida de firmeza, el crecimiento microbiano y la degradación de sus propiedades organolépticas. Esto genera retos significativos en la cadena de suministro y subraya la necesidad de implementar tecnologías postcosecha efectivas para prolongar su calidad y frescura. La irradiación UV-C es un tratamiento no térmico que expone los frutos a longitudes de onda entre 200 y 280 nm. Este proceso produce efectos beneficiosos, como la inhibición de microorganismos superficiales y la activación de mecanismos de defensa en los tejidos del fruto.

El presente trabajo explora el potencial del tratamiento con UV-C como herramienta para ampliar la vida útil del jitomate saladette. Se evaluaron los efectos del tratamiento sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial del fruto, centrandó el estudio en jitomates de bola provenientes del estado de Puebla, adquiridos en el mercado Hidalgo.

En esta investigación, se analizaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los jitomates tras ser procesados con radiación UV-C. Para ello, se irradiaron 10 jitomates bajo diferentes tiempos de exposición (0, 2, 4, 6 y 8 minutos) y en dos condiciones de almacenamiento: ambiente (25 °C) y refrigeración (4 °C). Al estandarizar el tiempo óptimo, que resultó ser de 6 minutos, se realizó un segundo experimento irradiando 8 jitomates adicionales para evaluar su vida útil. Los resultados mostraron que los jitomates irradiados bajo estas condiciones alcanzaron una vida útil de hasta 30 días. Posteriormente, se realizaron pruebas microbiológicas en los jitomates testigo de cada condición. Estas pruebas se realizaron de acuerdo con las normas NOM-110-SSA1-1994 y NOM-111-SSA1-1994, utilizando el método de vertido en placa. Los resultados indicaron que los jitomates almacenados a temperatura ambiente (25 °C) presentaron >250 UFC/g en caldo dextrosa Sabouraud tras 48 horas a 25 °C. En comparación, los jitomates almacenados en refrigeración (4 °C) también mostraron >250 UFC/g en las mismas condiciones.

Adicionalmente, se evaluó la capacidad del tratamiento UV-C para controlar el crecimiento de *Rhizopus sp.* Para ello, se inocularon 4 jitomates con este microorganismo; 2 de ellos fueron irradiados y almacenados en las mismas condiciones que los anteriores. Los jitomates testigo presentaron un crecimiento de 5 UFC/g en caldo dextrosa Sabouraud tras 48 horas a 25 °C, con placas completamente colonizadas al tercer día.

## INTRODUCCION.

México es un país con una rica tradición agrícola, especialmente en la producción de verduras, frutas y hortalizas. La diversidad de climas y suelos en México permite el cultivo de una amplia variedad de estos alimentos, lo que contribuye a la riqueza culinaria y alimentaria del país.

Entre las más utilizadas en la cocina mexicana incluye el jitomate, el chile, el maíz, el aguacate, la calabaza, el nopal, el frijol y la cebolla, entre muchos.

El jitomate en México es de suma importancia debido a que es una fuente rica en vitaminas, minerales y antioxidantes, y también posee propiedades medicinales, como ser un antiséptico, alcalinizante, depurativo, diurético, digestivo, laxante y desinflamatorio. El Jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial. Comprender su biología, genética y manejo puede mejorar la productividad y la calidad de los cultivos.

El jitomate interactúa con una amplia variedad de microorganismos en su entorno, incluidas bacterias, hongos y virus. Estudiar estas interacciones puede ayudar a identificar patógenos específicos, comprender los mecanismos de infección y desarrollar estrategias de control y prevención de enfermedades. Estudiar la microbiología del tomate también puede ayudar a identificar riesgos microbiológicos y desarrollar prácticas de manejo y procesamiento que garanticen la seguridad de los productos alimenticios derivados del jitomate.

En México, el desperdicio de este alimento es un problema significativo en toda la cadena de suministro, desde la producción hasta el consumidor final. Por esta razón, se han realizado varias investigaciones para ampliar la vida útil de este alimento, utilizando, por ejemplo, la radiación.

La aplicación de los rayos UV-C en la industria agrícola tiene efectos beneficiosos, como la desinfección de superficies y la mejora de la calidad de los cultivos. En el caso de los jitomates, se ha estudiado su impacto en la reducción de microorganismos patógenos y la prolongación de la vida útil de los frutos. Se ha observado que la exposición controlada a los rayos UV-C puede estimular respuestas de defensa en las plantas, lo que resulta en una mayor resistencia a enfermedades y una mejor calidad de los productos cosechados.

En este trabajo, examinaremos más de cerca los efectos de la irradiación UV-C en la conservación de la calidad, la reducción de microorganismos (como hongos y levaduras) y otros

aspectos importantes de este tipo de jitomate. Mediante la exploración de estos temas, esperamos obtener una comprensión más completa de los beneficios y aplicaciones prácticas de esta tecnología en la industria agrícola.

## **CAPITULO 1. ANTECEDENTES.**

### **1.1 Generalidades de las frutas y hortalizas**

Las verduras y hortalizas comprenden una amplia variedad de alimentos vegetales cultivados en huertas. Aquellas con tonalidades verdes en sus partes comestibles, como tallos, hojas o inflorescencias, se conocen como verduras. Este grupo de alimentos, junto con las frutas, actúa como fuente natural de antioxidantes. Es crucial promover su consumo, ya que solo en su forma natural absorbemos estos compuestos en óptimas condiciones para su función antioxidante (Montse, 2004).

La distinción principal entre frutas y hortalizas se basa en su uso culinario: las partes de la planta que generalmente se consumen como plato principal se consideran hortalizas, mientras que aquellas que se consumen solas, principalmente como postre, se clasifican como frutas. Dado que las frutas y hortalizas provienen de diversas partes de las plantas, a menudo es útil clasificarlas según la parte de la planta de la que se obtienen, como raíces, hojas, tallos, brotes, etc. (Potter y Hotchkiss, 2007).

Las frutas y hortalizas frescas son principalmente agua y contienen cantidades mínimas de proteínas y grasas. Su contenido de agua suele superar el 70% a menudo llegando al 85%. Son una fuente importante de carbohidratos tanto digeribles como no digeribles. Los carbohidratos digeribles incluyen azúcares y almidones, mientras que las sustancias pépticas y celulósicas no digeribles proporcionan fibra esencial para la digestión. Además, son ricas en sales minerales y vitaminas, especialmente A y C, y también contienen niacina, vitaminas B1 y B2. En términos de minerales, son una fuente significativa de potasio y también contienen cantidades menores de calcio y hierro (Potter y Hotchkiss, 2007; Montse, 2004).

### **1.2. Análisis de las pérdidas y el desperdicio.**

Nos referimos con <<pérdidas de alimentos>> a la disminución de la masa de alimentos comestibles en la parte de la cadena de suministros que conduce específicamente a los alimentos comestibles para el consumo humano. Las pérdidas de alimentos tienen lugar en las etapas de producción, poscosecha y procesamiento de la cadena de suministro de alimentos. Las pérdidas de

alimentos que ocurren al final de la cadena alimentaria (venta minorista y consumo final) se conocen como «desperdicio de alimentos», más relacionado con el comportamiento de los vendedores minoristas y los consumidores. (FAO, 2012).

Las pérdidas o el desperdicio «alimentarios» se miden únicamente para los productos destinados al consumo humano, por lo que quedan excluidos el pienso y los productos que no son comestibles. Por definición, las pérdidas de alimentos o el desperdicio son masas de alimentos que se tiran o desperdician en la parte de las cadenas alimentarias que conducen a «productos comestibles destinados al consumo humano» (FAO, 2012).

Existen cinco fronteras del sistema en las cadenas de suministro de alimentos (CSA) de los productos básicos vegetales y animales. Estimándose que las pérdidas y el desperdicio de alimentos para cada uno de estos segmentos de las CSA y para los cuales se consideraron los aspectos siguientes:

- Producción agrícola: pérdidas debidas a daños mecánicos y/o derrames durante la cosecha (p. ej., trilla o recolección de la fruta), la separación de cultivos en la postcosecha, etc.
- Manejo postcosecha y almacenamiento: pérdidas debidas a derrames y al deterioro de los productos durante el manejo, almacenamiento y transporte entre la finca de explotación y la distribución.
- Procesamiento: pérdidas debidas a derrames y al deterioro de los productos durante el procesamiento industrial o doméstico (p. ej., producción de zumo, enlatado y cocción de pan). Las pérdidas pueden ocurrir cuando se separan los cultivos que no son apropiados para el procesamiento o durante las etapas de lavado, pelado, troceado y cocción, o al interrumpir procesos y en los derrames accidentales.
- Distribución: pérdidas y desperdicio en el sistema de mercado (p. ej., mercados mayoristas, supermercados, vendedores minoristas o mercados tradicionales).
- Consumo: pérdida y desperdicio durante el consumo en el hogar.

### **1.2.1 Alcance de las pérdidas y el desperdicio de alimentos.**

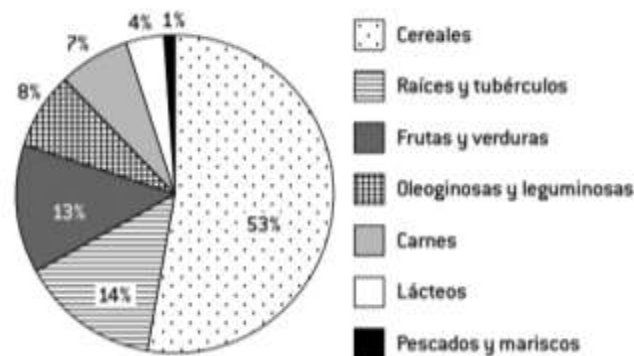
Las pérdidas y desperdicios de alimentos son problemas que afectan a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción agrícola hasta el consumo final. Se refieren a la disminución de la cantidad o calidad de alimentos que originalmente eran aptos para el consumo humano. Estos

fenómenos tienen impactos negativos significativos en la seguridad alimentaria, el medio ambiente, la economía y la sociedad en general.

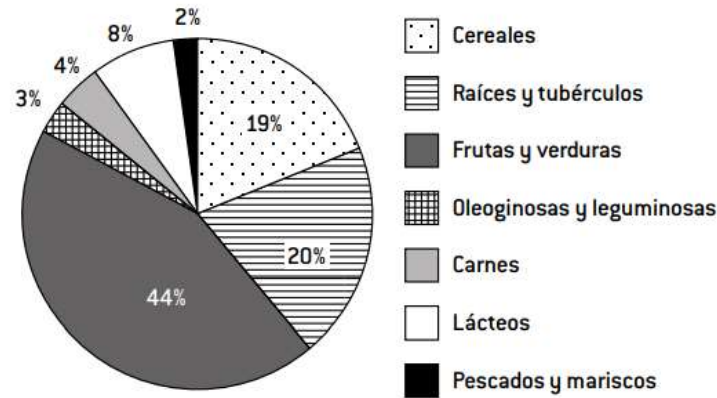
El World Resources Institute publicó el trabajo “Reducing Food Loss and Waste”, donde se traducen los datos de la FAO sobre los volúmenes desechados en kilocalorías y otros nutrientes que finalmente se convierten en basura. El estudio muestra que 1 de cada 4 kilocalorías producidas no llegan a ser consumidas por humanos (Basso et al., 2016).

En relación con los grupos de alimentos, al analizar la cantidad de pérdidas y desperdicios en términos de kilocalorías, se observa que los cereales representan el mayor problema. Aunque constituyen el 19% de las toneladas totales, equivalen al 53% de las kilocalorías desperdiciadas a nivel global. Por el contrario, el 44% de las frutas y verduras desechadas solo corresponde al 13% de las kilocalorías totales. Aunque la preocupación por su descarte radica en que constituyen una fuente importante de vitaminas, minerales y fibra. Las raíces y tubérculos son el siguiente grupo en cantidad desechada (20%), mientras que su equivalente en energía es del 14%.

En cuanto a la carne, las toneladas perdidas representan solo el 4%, lo que equivale al 7% de las calorías, pero se reconoce que, a pesar de los bajos porcentajes de consumo, la producción de alimentos cárnicos genera un importante impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, uso de la tierra y consumo de agua. (Figura 1 y 2)



**Figura 1:** Participación global de las pérdidas y desperdicios por grupo de alimentos expresados en porcentaje de kilocalorías (100%=1,5 cuatrillón kcal) (Basso et al., 2016).



**Figura 2** Pérdidas y desperdicios de alimentos expresados en porcentaje de peso (100% = 1.3billón ton) (Basso et al.,2016)

Este problema es a nivel mundial pero sus causas varían en cada país, provincia e incluso ciudad, geografía, tipo de producción, la infraestructura y otros factores. En los países de ingresos altos y medianos se detecta un mayor desperdicio en hogares, hoteles y restaurantes, entonces nos damos cuenta de que es sumamente importante el comportamiento del consumidor. Por el contrario, en las regiones de menores ingresos, se pierden más alimentos en las fases iniciales de cosecha, post cosecha y almacenamiento, debido a las limitaciones financieras y estructurales en las técnicas ya antes mencionadas.

### 1.3 El cultivo del tomate.

#### 1.3.1 Generalidades.

Según Alvarado, J., Hernández J.,(2005) existe una controversia sobre el origen geográfico del jitomate cultivado. Los aztecas ya lo consumían y lo designaban como “Xitomate”, esto antes de los cultivos de calabaza, chile y maíz.

México se considera un posible centro de origen del jitomate cultivado en los estados como Veracruz, Puebla e Hidalgo debido a la diversidad. En los estados de Hidalgo, Puebla y Tabasco aún existen formas silvestres y variedades criollas de jitomate, las cuales forman parte de la diversidad genética de la flora de dichos estados, además de presentar una valiosa fuente de germoplasma (Alvarado, J., Hernández J.,2005)

En algunas regiones del estado de Hidalgo, Puebla y Tabasco aún existen formas silvestres y variedades criollas de jitomate, las cuales forman parte de la diversidad genética de la flora de dichos estados. (Alvarado, J., Hernández J.,2005)

#### 1.4. Taxonomía y morfología

Para entender mejor sobre el tema, tenemos que saber sobre cómo está conformado el jitomate saladette.

En la investigación de Monzón, C. (2016), clasifica la taxonomía y detallada como se muestra a continuación:

**Reino:** *Plantae*.

**Orden:** *Solanales*

**Subreino:** *Tracheobionta*

**Familia:** *Solanaceae*

**Division:** *Magnoliophyta*

**Género:** *Solanum*

**Clase:** *Magnoliopsida*

**Especie:** *Solanum lycopersicum*

Según Monzón (2016), el tomate se describe morfológicamente de la siguiente manera:

- **Planta:** Es de porte arbustivo y vive más de dos años, pero se cultiva anualmente. Puede crecer de forma rastrera, semierecta o erecta, y su crecimiento puede ser limitado (determinado) o ilimitado (indeterminado).
- **Sistema radicular:** La raíz principal es corta y débil, pero las raíces secundarias son numerosas y fuertes. También existen raíces adventicias.
- **Tallo principal:** Presenta un eje con un grosor de 2-4 cm en la base. En él se desarrollan hojas, tallos secundarios (ramificación simpodial) y flores en las ramas o extremidades. La estructura del tallo, de fuera hacia adentro, consta de epidermis, pelos glandulares, corteza o córtex, cilindro vascular y tejido medular.
- **Hojas:** Dispuestas de forma alternativa en el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está cubierto por una epidermis superior e inferior, sin cloroplastos. La epidermis inferior tiene un alto número de estomas.

- Flor: Tiene una forma regular e hipógina, con 5 o más sépalos y un número similar de pétalos amarillos dispuestos helicoidalmente a intervalos de 135°. También tiene estambres soldados que se unen a los pétalos.
- Fruto: Es una baya bi o plurilocular, compuesta por pericarpo, tejido placentario y semillas.

### **1.5. Los tres principales tipos de jitomate en México.**

Existen diversos tipos de jitomate que se cultivan en México, cada uno con características únicas en cuanto tamaño, forma, color y sabor. Los tres principales tipos de jitomate en el país son el bola, el saladette y el cherry. Cada uno de estos tipos tiene usos específicos en la cocina mexicana y se adapta a diferentes condiciones de cultivo y preferencias de consumos. A continuación, se describen brevemente las características de cada tipo jitomate. (Bayer Vegetables, s.f.).

- Tomate Bola.

El tomate Bola es una hortaliza versátil que puede cultivarse en diversos tipos de suelos. Se trata de una planta trepadora con tallo rígido y flores hermafroditas de color amarillo que producen un fruto redondeado, de ahí su nombre. El fruto maduro presenta un color intenso, que va desde tonos amarillos hasta rojos, debido a la presencia de pigmentos como el licopeno y el caroteno.

Este tipo de tomate tiene una pulpa carnosa y un sabor más ácido en comparación con otros tipos. Es comúnmente utilizado para la exportación y la producción industrial de salsas, puré y jugo concentrado, así como en su forma deshidratada o enlatada, siendo apreciado en todo el mundo (Bayer Vegetables, s.f.).

- Jitomate Cherry

El jitomate Cherry se destaca por su sabor dulce y su tamaño pequeño, que le da un aspecto similar a una cereza. Debido a su alto contenido de agua, es un alimento bajo en calorías y una buena fuente de potasio, magnesio y vitaminas C, E y A. Además, su contenido de carotenos le otorga un gran poder antioxidante.

El tomate Cherry es popularmente consumido fresco en ensaladas y es especialmente atractivo para los niños debido a su dulzura y tamaño. Al igual que otros tipos de jitomate, puede disfrutarse durante todo el año.

- Tomate Roma o Saladette

Es un fruto alargado, un poco en forma de óvalo que se asemeja a un guaje, por lo que en algunas regiones le nombran tomate guajillo. Es un tomate con pulpa abundante, un ligero sabor dulce, y es menos carnoso que el jitomate de bola, por lo que es ideal para utilizarlo como ingrediente en la cocina, además que es una fuente importante de potasio, magnesio, y vitaminas B1, B2, B5 y C.

Los productores prefieren este tipo de tomate debido a su resistencia y firmeza, lo que le permite soportar el transporte a largas distancias y tener una vida útil prolongada en anaquel. Además, el tomate Roma o Saladette no requiere grandes cantidades de agua ni un sistema de riego constante, aunque un exceso de riego puede favorecer el desarrollo de enfermedades por hongos.

### 1.6. Valor nutricional del jitomate

El tomate es un alimento poco energético; dos tomates medianos aportan tan solo 22 calorías. Aproximadamente, el 95% de su peso es agua y cerca de un 4% son hidratos de carbono. A pesar de considerarse una fruta/hortaliza, contiene mayor cantidad de azúcares simples que otras verduras, lo que le confiere un ligero sabor dulce. Además, es una fuente importante de ciertas sales minerales, principalmente potasio y magnesio. Entre sus vitaminas destacan la B1, B2, B5, vitamina C y carotenoides como el licopeno, el pigmento que le da su característico color rojo. Estas dos últimas sustancias tienen un carácter antioxidante que protege nuestro organismo. (Montse, 2004).

**Tabla 1.** Tabla de composición nutritiva del tomate (100 g porción comestible crudo) (Montse,2004)

| <b>Energía (kcal)</b> | <b>Agua (g)</b> | <b>Hidratos de carbono (g)</b> | <b>Fibra (g)</b> | <b>Proteínas (mg)</b> | <b>Grasas (mg)</b> | <b>Carotenos (µg)</b> | <b>Vitamina C (mg)</b> |
|-----------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| 23                    | 94.2            | 3.5                            | 1.8              | 1                     | 0.2                | 820                   | 24                     |

**Tabla 2.** Propiedades del tomate (Montse,2004)

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Ventajas de su consumo       | *Eficaz para tratar el estreñimiento dentro de una dieta rica en fibra   |
| Inconvenientes en su consumo | *Su contenido en ácido oxálico es moderado (5.3 mg/ 100g), similar al de muchos otros alimentos e inferior al de la lechuga (17mg/100g), el té (83mg/100g)<br>*Se puede considerar al tomate como alimento depurativo.<br>*Debido a su acidez, su consumo puede estar contraindicado en tractos digestivos delicados, aunque dependerá de la tolerancia de cada persona. A algunas personas su consumo les provoca úlceras en la boca recurrente y eccema. |
| Producto optimo              | *Tomates frescos, con la piel lisa y suave al tracto, sin reblandecimiento ni manchas en la piel.<br>*Conviene comprarlo semiduro, porque sigue madurando durante el almacenamiento  |
| Manipulación e higiene       | *Si se va a consumir crudo conviene lavarlo con abundante agua y unas gotas de lejía, para eliminar cualquier germen.  |

### 1.7 Consumo per cápita de jitomate a nivel mundial

Las importaciones agroalimentarias mantienen una tendencia creciente en los principales centros de consumo del mundo y representa una gran oportunidad para la comunidad y crecimiento de las exportaciones agroalimentarias mexicanas (Tabla 3).

México se ha constituido como referente en el mercado mundial del jitomate, cuyas exportaciones se dirigen principalmente a Estados Unidos, con un superávit comercial de 2 mil 306 millones de dólares en 2021. El jitomate ha registrado un crecimiento promedio de 9.50 % en los últimos 10 años. Al cierre de 2020 se obtuvo un volumen de 3 millones 271 mil toneladas, en una superficie de más de 45 mil hectáreas y en consumo per cápita de 13.40 kilogramos (Fuentes, A., Fuentes, G. 2023).

En México en los últimos años, la producción de jitomate ha aumentado en alrededor de 50.00%, impulsada por una mayor superficie agrícola. En todos los meses del año se tiene disponibilidad de jitomate.

**Tabla 3:** Consumo per cápita de jitomate a nivel mundial (representado en kilos) (Fuentes, A., Fuentes, G. 2023).

|                    | 2016     | 2017     | 2018     | 2019     | 2020     | 2021     |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Producción mundial | 178      | 178.9    | 181.3    | 181.9    | 184.8    | 189.1    |
| Población mundial  | 7,513.50 | 7,599.80 | 7,686.80 | 7,765.00 | 7,841.00 | 7,909.30 |
| Consumo Per Cápita | 23.7     | 23.5     | 23.6     | 23.4     | 23.6     | 23.9     |

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO e INEGI

\*Representado en millones de toneladas

\*\* Representado en billones de habitantes

**Tabla 4:** Consumo per cápita de jitomate 2021 (representado en kilos) (Fuentes, A., Fuentes, G. 2023).

|          | Producción | Importaciones | Exportaciones | Consumo aproximado | Población | Consumo per cápita |
|----------|------------|---------------|---------------|--------------------|-----------|--------------------|
| E.U. A   | 10.5       | 1.9           | 0.19          | 12.2               | 337       | 36.2               |
| Alemania | 0.1        | 0.7           | 0.02          | 0.8                | 83.4      | 9.5                |
| México   | 4.1        | 0.09          | 1.9           | 2.3                | 126.7     | 18.1               |

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO e INEGI

\*Representado en millones de toneladas

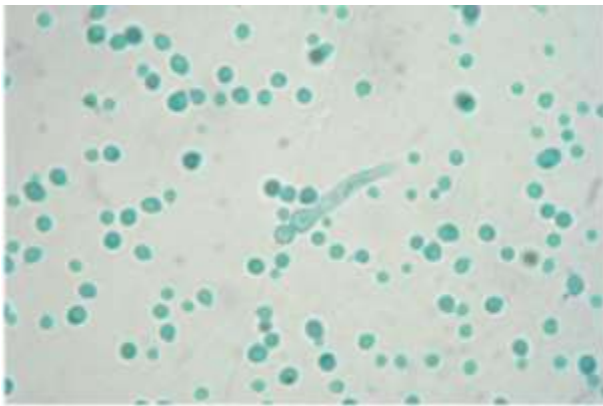
Los principales destinos de exportación de productos agroalimentarios mexicanos son: Estados Unidos, Japón, Canadá y China, así como regiones como la Unión Europea.

### 1.8. Definición y características de los hongos.

Los hongos fueron unos de los primeros organismos que aparecieron en el planeta Tierra, hace aproximadamente 300 millones de años. (G Prats. 2005.).

Los hongos son organismos eucarióticos caracterizados por formación de hifas, que son estructuras filamentosas constituida por una sucesión de células intercomunicadas, que en conjunto constituyen el micelio.

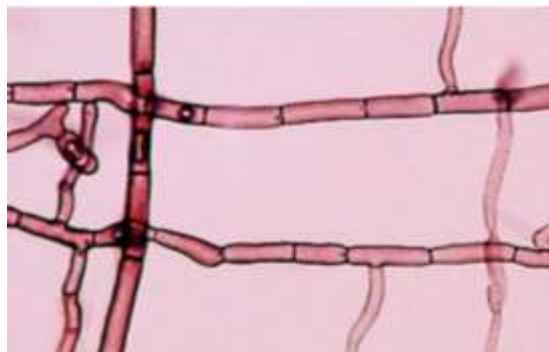
Las hifas pueden tener segmentos o septos regulares a corta distancia (hifas septadas), o a largos intervalos (hifas no septadas); estas últimas se denominan hifas cenocíticas, que pueden ser hialinas (Figura 3 ) o pigmentadas (negras), llamadas hifas demateáceas (Figura 5). La mayoría son microscópicas y su alimentación es dependiente de sustancias carbonadas. Son considerados aeróbicos estrictos y, en casos excepcionales, anaeróbicos facultativos (G Prats. 2005.).



**Figura 4.** Levaduras. Las levaduras están constituidas por células individuales que en ocasiones emiten proyecciones denominadas pseudohifas como mecanismo de patogenicidad, (400x). ( G Prats. 2005)



**Figura 3.** Hifas. Los hongos filamentosos están constituidos por estructuras tubulares multicelulares denominadas hifas. En la imagen se aprecian hifas hialinas segmentadas a grandes intervalos denominadas cenocíticas. No se aprecian los septos, (400x). ( G Prats. 2005.)



**Figura 5.** Hifas. Los hongos también pueden estar constituidos por hifas pigmentadas (negras) llamadas hifas demateáceas por la producción de melanina. Nótese los septos o segmentos regulares a poca distancia entre sí, (1.000x). ( G Prats. 2005)

Las condiciones para su desarrollo en el medio ambiente se basan en las variables fisicoquímicas como humedad, temperatura, altitud, luz, aireación, pH, iones de nitrógeno, hidratos de carbono, etc.

Los hongos se reproducen de forma sexuada y asexuada (característica importante para la taxonomía) y producen estructuras reproductivas denominadas esporas y conidios (importante para la identificación morfológica de los hongos).

Los hongos desarrollan un papel fundamental en el mantenimiento de la biosfera ya que son los principales descomponedores de la materia orgánica, permitiendo así completar el ciclo de la materia y de la energía. Otra característica importante de los hongos es la producción de metabolitos secundarios de interés en medicina y en biotecnología (Guarro, J. 2011).

### **1.9. Enfermedades del jitomate.**

La postcosecha es el periodo que transcurre desde la recolección de los productos en el campo hasta que son consumidos en estado fresco o son utilizados en un proceso de preproducción o transformación. La postcosecha comprende las etapas de selección, clasificación, empaque, embalaje, transporte, y almacenamiento. Sin embargo, la realización total, parcial o la secuencia de estas depende en gran medida de cada cultivo (Jaramillo, 2001).

Una vez cosechadas, las frutas y verduras tienen una vida postcosecha limitada. Ya no reciben agua ni nutrientes de la planta. La senescencia natural en los productos conduce a un ablandamiento de los tejidos y a menudo, a una pérdida de sustancias antimicrobianas preformadas. Estos cambios en la fruta o verdura también la hacen menos deseable para los consumidores (Bartz, J. A., Vallad, G. E., & Sargent, S. A., 2021).

Son muchas las especies de mohos que causan la descomposición en el jitomate, las cuales pueden reproducirse en el calor y condiciones de humedad, además de que pueden producir esporas con resistencia a la sequedad. Las esporas se dispersan a través del agua, viento, animales y equipos. Dentro de estas enfermedades denominadas fungosas o fúngicas se encuentran la pudrición ácida fúngica, pudrición por *Rhizopus*, pudrición de semillas, pudrición por *Fusarium*, y moho gris, siendo esta última una de las más importantes (Kader, 2011).

Se presenta una gran diversidad de géneros y especies entre los principales agentes causales de las diferentes enfermedades fúngicas que presenta el jitomate. En este grupo están los siguientes mohos: *Colletotrichum sp.*, *Alternaria sp.*, *Alternaria solani*, *Alternaria arborescens*, *Oidium lycopersicum*, *Fusarium oxysporum*, *Stemphylium solani*, *Phitophthora infestans*, *Bortytis cinérea*, *Rhizophus stolonifer* y *Verticillium sp* (Álvarez y Delgadillo, 2004)

Los principales microorganismos causantes de la descomposición del jitomate son las bacterias y los hongos, por lo que es posible dividir a las enfermedades postcosecha en bacterianas y fúngicas.

### **1.10. Enfermedades fúngicas postcosecha.**

Los hongos son generalmente más difíciles de erradicar que las bacterias, en parte porque las células fúngicas son mucho más grandes, más resistentes a los agentes desinfectantes y producen esporas que son relativamente resistentes al secado y otros estreses ambientales. Las esporas son estructuras reproductivas unicelulares o de pocas células que pueden ser dispersadas por el agua o el viento, así como por los animales y el equipo.

A continuación, se presentan los microorganismos de interés.

#### *Rhizopus spp.*

Este género se encuentra relacionado con el suelo, plantas y frutas; la mayor parte crece en cultivo aún a temperaturas altas. Se emplea para la fermentación de alimentos y es considerado patogénico para animales y humanos. Tiene distribución mundial, con mayor prevalencia en lugares tropicales y subtropicales (Arenas, 2014). Es un zygomyceto, comúnmente encontrado en el polvo de las casas, suelo, frutas, nueces y semillas, también suele estar en alimentos en proceso de descomposición, la exposición prolongada a sus esporas provoca reportes de problemas respiratorios (Bonifaz, 2012).

Son mohos de crecimiento rápido e ilimitado, pues llegan a cubrir toda la superficie del medio de cultivo con el transcurrir de los días, sus colonias son algodonosas con vellos y un aspecto generalmente seco (Villagrán et al., 2015). Son colonias blancas durante los primeros tres días de crecimiento, posteriormente al alcanzar la madurez comienzan a adquirir una tonalidad gris a café oscura, esto se debe al desarrollo de las estructuras de reproducción asexual las endosporas (Bonifaz, 2012).

Las colonias son algodonosas, se caracterizan por la presencia de estolones y rizoides muy pigmentados, así como por esporangióforos aislados en grupos que nacen de manera directa de los nudos y están en la parte opuesta a los rizoides (Figura 6). El esporangio por lo general es globoso con apófisis y columnela muy marcados; después de la ruptura estas estructuras se colapsan en forma de sombrilla o sombrero chino, las esporangiosporas son globosas u ovoides, hialinas o de color café (Arenas, 2014). Presentan un micelio macrosifonado regular con medidas de entre 5 y 10  $\mu\text{m}$ , sus hifas son hialinas y cenocíticas, la estructura de reproducción presente en estos mohos son esporangióforos largos con una columnela ovoide, se diferencian de los producidos por las especies de *Mucor* por no estar ramificados, estas estructuras de reproducción contienen a las esporangiosporas o endosporas redondas según sea el caso que presentan con color café claro o son hialinas (Villagrán et al., 2015). En el punto donde se conectan los esporangióforos y los estolones que presentan se forman rizoides (raíces), los cuales son estructuras características que permiten diferenciar a estos mohos con los pertenecientes al género *Absidia* en el cual se desarrollan internodales (Bonifaz, 2012).



Figura 6: Cultivo de *Rhizopus* spp. en agar PDA (Bonifaz, 2012).

#### Pudrición por *Rhizopus*

*R. stolonifer* es el hongo que causa esta enfermedad, la cual se caracteriza por lesiones acuosas que segregan un líquido claro y se cubren de estructuras fúngicas algodonosas; además se puede observar una esporulación que forma una corona oscura alrededor de una estructura algodonosa. El patógeno necesita la presencia de grietas en el fruto para poder penetrarlo, y durante el almacenamiento puede contagiar a los frutos adyacentes, su temperatura óptima de crecimiento

es de 25°C, aunque también puede desarrollarse en condiciones de refrigeración (Notario et al., 2012).

### *Alternaria spp*

Es un hongo microscópico contaminante saprófito de suelos y plantas; sin embargo, se ha visto que tiene potencial para ocasionar diversas enfermedades en el hombre, es considerado como uno de los principales alérgenos de interiores y exteriores (Villagrán et al., 2015)

Los conidios de *Alternaria* presentan septos transversales y longitudinales que son conocidos como dictiosporas, además son pardos y picudos. Nacen por la brotación apical de una célula conidiógena o de la espora anterior, dando lugar en este último caso a una cadena que puede ramificarse si una espora produce más de un brote (Carrillo, 2003). Su micelio es del tipo macrosifonado regular con medidas de 2-4 µm de diámetro, posee hifas con un pigmento café oscuro que están septadas, realiza su reproducción anamórfica mediante dictioconidios alargados y multiseptados, los cuales se encuentran formando cadenas en las estructuras de reproducción que son los conidióforos erectos. Algunas cepas pueden presentar ascosporas (Villagrán et al., 2015).

El crecimiento de las especies de *Alternaria* se considera rápido ya que se logra en cinco días, su tamaño es ilimitado, las colonias se caracterizan por ser de color café oscuro a negro en las diferentes especies, producen pigmentos oscuros de igual manera que difunden a través del medio, su aspecto es plano, aterciopelado y seco, aunque ocasionalmente se puede presentar un velo blanco en las colonias (Figura 7) (Villagrán et al., 2015).



Figura 7. Cultivo de *Alternaria* spp. en agar PDA a los 5 días de crecimiento (Rivas, 2014)

#### Pudrición por *Alternaria*

Esta enfermedad es producida generalmente por *A. arborescens*, el cual ataca principalmente a los frutos completamente maduros que están expuestos a la humedad de manera directa, ya sea por lluvia o por riego. La enfermedad inicia con lesiones pequeñas e irregulares y de tono marrón sobre el fruto; avanzada la enfermedad, las lesiones se vuelven negras y hundidas; y en condiciones cálidas y húmedas puede formarse una capa negra y aterciopelada debido a la esporulación. Generalmente estas lesiones aparecen sobre la cicatriz del pedúnculo o sobre grietas. Esta enfermedad no se extiende a frutos contiguos (Notario et al., 2012).

## CAPITULO 2. LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA.

La luz UV es la radiación electromagnética con longitud de onda más corta que la luz visible y más larga que los rayos X; se divide en UV-Cercano (380-200 nm), UV-Lejano (200-10 nm) y UV-Extremo (31-1 nm). Considerando el efecto de la radiación sobre la salud humana y el medio ambiente, a una longitud de onda de 100 a 400 nm, se divide en: UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm) y Vacío-UV (100-200 nm) (a veces considerada UV-C o UV-Extremo). En la literatura, han sido documentadas variaciones en los intervalos y la nomenclatura. La luz UV-C posee el mayor efecto germicida, específicamente entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm. El componente UV en el espectro de radiación electromagnética se presenta en la Figura 8 (Millán Villarroel et al., 2015)

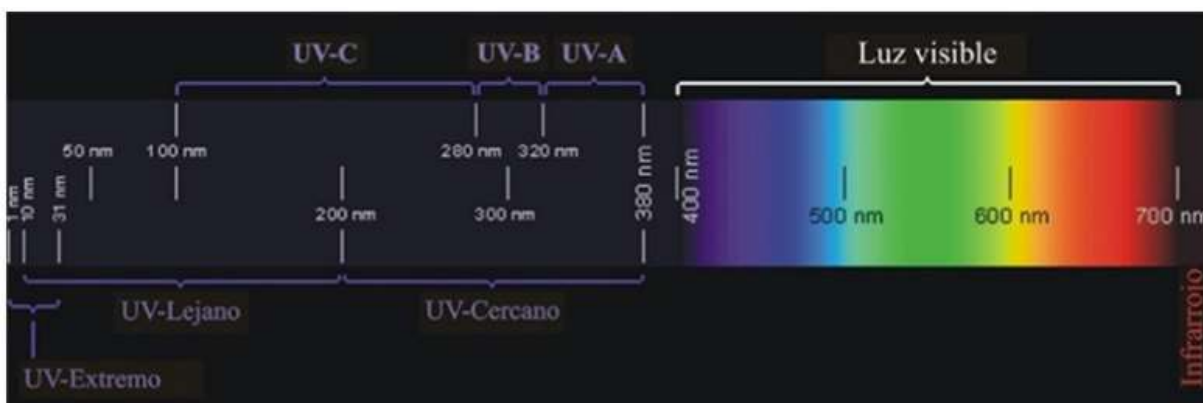


Figura 8 Componente ultravioleta del espectro electromagnético (Millán Villarroel et al., 2015)

### 2.1 Aplicación en alimentos sólidos.

Al aplicar radiación UV en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “efecto hormético”. Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amonía-liasa, que induce la formación de compuestos fenólicos (fitoalexinas), tóxicos para ellos.

Vale recordar que pese a ser una tecnología aplicable a muchos alimentos, es necesario tener en cuenta la composición de cada producto, ya que se requieren dosis distintas de radiación UV

según la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento. (Domínguez y Parzanese, 2015).

A continuación, se muestra la tabla 5 en donde Domínguez y Parzanese (2015), donde proponen ventajas y desventajas de esta tecnología.

**Tabla 5:** Ventajas y desventajas de la radiación UV-C ( Domínguez y Parzanese, 2015)

| Ventajas   | Desventajas  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ No se produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos.</li> <li>❖ Método físico en el cual la energía es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables.</li> <li>❖ El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación.</li> <li>❖ Es efectivo para desinfección de diversas superficies.</li> <li>❖ Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos.</li> <li>❖ Es de fácil aplicación.</li> <li>❖ Bajo costo y mantenimiento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Los organismos protegidos por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados.</li> <li>❖ Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes.</li> <li>❖ La exposición prolongada a irradiación UV puede dañar la vista y causar quemaduras.</li> <li>❖ La unidad o equipo de UV se debe colocar tan cerca como sea posible al producto a tratar.</li> <li>❖ Los microorganismos pueden reparar los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocidos como foro reactivación, como reparación en oscuro</li> </ul> |

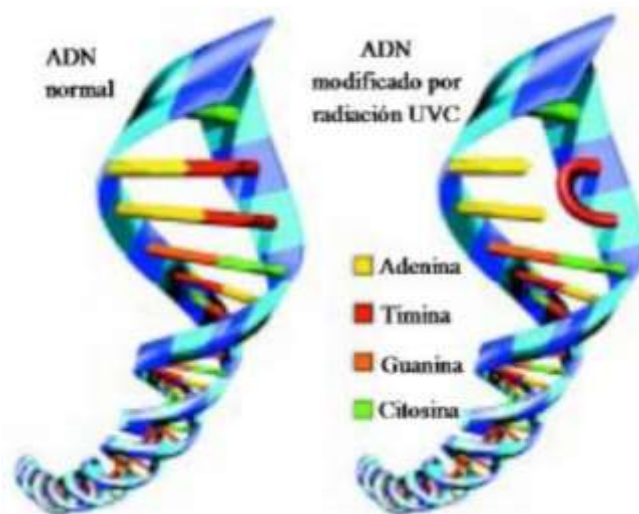
## 2.2. Fundamento de su aplicación.

La luz ultravioleta tiene un efecto antimicrobiano notable, principalmente debido a su interacción con el material genético de los microorganismos. Cuando el ADN absorbe la radiación UV-C, experimenta cambios estructurales, como la formación de enlaces cruzados

entre nucleótidos de timina y cisteína (Montes, 2018). La capacidad del ADN para absorber la radiación UV-C se debe a las bases nitrogenadas, especialmente a las pirimidinas como la timina, que son más sensibles. Tras la exposición a la radiación UV-C, la timina sufre una reacción fotoquímica que resulta en la formación de dímeros de timina, fuertes enlaces covalentes que alteran significativamente el material genético.

Cuando los microorganismos se exponen a la radiación UV de 254 nm, esta atraviesa la pared celular y alcanza el núcleo. Si encuentra una región del ADN con dos timinas adyacentes, uno de los nucleótidos absorbe un fotón y forma un dímero de alta energía. Estos dímeros impiden la replicación correcta del ADN, lo que lleva a la muerte celular y afecta la capacidad de reproducción de los microorganismos (Cabrera, 2017). La efectividad de la radiación UV en destruir microorganismos varía según la longitud de onda utilizada.

En la figura 9 se muestra una molécula de ADN normal y la modificada por la radiación UV-C. Estudios recientes han demostrado que la inactivación celular podría producirse debido a que la alteración del material genético pone en marcha señales que induce la apoptosis celular.



**Figura 9:** Modificaciones en el ADN debido al tratamiento con radiación UV-C

### **2.3 Limitaciones y desafíos en su implementación industrial.**

Su adopción industrial todavía está en evolución debido a consideraciones técnicas, económicas y regulatorias. Hay muy pocos casos documentados sobre la implementación de tratamientos con UV-C en productos fruti-hortícolas a escala industrial. Esto podría deberse a diversos factores que aún no han sido completamente identificados, pero sobre los cuales es posible especular:

- **Sensibilidad de los frutos:**

- Los jitomates son sensibles a dosis excesivas de UV-C, lo que puede causar daño por fotooxidación, manchas o aceleración del envejecimiento si no se controlan adecuadamente las dosis. (Cote Daza, 2020)

- **Uniformidad de la irradiación:**

- Es necesario garantizar que toda la superficie del fruto reciba la dosis adecuada, lo cual puede ser un desafío técnico en sistemas de procesamiento a gran escala. (Cote Daza, 2020)

- **Inversión en infraestructura:**

- Los sistemas de irradiación UV-C requieren equipos especializados, como lámparas de mercurio o LED UV-C, además de sistemas de transporte que expongan uniformemente los frutos a la luz y adaptaciones en las líneas de procesamiento existentes. Además, es necesario considerar aspectos técnicos específicos, como la protección de las lámparas contra roturas y la disposición adecuada para garantizar una exposición uniforme. (Cote Daza, 2020)

- **Regulación:**

- Aunque generalmente es aceptada como segura, algunos países tienen regulaciones específicas sobre el uso de irradiación en alimentos. Es necesario cumplir con normativas locales e internacionales. (Cote Daza, 2020)

### **CAPITULO 3. MARCO DE REFERENCIA.**

En comparación con la tesis titulada “Aplicación de radiación UV-C como tratamiento postcosecha en hongos tipo ostra (*Pleurotus ostreatus*)” de los autores Valencia Trujillo y Vargas Verdesoto, realizada en el año 2020, donde se evaluó el impacto de la radiación UV-C sobre la calidad fisicoquímica y fisiológica de los hongos *Pleurotus ostreatus*, se determinó que este tratamiento influye positivamente en la calidad del producto, extendiendo su vida útil sin alterar significativamente sus propiedades fisicoquímicas.

Por otro lado, en la tesis doctoral de Gómez titulada “Procesamiento mínimo de manzana: efecto de la radiación UV-C y la luz pulsada de alta intensidad sobre la calidad”, en el año 2010, se observó que, tras aplicar estos tratamientos a las rodajas de manzana, hubo cambios en la rigidez del tejido, con una notable pérdida en este aspecto. Además, se concluyó que es necesario analizar no solo los atributos de calidad y el comportamiento microbiano inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos, sino también a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Al estudiar la aplicación de la radiación UV-C y de la luz pulsada en frutas y vegetales mínimamente procesados, o en cualquier otro alimento, es fundamental evaluar conjuntamente el efecto de la dosis tanto en la inactivación microbiológica (flora nativa e inoculada) como en los parámetros de calidad del alimento. Esto permitirá seleccionar una dosis óptima que maximice la conservación sin causar un deterioro significativo en la calidad del producto.

En la tesis de Arenas Diaz y Cubas Tapia en el año 2023 con el nombre Efecto de radiación UV-C en la reducción del crecimiento de *Lasioidiplodia sp.*, en la postcosecha de *Vitis vinifera*, se aplicaron tres dosis diferentes de radiación se observó que la dosis más baja no fue suficiente para inhibir el crecimiento del hongo, mientras que la dosis intermedia redujo el área micelial en un 65% aproximadamente, y la dosis más alta la redujo en un 93%. Estos resultados indican que la radiación UV-C es una tecnología prometedora para el control de hongos en la postcosecha de uvas, siempre que se optimice la dosis para lograr un equilibrio entre la seguridad microbiológica y la calidad de los frutos.

## **CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El desperdicio de jitomate no solo implica una pérdida económica significativa, sino que también tiene un impacto ambiental, ya que los recursos invertidos en su producción —agua, energía y suelo— se desperdician. Además, si estos desechos no se gestionan adecuadamente, contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

La irradiación de alimentos es una tecnología que ha cobrado relevancia en las últimas décadas debido a sus beneficios para la salud y la seguridad alimentaria. Este método permite conservar los alimentos en mejores condiciones durante más tiempo, previniendo su deterioro y evitando que se generen condiciones no deseadas. También elimina algunos insectos, hongos y bacterias que pueden causar enfermedades, por lo que representa una opción segura para personas con necesidades alimenticias especiales, como los pacientes inmunocomprometidos.

Es importante destacar que las fuentes de radiación utilizadas en este proceso nunca deben entrar en contacto directo con los alimentos ni tienen la capacidad de generar radioactividad en ellos.

Está comprobado que la irradiación de alimentos no produce efectos nocivos para la salud ni altera el valor nutritivo de los productos. Al igual que otros procesos para garantizar la inocuidad, este método preserva las características organolépticas del alimento siempre que se aplique de manera adecuada (Rossi et al., 2009).

### **Pregunta de investigación:**

¿Cómo influye la irradiación con rayos UV-C en la conservación y extensión de la vida útil del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) en términos de su frescura, calidad y estabilidad microbiológica?

## **CAPITULO 5. JUSTIFICACION.**

Investigar los efectos de la irradiación en jitomates es esencial para optimizar las técnicas de conservación, lo que permitiría reducir significativamente las pérdidas postcosecha y mejorar la calidad del producto final. Además, esta investigación contribuirá a establecer parámetros específicos que los productores podrían adoptar, garantizando así tanto la aceptación por parte del consumidor como la sostenibilidad del mercado.

La creciente demanda de alimentos frescos y de alta calidad ha impulsado la búsqueda de tecnologías que prolonguen la vida útil de productos altamente perecederos como el jitomate. En este contexto, la irradiación se presenta como una alternativa viable para reducir las pérdidas postcosecha, mejorar la seguridad alimentaria mediante la eliminación de patógenos, y mantener las propiedades nutricionales y organolépticas del producto. Sin embargo, existen preocupaciones sobre el impacto de la irradiación en la textura, el sabor y la apariencia de los jitomates, así como en su aceptación por parte de los consumidores. A pesar de los avances tecnológicos, la aplicación de la irradiación en frutas y hortalizas sigue enfrentando barreras debido a la limitada información científica específica y a la percepción negativa del público sobre este método. Esta investigación es relevante porque generará conocimientos sobre las condiciones óptimas de irradiación para jitomates, lo que ayudará a establecer prácticas que garanticen un producto de alta calidad y con mayor vida útil. Además, contribuirá a mejorar la eficiencia en la cadena de suministro, reduciendo desperdicios y promoviendo la sostenibilidad en la industria agrícola. Los resultados no solo fortalecerán la competitividad de los productores, sino que también mejorarán la disponibilidad de jitomates frescos en los mercados, beneficiando tanto a la industria como a los consumidores.

## **CAPITULO 6. OBJETIVOS.**

### **Objetivo general.**

Aumentar la vida útil del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) a través de la irradiación por rayos UV-C para la conservación de este alimento.

### **Objetivos específicos.**

1. Estandarizar los tiempos de irradiación de irradiación a la luz UV-C en los cuales se expondrá el jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) durante el tratamiento de irradiación.
2. Determinar el efecto que produce la radiacionUV-C en jitomate (*Solanum lycopersicum*) variedad saladette al utilizar diferentes dosis de radiación UV-C bajo condiciones de almacenamiento refrigerado y temperatura ambiente.
3. Determinar la vida útil del jitomate (*Solanum lycopersicum*) a partir de un análisis fisicoquímico y microbiológico en función del tiempo de almacenamiento.
4. Evaluar el efecto de la exposición a la luz UV-C en la vida útil del alimento irradiado

## **CAPITULO 7. HIPOTESIS.**

A través del proceso de la irradiación UV-C se busca incrementar la vida útil del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) inhibiendo el desarrollo de microorganismos.

## CAPITULO 8. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

- a) **Tipo de estudio.** Descriptivo, cuantitativo
- b) **Universo del estudio.** Con la finalidad de ampliar la vida útil del jitomate saladette se tomaron de un mercado de la ciudad de Puebla que estuvieran de buena calidad.
- c) **Tamaño de muestra.** La primera parte de la metodología se tomaron 10 jitomates y para la segunda parte fueron 6 jitomates, todos fueron de un solo proveedor
- d) **Sede y lugar del estudio.** El análisis inicio el 12 de Octubre 2023 al 04 de diciembre 2024 la Facultad de Ingeniería Química y la Facultad de Ciencias Químicas en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico de Alimentos y de Microbiología respectivamente de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- e) **Criterios de selección.** Los criterios de inclusión se mencionan a continuación:
- \*Color: Puede clasificarse según su madurez, desde verde hasta rojo, en este caso es de color rojo. El color debe ser uniforme sin manchas irregulares.
  - \*Textura y firmeza. Debe estar firme al tacto, sin signos de sobre madurez o deterioro
  - \*Ausencia de defectos: no debe tener grietas, cicatrices profundas, magulladuras o deformaciones severas. no debe presentar daño por plagas o enfermedades.
  - \* Pureza Varietal: debe ser de la variedad específica de jitomate Saladette sin mezclas con otras variedades
- Los criterios de exclusión son los siguientes:
- \*Defectos físicos severos: frutos con rajaduras, golpes, heridas o deformaciones graves. Jitomates con cicatrices profundas o heridas abiertas.
  - \*Problemas de calidad interna: presencia de pudrición, fermentación o doña interno por hongos. Frutos excesivamente blandos o sobremaduros
  - \*Plagas y enfermedades: jitomates con larvas, insectos vivos, huevos o daño evidente por plagas
  - \*Color inadecuado o falta de madurez: frutos que no han alcanzado un color aceptable para su etapa de maduración. Manchas amarillas o verdes irregulares en el fruto
- f) **Recursos humanos.** La investigación, así como el trabajo experimental fue realizado por la tesista Andrea Jael Ramírez Zambrano, la cual estuvo bajo la dirección y

supervisión de Dra. Claudia Santa cruz Vázquez quien está a cargo del laboratorio de Análisis Físicoquímico de Alimentos y con la colaboración de la M.C Ana Bertha Escobedo López perteneciente al departamento de Microbiología de la Facultad de ciencias Químicas

- g) Recursos financieros.** El material utilizado como placas, medios de cultivo, así como la cámara de luz UV-C, el equipo para el análisis microbiológico fueron proporcionados por los laboratorios de Análisis Físicoquímico de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química, así como el laboratorio de Microbiología de la facultad de ciencias Químicas.
- h) Diseño estadístico.** El análisis de los resultados obtenidos en esta investigación se llevó a cabo por estadística no paramétrica

## **CAPITULO 9. MATERIALES Y METODOLOGIA.**

Esta investigación consiste en dos partes, en la primera se expuso al jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) a la radiación UV-C en diferentes tiempos para poder observar cual es el óptimo, midiendo así sus propiedades fisicoquímicas, en la segunda parte consistió nuevamente en irradiar jitomates, pero ahora con el tiempo adecuado, en donde se observaron a los 15, 30 y 45 días midiendo así sus propiedades fisicoquímicas. En ambas partes se evaluó un testigo, en donde el testigo de la segunda parte se evaluó la parte microbiológica.

El análisis inicio el 12 de Agosto 2023 al 01 de marzo 2024 la Facultad de Ingeniería Química y la Facultad de Ciencias Químicas en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímico de Alimentos y de Microbiología respectivamente de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

### **9.1. Diseño de la cámara de luz UV-C.**

La cámara de luz UV-C utilizada en esta investigación está destinada al tratamiento de alimentos sólidos. Este equipo fue diseñado por la Dra. Claudia Santacruz Vázquez, responsable del cuerpo académico “Operaciones y Procesos en Alimentos” (BUAP-CA185).

Dado que se trata de un diseño único, las variables o parámetros de calidad en los alimentos han sido poco estudiados con este equipo. Por ello, esta investigación busca describir sus características para establecer una base de estudios futuros, lo que permitirá explorar nuevos parámetros y, eventualmente, competir en el emergente mercado de tecnologías alimentarias. En la Tabla 6 se detallan las especificaciones del equipo.

**Tabla 6:** Especificaciones de la cámara de luz UV-C (Cabrerá,A. 2017)

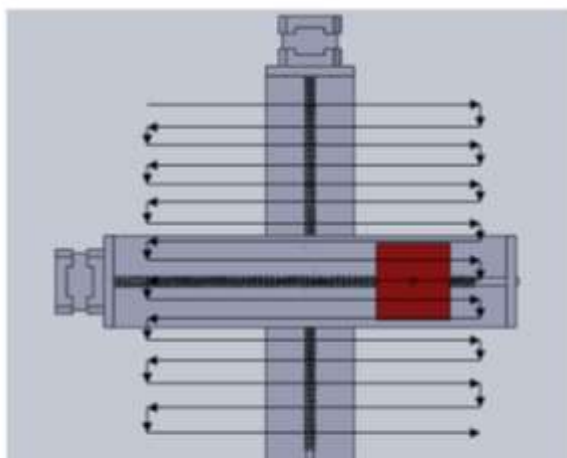
| Equipo  | Especificaciones  |
|---|---|
|    | <p>La cámara de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) consta de un mueble de acero galvanizado con recubrimiento exterior epoxi-poliéster color blanco, además en la parte inferior cuenta con un panel inferior de control.</p>                    |
|   | <p>El panel de control cuenta con un temporizador, un botón de encendido y apagado general e individual para cada lámpara, tiene un indicador de temperatura digital que a la vez conecta con un termopar en el interior de la misma.</p>           |
|  | <p>Dentro de la cámara de luz UV-C se cuenta con un arreglo de 5 lámparas de mercurio de baja presión a <math>\lambda=254\text{nm}</math> tal cual lo especifica la FDA.</p>  |
|  | <p>Los interiores de la cámara de luz UV-C son de acero inoxidable, cuenta con una charola que funciona como soporte de las muestras y en la parte superior se acondiciono una cámara de video para el análisis de las muestras en tiempo real.</p> |

## 9.2. Medición de la distancia de exposición a la radiación del alimento.

La distancia entre el alimento y la fuente de radiación se determinó mediante el análisis de la intensidad de imagen, capturando mediciones a tres distancias diferentes: 1, 10 y 20 cm. Las imágenes fueron obtenidas a partir del análisis en dos dimensiones (eje X-Y) utilizando un microcontrolador basado en ARDUINO, el cual se conectó a una computadora mediante un dispositivo de comunicación RS232 con una velocidad estándar de 9600 bps. Los datos recopilados se procesaron en Excel, donde se empleó un software específico para cuantificar la intensidad de la luz ultravioleta de onda corta y realizar su análisis.

El sensor registrador de radiación ultravioleta visible, desarrollado por la Dra. Claudia Santacruz Vázquez, está registrado ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Sus especificaciones se detallan a continuación. El software empleado permite cuantificar la intensidad de la luz ultravioleta de onda corta generada por lámparas de mercurio de baja presión, utilizado para el tratamiento y conservación de alimentos. Este software también funciona como interfaz entre el equipo de radiación UV-C y el usuario, quien puede visualizar en tiempo real la cantidad de luz irradiada a través de una computadora. Además, el programa es fácil de usar, intuitivo y permite generar gráficos para medir la intensidad de la luz emitida por unidad de tiempo.

El sensor recopiló datos en distintos puntos de un cuadrante a través de un barrido de área, seleccionando una serie de puntos estratégicos para optimizar el proceso. Como se muestra en la Figura 10, el recorrido del sensor en el plano X-Y durante la etapa de radiación UV-C permite evaluar la zona irradiada de manera precisa.



**Figura 10.** Secuencia de barrido del dispositivo que contiene el sensor (Cabrera,A. 2017)

### **9.3.Cuantificación de la luz irradiada**

La cuantificación de la luz irradiada se realizó utilizando un sensor registrador de radiación ultravioleta. En este análisis, se consideraron los ejes X-Y-Z, donde los ejes X e Y representan el área irradiada, mientras que el eje Z corresponde a la intensidad de la radiación, expresada en milivoltios (mV). Los gráficos tridimensionales fueron generados con Excel.

### **9.4.Materia prima**

La selección de del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) procede de unos del mercado del norte de la ciudad de Puebla, llamado mercado Hidalgo. La temperatura media anual del estado de Puebla es de 17.5°C, la temperatura máxima promedio es de 28.5°C y se presenta en los meses de abril y mayo, la temperatura mínima promedio es de 6.5°C durante el mes de enero. La altitud promedio sobre el nivel del mar del estado de Puebla es de 2,160 metros. Para los análisis de datos del jitomate se utilizó la misma variedad un único proveedor.

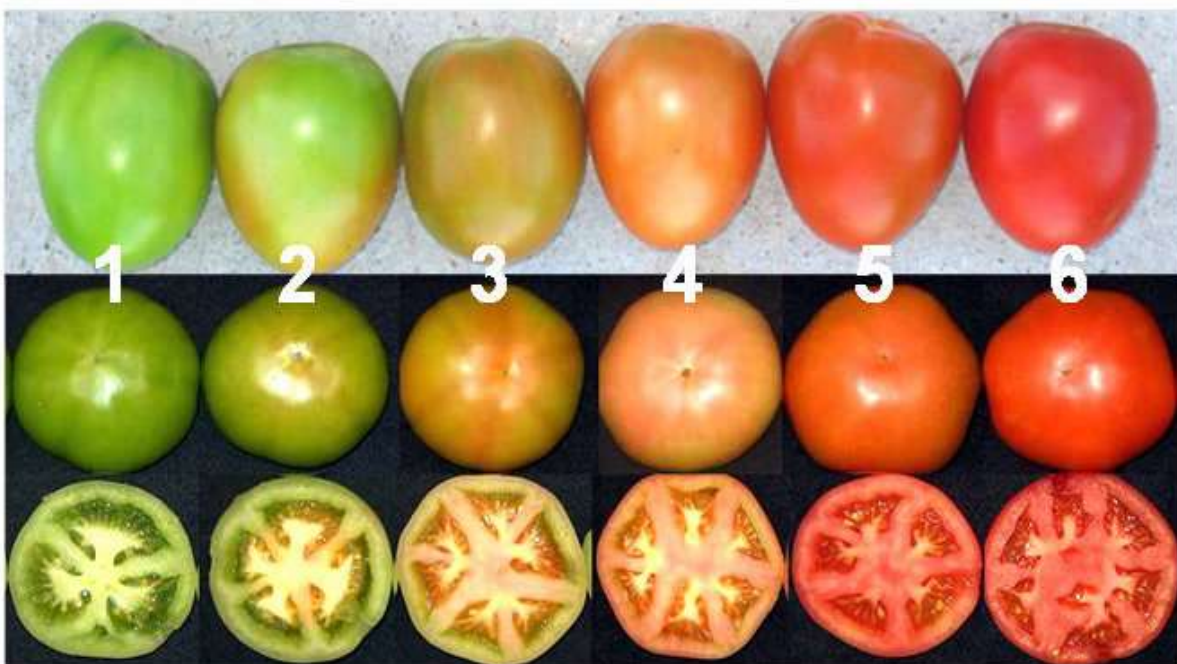
### **9.5.Índice de madurez**

Es fundamental conocer el índice de madurez del jitomate para estandarizar toda la investigación. Este índice se refiere a las características que determinan el momento óptimo de cosecha del jitomate.

El color es el criterio más comúnmente utilizado para evaluar la madurez. Para describir el color como un indicador de la etapa de madurez de un lote de jitomates ‘fisiológicamente maduros’ de una variedad con piel roja, se pueden emplear los siguientes términos, siempre que estén especificados en relación con el grado de calidad asignado a las frutas.

- \* “Green” (Etapa #1). La superficie del tomate está completamente verde en color. El matiz del color verde puede variar de claro a oscuro.
- \* “Breakers” (Etapa #2). Hay un rompimiento definitivo en color de verde a amarillo-bronceado, rosa o rojo, en no más de 10% de la superficie.
- \* “Turning” (Etapa #3). Más de 10% pero no más de 30% de la superficie, en el agregado, presenta un cambio definido en color de verde a amarillo-marrón, rosa, rojo, o una combinación de ellos.

- \* “Pink” (Etapa #4). Más de 30% pero no más de 60% de la superficie, en el agregado, presenta un color rosa o rojo.
  - \* “Light Red” (Etapa #5). Más de 60% de la superficie, en el agregado, presenta un color rojorosado o rojo: provisto de que no más de 90% de la superficie sea color rojo.
  - \* “Red” (Etapa #6). Más de 90% de la superficie, en el agregado, presenta un color rojo.
- Un lote de frutas de tomate que no cumpla con los requerimientos de ninguna de las designaciones de color anteriores podrá ser designado como “Mixed Color” (Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, 2007).



**Figura 11:** Índices de madurez en tomates de acuerdo a los cambios de color. (Sañido, B., Contreras, M. 2014)

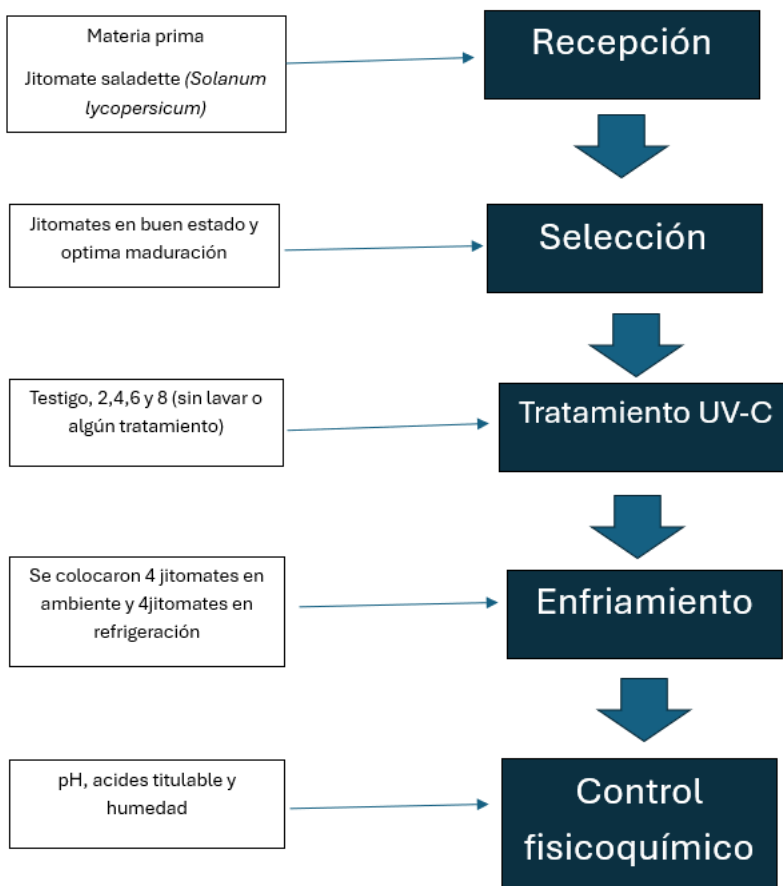
De esta manera los jitomates que seleccionaron “Red” (Etapa #6), esto se realizó de manera visual como se muestra en la Figura 11.

## 9.6. Selección.

Los jitomates que se seleccionaron se encontraban en buen estado y se procuró que fueran del mismo tamaño, estas no se lavaron, no se le aplicó ningún agente químico, ya que la finalidad es irradiar el jitomate con la contaminación natural del suelo, la manipulación que se realiza de la postcosecha y ver así el efecto de la radiación UV-C

### 9.7. Estandarización del tiempo de irradiación del jitomate.

A continuación, se presenta la figura 12 de trabajo en donde representa la primera etapa de la investigación en la cual se determinó el tiempo de radiación con luz UV-C de los jitomates.



**Figura 12:** Metodología para la irradiación del jitomate

## **9.8. Tratamiento UV-C**

La cámara consta de 5 lámparas, estas llegan a una longitud de onda de 254 nm. Se utilizan diferentes tiempos de irradiación, las cuales fueron: testigo, 2min,4 min,6 min,8 min de irradiación. La cuales tenemos en total 4 tratamientos y una muestra sin irradiar ( testigo)

## **9.9. Análisis fisicoquímico.**

El análisis fisicoquímico de los alimentos es crucial tanto en el procesamiento como en el desarrollo de nuevos productos. Evaluar las propiedades fisicoquímicas es fundamental para asegurar la calidad, seguridad y aceptación de los alimentos por parte de los consumidores.

En esta investigación, se proponen estas pruebas como parámetros clave de control de calidad, abarcando las etapas de postcosecha, procesamiento, distribución y consumo. A nivel industrial, estas pruebas son altamente efectivas, ya que permiten a los especialistas en alimentos detectar rápidamente cualquier anomalía en la línea de producción y tomar medidas correctivas de manera inmediata.

Además, en muchos casos, es un requisito legal que los alimentos cumplan con ciertos estándares fisicoquímicos antes de ser comercializados, lo que garantiza su seguridad y alta calidad. Mantener la consistencia en estas propiedades es esencial para asegurar que los alimentos conserven su calidad a lo largo del tiempo, aspecto crucial para la satisfacción del consumidor. A continuación, se detallan las pruebas realizadas.

## **9.10. pH.**

Para determinar pH del jitomate se determinó a partir del método AOAC, 2002. Método Oficial 981.12 pH de alimentos acidificados. El pH se determinó empleando un potenciómetro digital Ph—meter marca CONDUCTRONIC MODELO pH10, previamente calibrado, empleando 2 soluciones buffer pH: 4 y pH: 7.

## **9.11. Porcentaje de humedad**

De acuerdo con el método AOAC,2002, se determinó el porcentaje de humedad Método oficial 934.06 el cual se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación de agua. Para la

determinación de humedad. Se pesó 1 gramo de las muestras en charolas de aluminio (puestas previamente a peso constante) dejando en una estufa a 100°C por 24 horas, para posteriormente determinar la humedad por diferencia de peso con la formula 1.

$$\%Humedad = \frac{Peso\ muestra\ (g) - [Peso\ final(g) - Peso\ charola(g)]}{Peso\ muestra\ g} \times 100 \quad [1]$$

### 9.12. Acidez titulable.

Se determinó por el método de titulación potenciométrica de acuerdo (AOAC, 2016), se expresa como porcentaje de ácido cítrico y se calculó mediante la siguiente fórmula 2.

$$\%ácido\ cítrico = \frac{V_i \times N}{V_2} \times K \times 100 \quad [2]$$

Donde:

$V_i$ = Volumen de NaOH consumido (ml)

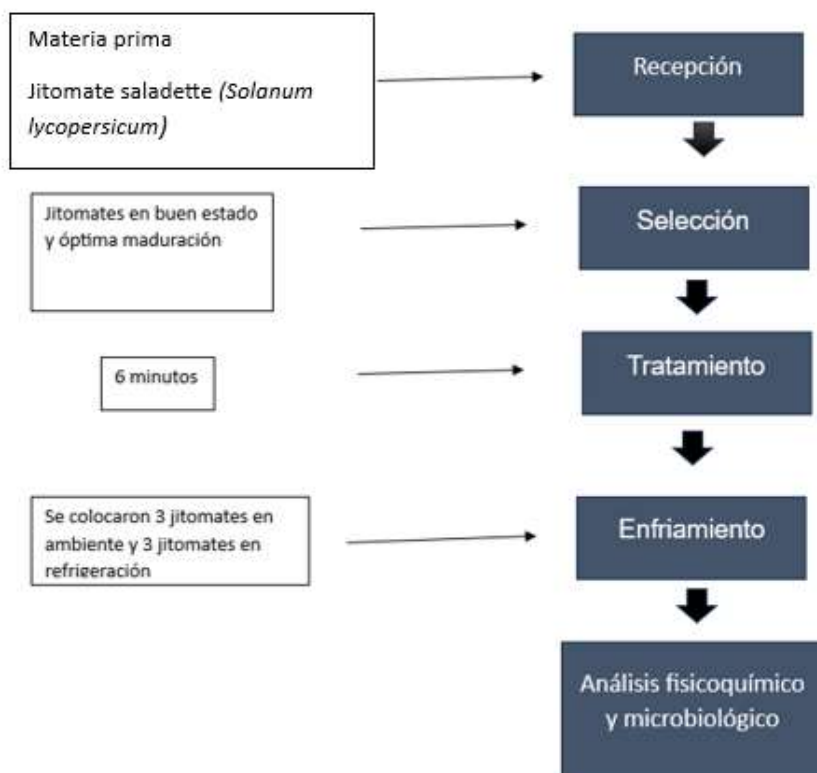
$V_2$ = Volumen de muestra

K= peso equivalente del ácido cítrico (0.064g/meq)

N= normalidad de NaOH( 0.1 meq/ml)

### 9.13. Estudio de la vida útil del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*).

Al tener el tiempo de irradiación idóneo del jitomate se realizó el análisis de vida útil para el cual se siguió la siguiente metodología



**Figura 13:** Metodología para la evaluación de la vida útil

### 9.14. Tratamiento UV-C y testigo

Se preparó dos lotes en donde a cada uno los irradiamos a 6 minutos en donde el primer lote se colocó a temperatura ambiente ( 25°C) y una a refrigeración (4°C), teniendo cada lote un testigo.

### 9.15. Análisis fisicoquímico.

El control fisicoquímico se monitoreo cada 15 días hasta que el jitomate tuviera alguna anomalía. Y se realizaron las siguientes pruebas: pH, % humedad y acidez titulable. Los métodos de las pruebas mencionadas se encuentran en la primera etapa del apartado 4.9

## 9.16. Análisis microbiológico.

- Preparación de la muestra y diluciones

Se realizó este análisis, la NOM-110-SSA1-1994 de acuerdo a la norma en la cual se preparó 10 gr de jitomate que estuvieron a temperatura ambiente y en refrigeración para posteriormente introducirla a una bolsa de dilución con 45ml de solución salina (NaCl al 0.9%), posteriormente se trituro cada bolsa y se homogenizo la muestra en el Stomacher® 400 Circulator como se muestra en las figura 14.



**Figura 14.** Preparación de muestras y homogenización

- Vertido en placa para la cuenta de hongos y levaduras según la NOM-111 SSA1-1994
  1. Se colocó por duplicado en cajas Petri 1 ml de la muestra líquida directa, utilizando para tal propósito una pipeta estéril.
  2. Se hizo duplicado para el jitomate de ambiente y de refrigeración.
  3. Se vertió de 15 a 20 ml de agar papa dextrosa acidificado, fundido y mantenido a  $45 \pm 1$  °C en un baño de agua.

4. Se mezcló cuidadosamente el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis en el sentido de las manecillas del reloj, seis en el sentido contrario y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa, horizontal y fría.
  5. Se contaron las colonias de cada placa después de 3, 4 y 5 días de incubación. Después de 5 días, seleccionamos aquellas placas que contengan entre 10 y 150 colonias.
- Expresión de resultados.

Se consideró las cuentas de placas entre 10 y 150 colonias como las adecuadas para el informe. Se tomó en consideración los criterios de la NOM-092-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa, para la expresión de resultados

#### 9.16.1. Células viables.

Se realizó la evaluación de inactivación de *Rhizopus sp.* El análisis consistió en inocular el hongo de *Rhizopus sp.* En el pedúnculo del jitomate. En esta ocasión se obtuvieron 3 jitomates en las cuales dos de ellos tuvieron la irradiación, y a estos se mantuvieron en la temperatura ambiente (25°C) y en refrigeración (4°C). Posteriormente para su análisis se realizó la técnica del extendido en placa apegando por la norma NOM-110-SSA1-1994.

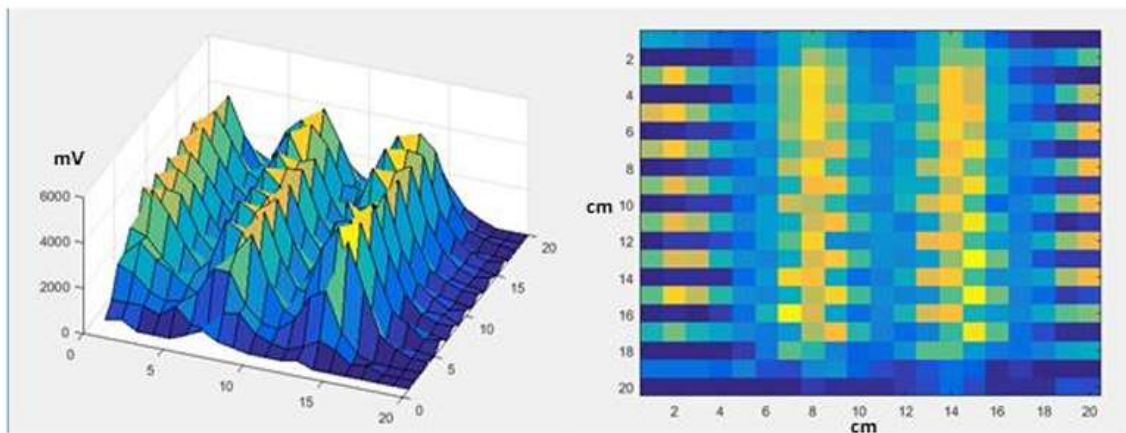


Figura 15: Aplicación del inoculo (*Rhizopus sp.*) en jitomate

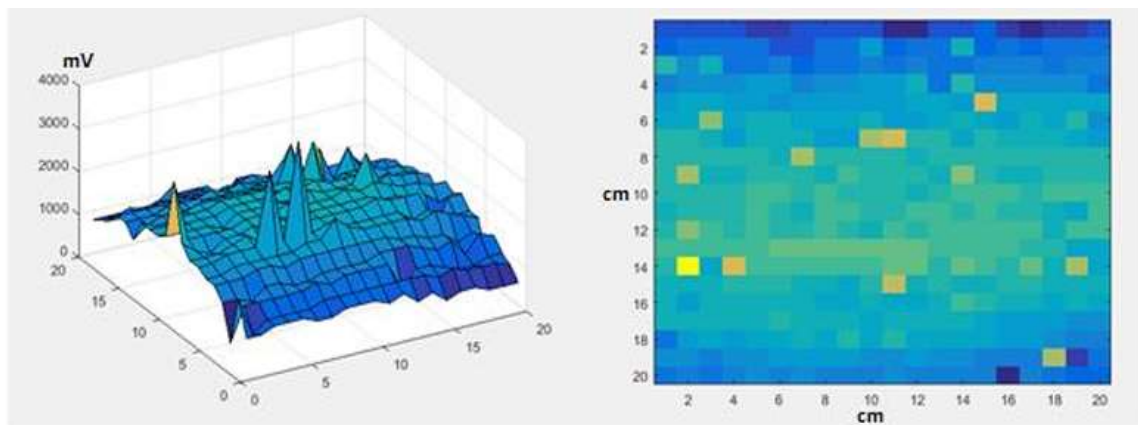
## CAPITULO 10.RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 10.1. Distancia e intensidad de la luz UV-C irradiada.

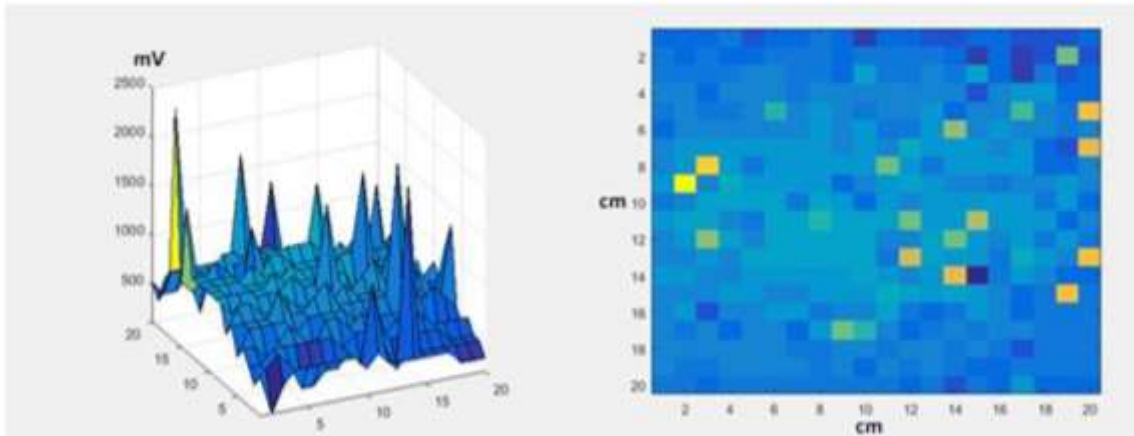
Las figuras de 16 a 18 se muestran las gráficas 3D que representan el área irradiada (eje X-Y) y la cantidad de luz irradiada ( eje Z ) al igual se observa la imagen de intensidad de luz irradiada ( 2D)



**Figura 16.** Grafico 3D y 2D a 1 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate



**Figura 17.** Grafico 3 D y 2D a 10 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate



**Figura 18.** Grafico 3D y 2D a 20 cm de distancia entre la fuente de radiación y el jitomate

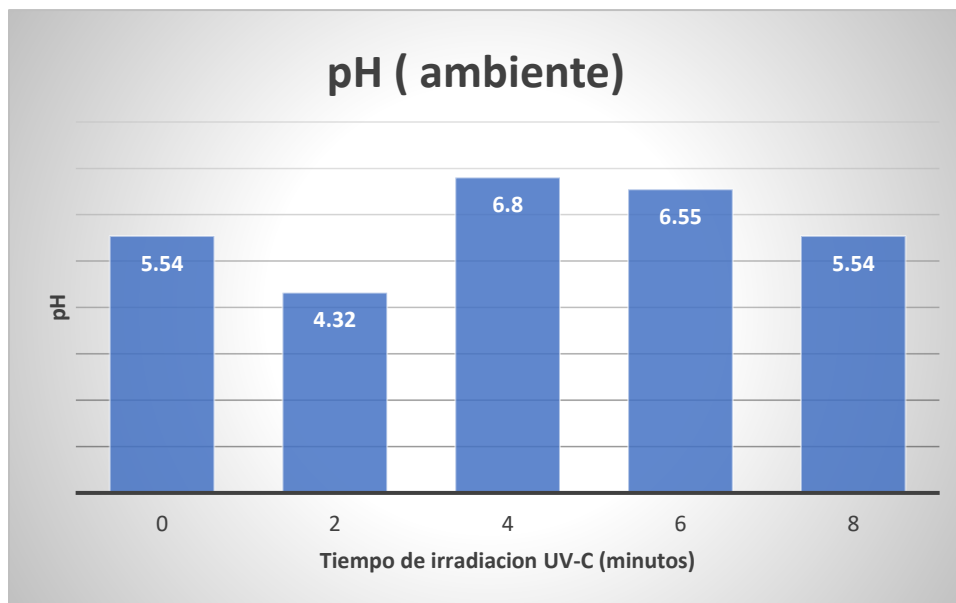
Con los resultados antes mencionados se puede decir que entre más cerca este el alimento de la fuente de radiación la intensidad de la luz emitida es mayor. En las imágenes 2D la región amarilla representa dosis extremadamente altas de UV-C mientras que las regiones azules representan dosis bajas de UV-C. En la graficas 3D los picos indican aumento de la intensidad de luz irradiada.

En la figura 16 la imagen de intensidad de la luz irradiada (2D) muestra que la radiación de la luz UV-C se da solo en donde están colocadas las lámparas, incluso la región amarilla muestra la gran intensidad de la radiación. En la figura 17 en la imagen 2D se observa que hay una concentración de tonalidades amarillas solo en el centro y el grafico 3D muestra picos de radiación muy espaciado entre cada punto del eje X-Y. Por ultimo en la figura 18 se puede observar la dosis de radiación emitida por las lámparas, entonces es homogénea a lo largo del eje X-Y, descartando la posibilidad de que la dosis de radiación sea variable en función de la posición en la que la muestra esté ubicada.

## **10.2. Análisis de los resultados fisicoquímicos en la etapa de estandarización de tiempo.**

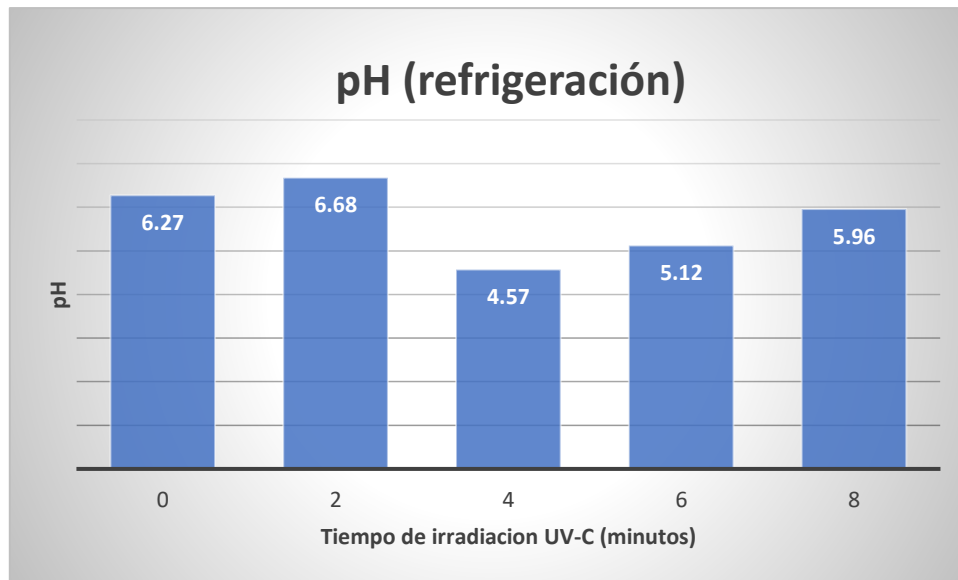
Como ya se había mencionado, el análisis fisicoquímico permite evaluar los cambios que existen con respecto al tiempo de radiación. El tiempo ideal para el jitomate es de 6 minutos.

A continuación, se presenta la figura 19 y 20 de pH del alimento.



**Figura 19.** pH de jitomates irradiados a temperatura ambiente 25°C

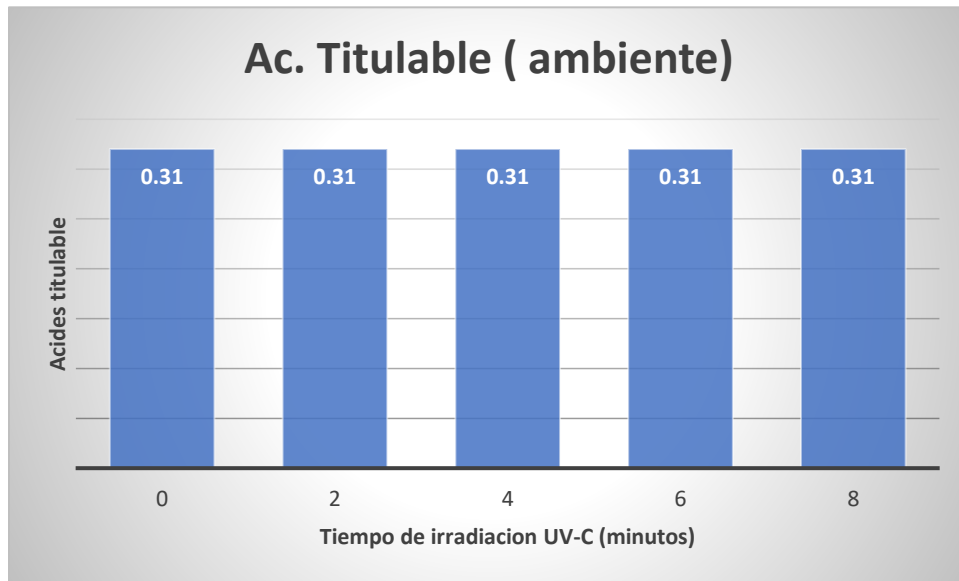
Se tomaba el valor del pH de cada jitomate cuando este presentaba la presencia del hongo o algún cambio en su físico. Con respecto a los jitomates que se encontraban a temperatura ambiente el jitomate testigo tiene un valor de 5.54 y a comparación con el jitomate con el tiempo de irradiación de 6 minutos incremento su valor a 6.55, de acuerdo con González-Cebrino et. al. (2011) reportan los valores de pH para el jitomate saladette es de 4.15 a 4.30, se puede decir que si cambio ya que se analizó cuando el jitomate tuvo un cambio en su físico



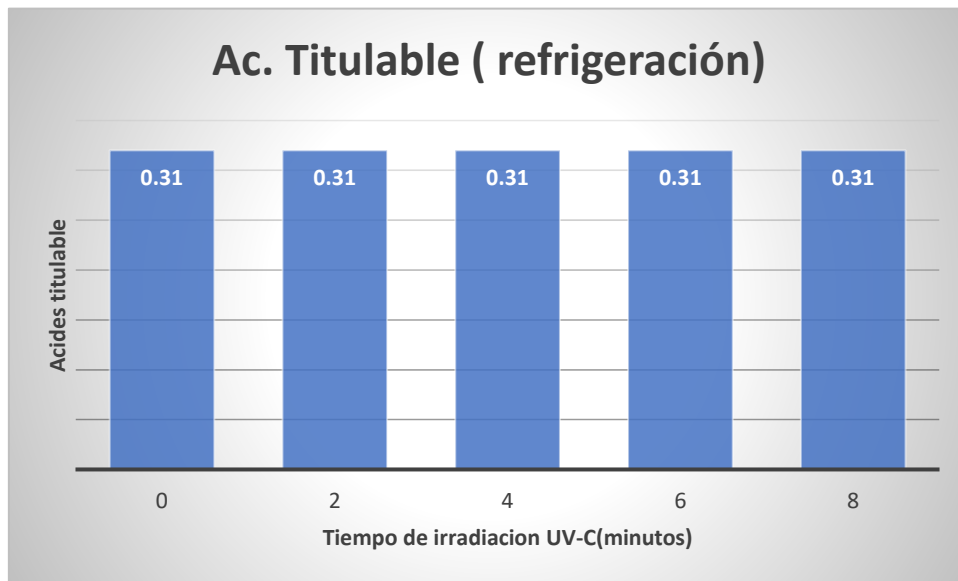
**Figura 26.** pH de jitomates irradiados a temperatura de refrigeración (4°C).

Con respecto a los jitomates que se encontraban en refrigeración podemos ver que el jitomate testigo tiene un valor de 6.27, así por consiguiente el jitomate con el tiempo 6 tiene un valor de 5.1, como resultado tenemos que hubo una disminución del valor.

En las figuras 21 y 22 se puede observar la evaluación de la ácidos titulable de los jitomates, en la cual a temperatura ambiente y de refrigeración su valor fue constante, tomando en cuenta los valores acidez titulable de 0.24 a 0.31. (González- Cebrino et. al. 2011)



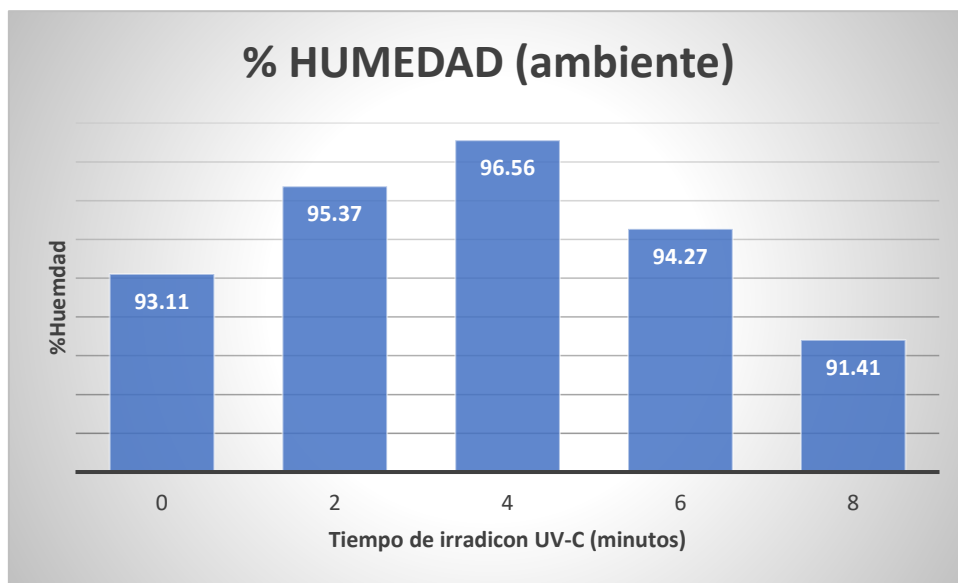
**Figura 27.** ácidos titulable de jitomates irradiados a temperatura ambiente. (25°C)



**Figura 28.** ácidos titulable de jitomates irradiados a temperatura de refrigeración (4°C).

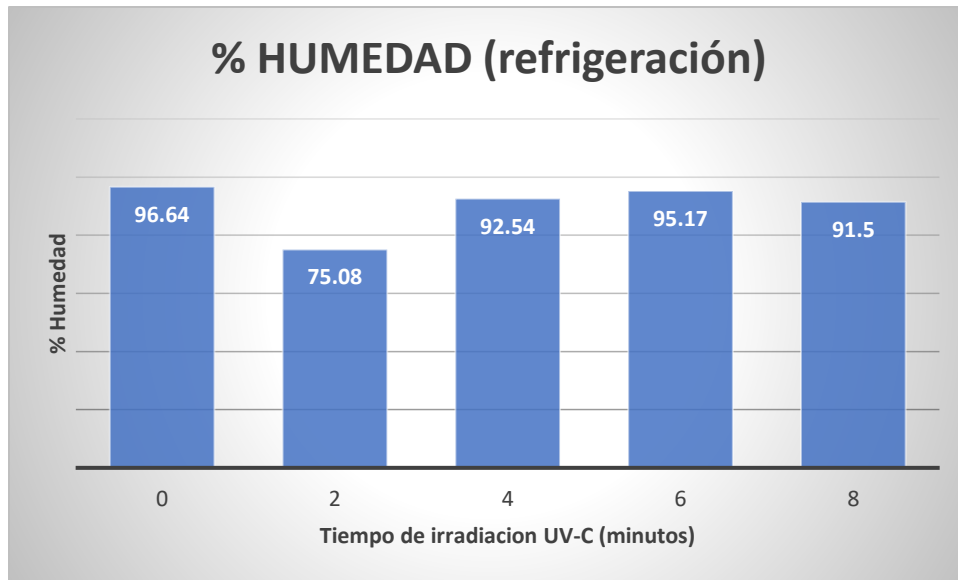
En la figura 23 tenemos el % de humedad en los jitomates en temperatura ambiente se observó un incremento en los tiempos 2 y 4 minutos y fue disminuyendo en los tiempo 6 y 8 minutos y en refrigeración. De acuerdo con López, J. et.al. (2007), la humedad relativa alta puede favorecer tanto a que la fruta de tomate se mantenga túrgida como al desarrollo de muchos de los

patógenos. Lo ideal para beneficio de la fruta es una humedad relativa de 90 a 95%, pero manteniendo su superficie seca. Por otro lado, lo ideal para el desarrollo de la mayoría de los patógenos es una humedad relativa de 95 a 100%, con la superficie de la fruta húmeda por la presencia de agua libre.



**Figura 29.** % de humedad a temperatura ambiente (25°C)

Con respecto a la figura 24, podemos observar que el % de humedad en el testigo afecto muy considerablemente ya que sobrepasa el rango antes mencionado, esto al parecer tanto a temperatura ambiente (25°C) y a refrigeración (4°C) es un factor importante para el incremento de este parámetro de calidad.



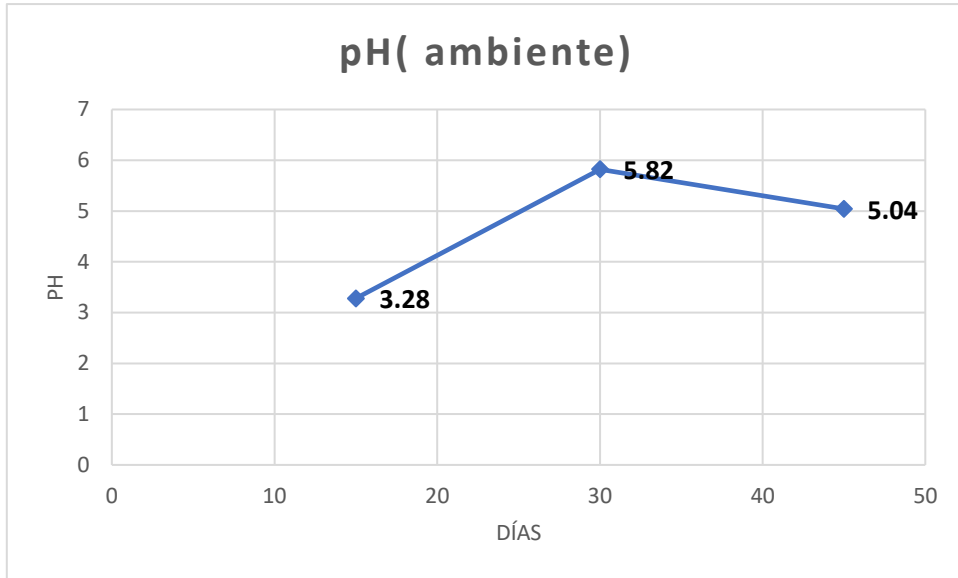
**Figura 34.** % de humedad a temperatura de refrigeración (4°C)

Recopilando toda la información anterior es por eso por lo que se decidió que el mejor tiempo es a los 6 minutos de irradiación a una dosis de  $0.473 \text{ J/cm}^2$

### **10.3. Análisis de los resultados fisicoquímicos en el tiempo de 6 minutos.**

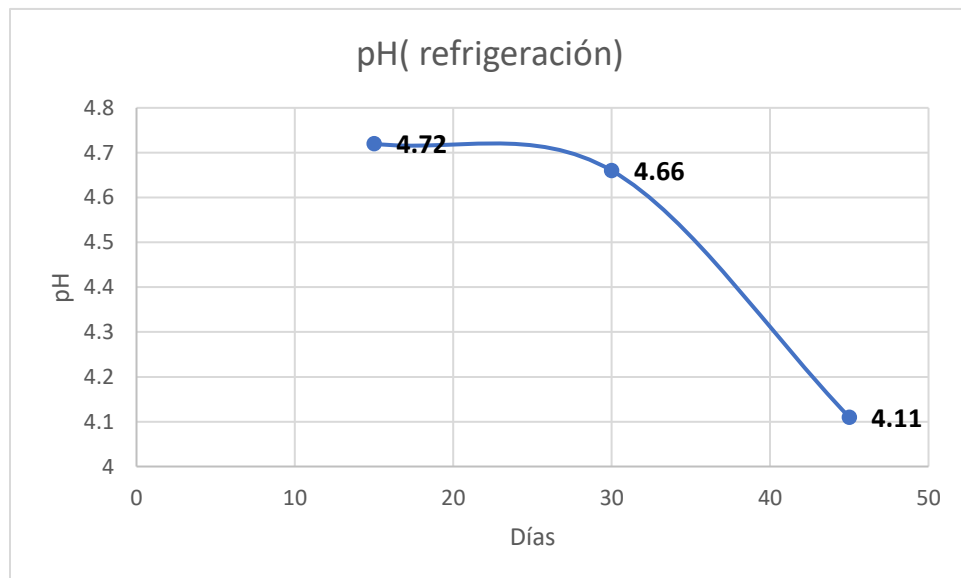
En esta ocasión analizamos las propiedades fisicoquímicas del jitomate que tuvo 6 minutos de irradiación, pero ahora cuantificando por cada 15 días, a lo largo de 45 días.

En la figura 25 podemos ver el valor del pH en los jitomates que estuvieron a temperatura ambiente, podemos observar que durante avanzaban los días tuvo un aumento en su valor, así analizando los resultados podemos observar que el día 15 tiene un valor de pH de 3.28 este siendo un valor ácido, aunque no entra dentro del rango antes mencionado.



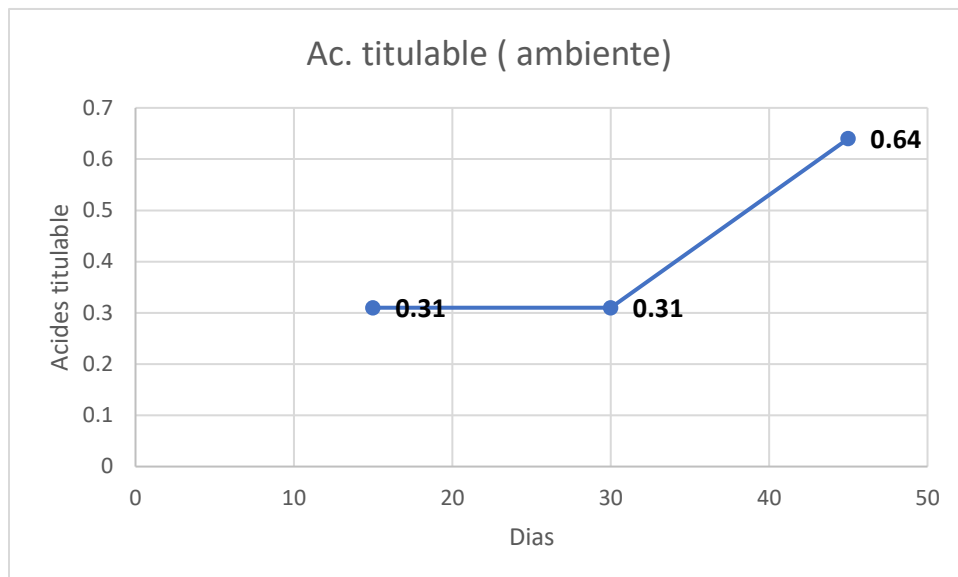
**Figura 35.** pH de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura ambiente.

En la figura 26 tenemos los valores del pH en refrigeración por los 45 días, observando que va disminuyendo el valor del pH conforme pasan los días, haciendo optimo el día 45 ya que entra dentro del rango antes mencionado.



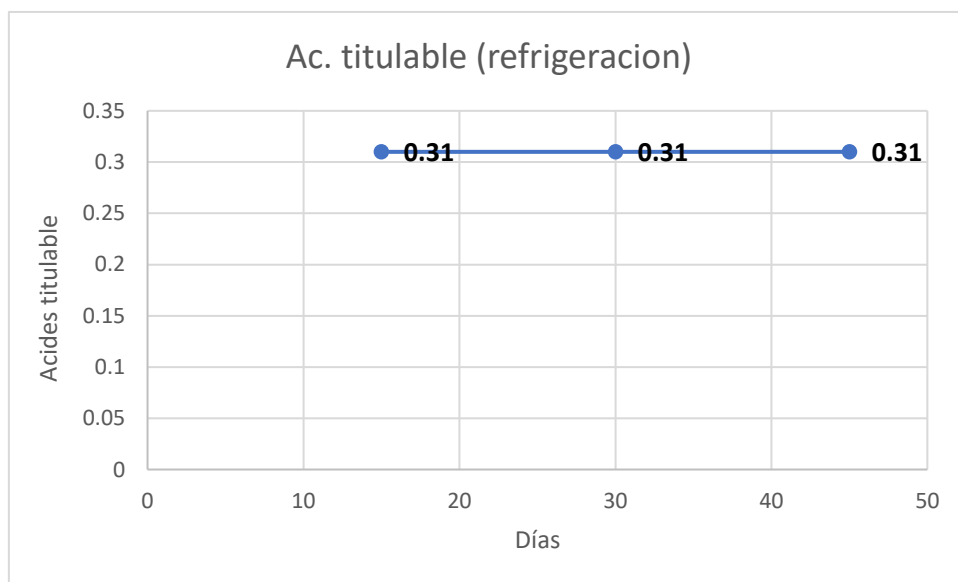
**Figura 36.** pH de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura de refrigeración

Con respecto a la acides titulables temperaturas ambientes podemos observar en la figura 27 a tuvo un incremento en los últimos 15 días, saliéndose del valor de referencia antes mencionados, haciendo optimo los días 15 y 30.



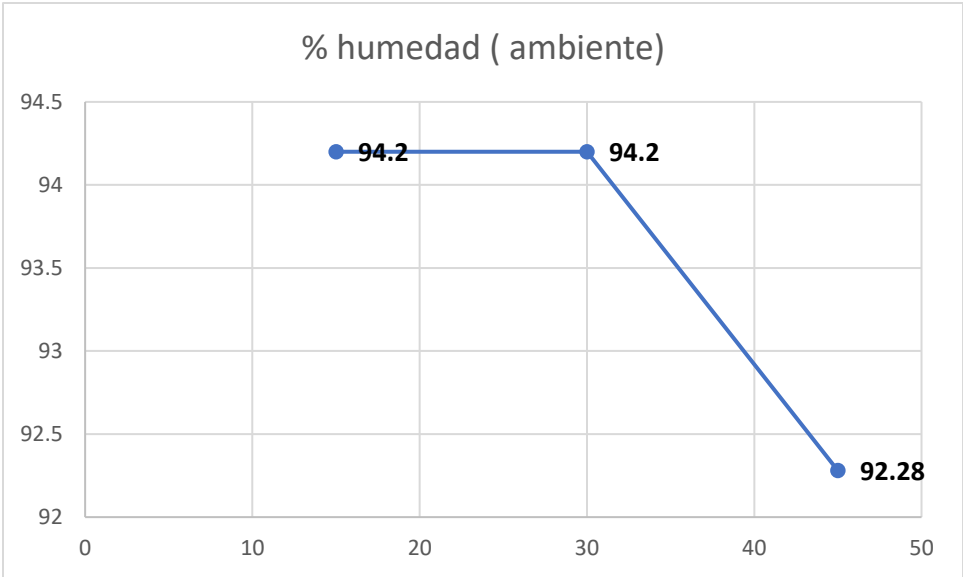
**Figura 37.**ácides tituable de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura ambiente (25°C)

A temperatura de refrigeración la ácidos titulable se comportó de manera constante y respetando el valor de referencia. (Figura 28)



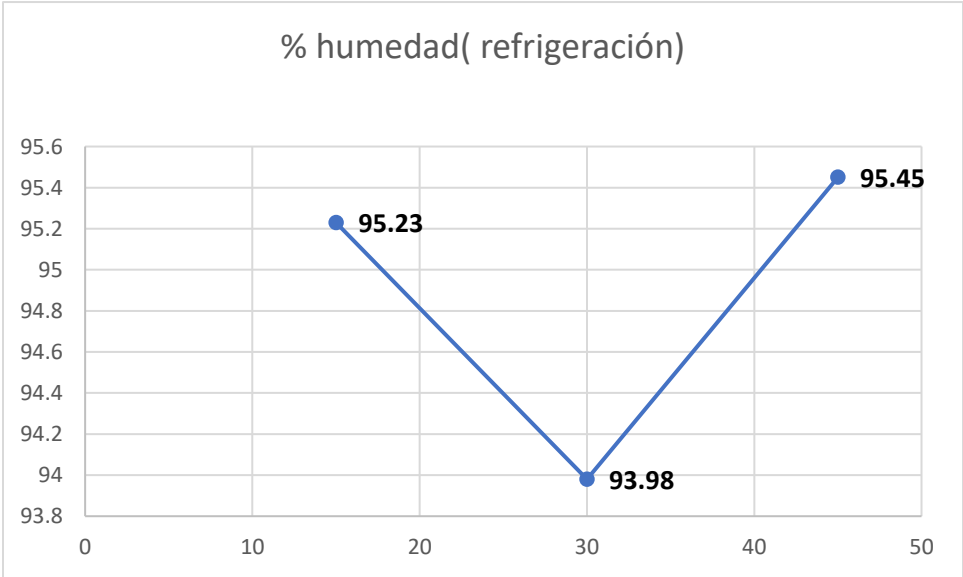
**Figura 38.** ácidos titulable de los jitomates irradiados a 6 minutos por 45 días a temperatura de refrigeración (4°C)

En la variable de % de humedad de los jitomates con irradiación de 6 minutos a temperatura ambiente dio como resultado la disminución conforme pasaban los días, sin embargo, todos los datos se encuentran dentro de los rangos establecidos como se muestra en la figura 29



**Figura 39.** % de humedad de los jitomates irradiados a 6 minutos en 45 días a temperatura ambiente ( 25°C)

Sin embargo, en la figura 30 podemos observar que el % de humedad disminuyo y posteriormente aumento los últimos 15 días, esto es debido a que se encontraba en refrigeración ya que puede aumentar la humedad relativa del aire.






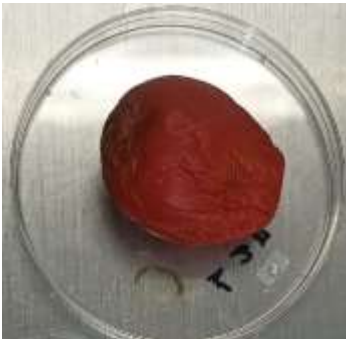


**Figura 40.** % de humedad de los jitomates irradiados a 6 minutos en 45 días a temperatura de refrigeración (4°C)

Analizando todos los datos anteriores se concluyó que el mejor método de conservación es la de refrigeración así mismo se pudo observar que después de 30 días se tiene los valores más apegados a los que se tiene en la bibliografía.

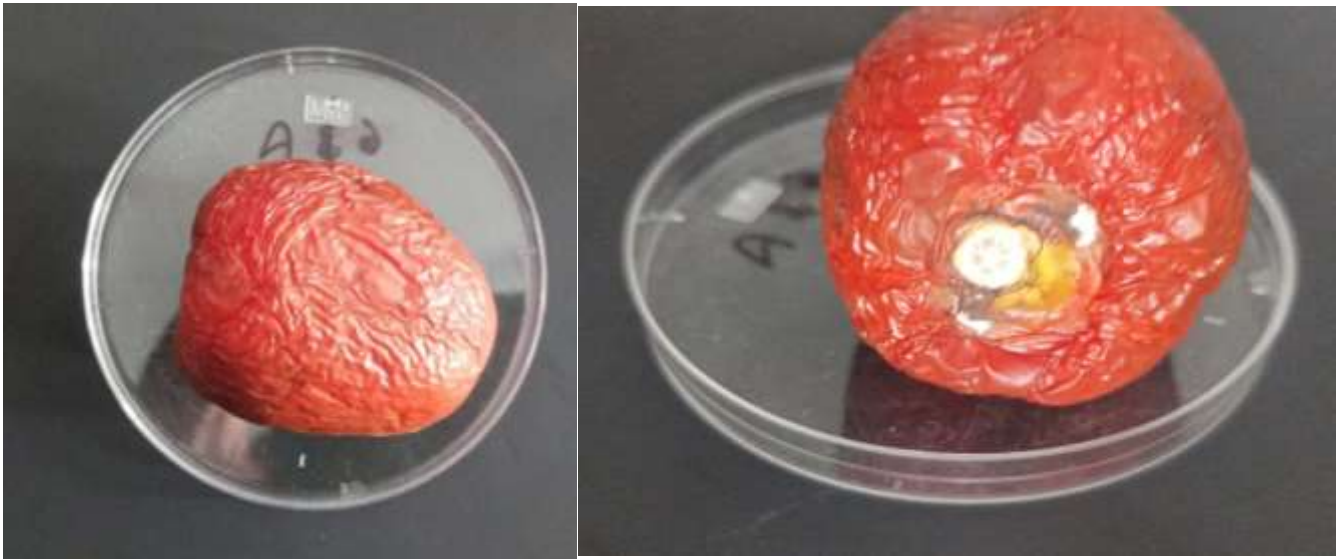
A continuación, en la tabla 0.0 se puede observar la evolución de los jitomates conforme pasan los días, observando que en ambiente la calidad del producto no es el adecuado. Analizando que al exponer los jitomates a ambiente van perdiendo textura debido han que han perdido agua, al contrario de los que se encontraban en refrigeración en la que aún conservan su textura. Sin embargo, aquí podemos observar que aunque haya perdido cierta calidad el producto no se desarrolló ningún hongo. Observando que el día adecuado es a los 30 días, tomando en cuenta que McGarry, J. (2013, abril) dice que los jitomates maduros suelen mantenerse de 2 a 3 días en el refrigerador.

**Tabla 7. Evolución de los jitomates irradiados a 6 minutos**

|                     | 15 días   | 30 días   | 45 días   |
|---------------------|---|---|---|
| Ambiente (25°C)     |  |  |   |
| Refrigeración (4°C) |  |  |  |

#### 10.4. Análisis microbiológico.

En esta ocasión solo se evaluaron los testigos de ambiente (25°C) y de refrigeración (4°C) de los jitomates que se irradiaron a 6 minutos.



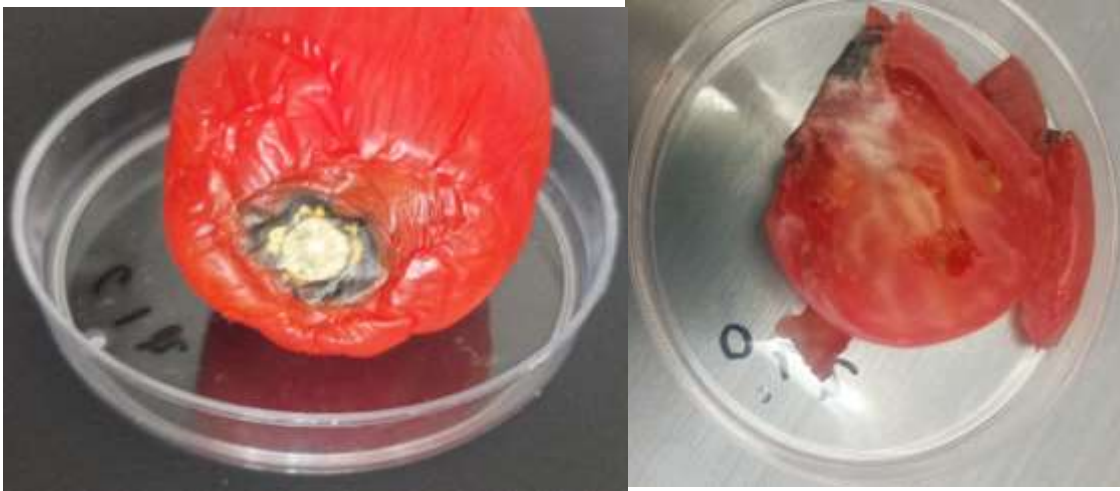
**Figura 41.** Jitomate sin irradiación a temperatura ambiente (25°C).

Cuando se estaba cortando el jitomate para hacer la prueba pertinente se puede observar presencia de hongo, como se muestra en la figura 32



**Figura 42.** Jitomate a temperatura ambiente (25°C) cortado.

El jitomate que estaba en refrigeración también se encontraba en descomposición, como se observa en la figura 33.



**Figura 43.** Jitomate testigo a temperatura de refrigeración (4°C)

Los resultados obtenidos fueron que para el jitomate a temperatura ambiente (25° C) fueron de >250 UFC/g en caldo dextrosa Sabouraud por 48 horas a 25°C y para temperatura de refrigeración (4 °C) es de >250 UFC/g en caldo dextrosa Sabouraud por 48 horas a 25°C.

#### **10.4.1. Células viables.**

Se inoculo *Rhizopus sp.*, en donde se logró inactivar después de 6 minutos de irradiación a una dosis de 0.473 J/cm<sup>2</sup>. En la figura 34 podemos observar el efecto de la irradiación UV-C en el conteo de células viables por extendido en placa.



De acuerdo con los resultados obtenidos los jitomates sin tratamiento UV-C presentan mayor crecimiento de hongos lo que puede llegar a ser un riesgo latente a la salud del consumidor.

En la actualidad, no hay una regulación específica que establezca las condiciones para el uso de la radiación UV-C. La implementación de esta tecnología va a variar por varios factores como son los equipos disponibles, las condiciones experimentales empleadas en la variedad de sustratos analizados.

Finalmente, los estudios sobre la inactivación microbiana en jitomates tratados con luz UV-C destacan los aspectos más relevantes para que esta tecnología pueda adoptarse de manera eficiente en la industria.

## CAPITULO 11. CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis y discusiones de los resultados obtenidos y tomando en cuenta los objetivos de esta investigación, se dan a conocer las siguientes conclusiones.

- El tiempo óptimo de tratamiento UV-C para el jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) es de 6 minutos con una dosis de  $0.473 \text{ J/cm}^2$ .
- La distancia óptima entre la fuente de radiación y el jitomate es de 20 cm.
- Las condiciones óptimas de almacenamiento es la de refrigeración a  $4^\circ\text{C}$ .
- La vida útil de los jitomates por la luz UV-C es de 30 días.
- Se concluye que la aplicación de esta tecnología es útil para prolongar la vida útil de los jitomates sin alterar su composición química, aunque se pudo observar que la textura tuvo un ligero cambio

## BIBLIOGRAFIA

1. Alvarado, J., Hernández J., (2005) características físico-químicas de las variedades de tomate bola y saladett y cultivares criollos tipo riño[ Tesis de ingeniero Agroindustrial]Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
2. Arenas Diaz, V. J., & Cubas Tapia, Y. (2023). Efecto de radiación UV-C en la reducción del crecimiento de *Lasioidiplodia* sp., en la postcosecha de *Vitis vinifera*.
3. Bartz, J. A., Vallad, G. E., & Sargent, S. A. (2021). Guide to identifying and controlling postharvest tomato diseases in Florida. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences.
4. Bayer Vegetables. (s.f.). Los tres principales tipos de tomate en México y sus diferencias. Recuperado de <https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/recursos/noticias/los-tres-principales-tipos-de-tomate-en-mexico-y-sus-diferencias.html>
5. Basso, N., Brkic, M., Moreno, C., Pouiller, P., & Romero, A. (2016.). Valoremos los alimentos, evitemos pérdidas y desperdicios. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73372016000200004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372016000200004)
6. Borguini, R. G., & Ferraz da Silva Torres, E. A. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food Reviews International*.
7. Cabrera, A. (2017). “Evaluación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad festival mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C)”( Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
8. Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta, Argentina.
9. Cote Daza, S. (2020). Evaluación del uso de la radiación ultravioleta C (UV-C) en la conservación de frutas y hortalizas frescas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de <https://lipa.multisitio.sedici.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Tesis-de-Maestr%C3%ADa-Sandra-Cote-Daza.pdf>
10. FAO. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Roma: Alcance, causas y prevención.

11. Feldsine, G., Abeyta, C., & Andrews, W. H. (2002). AOAC INTERNATIONAL Methods Committee Guidelines for Validation of Qualitative and Quantitative Food Microbiological Official Methods of Analysis, *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, Volume 85, Issue 5, 1187–1200.
12. Fuentes, A., Fuentes, G. (2023). Costos de producción y comercialización de jitomate (*Solanum Lycopersicum L.*) bajo condiciones de invernadero en San diego, Texcoco, Estado de México.
13. González-Cebrino, F., Lozano, M., Ayuso, M. C., Bernalte, M. C., VidalAragon, M. C., & Gonzalez-Gomez, D. (2011). Characterization of traditional tomato varieties grown in organic conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2): 444-452.
14. Gómez, Paula Luisina. (2010). Procesamiento mínimo de manzana: efecto de la radiación UV-C y la luz pulsada de alta intensidad sobre la calidad. (Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires). Recuperado de [https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n4603\\_Gomez](https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4603_Gomez)
15. Guarro, J. (2011). “Enfermedades infecciosas y microbiología clínica”. Elsevier. Recuperado de: <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-pdf-S0213005X11003016>
16. Jaramillo N., J. E. (2001). El manejo agronómico de cultivos como herramienta de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades tendientes a la producción limpia de hortaliza. En: *Hortalizas: plagas y enfermedades. Compendio de eventos 1*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria —Corpoica—. Sociedad Colombiana Entomológica —Socolen—. pp. 5-21.
17. Kader, A. A. (Ed.). (2011). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. UCANR Publications.
18. López, J. M., Díaz, M. E., Santana, F., & Rodríguez, M. R. (2007). *Tomate: Cosecha y manejo postcosecha*. Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola. <https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/TOMATE-Cosecha-y-Manejo-Postcosecha-v2007.pdf>
19. Martínez, M., Pérez, F., & Salazar, V. (2011). "Tecnologías emergentes en el tratamiento de alimentos: Radiación ultravioleta en la postcosecha de hortalizas."

20. McGarry, J. (2013, abril). Tomates: Cómo almacenarlos y conservarlos correctamente. Michigan State University Extension. Recuperado de <https://www.canr.msu.edu/uploads/236/64986/Tomates.pdf>
21. Millán Villarroel, Dionelys, Romero González, Lucía, Brito, Marbella, & Ramos-Villarroel, Ana Yndira. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *Saber*, 27(3), 454-469. Recuperado en 18 de junio de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&tlng=es).
22. Montes, A. (2018). “Efecto del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante de jugos y néctares” ( Tesina de especialista, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
23. Monzón, C. (2016). Evaluación del rendimiento de tomate de crecimiento indeterminado (*Lycopersicon esculentum* mill) de variedades híbridos utilizando abonos fermentados de gallinaza y cuyaza – [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Tecnológica de los Andes]Repositorio digital institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes. Recuperado de: <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/29>
24. Notario-Medellín, C. M., & Sosa-Morales, M. E. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.): aporte nutrimental, enfermedades post cosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. *Temas selectos de la Ingeniería en Alimentos*
25. NOM, N. O. (1994). 092-SSA1-1994. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
26. NOM, N. O. (1994). 110-SSA1-1994. Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico. NOM, N. O. (1994). 111-SSA1-1994. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
27. Paez, V., Barrett, W. B., Deng, X., Diaz-Amigo, C., Fiedler, K., Fuerer, C., Hostetler, G. L., Johnson, P., Joseph, G., Konings, E. J. M., Lacorn, M., Lawry, J., Liu, H., Marceau, E., Mastovska, K., Monteroso, L., Pan, S.-J., Parker, C., Phillips, M. M., ... Coates, S. G. (2016). *Aoac smpr*® 2016.002. *Journal of AOAC International*, 99(4), 1122–1124.
28. Potter, N., & Hotchkiss, J. (2007). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, S.A.

29. Prats, G. (2005). Características generales de los hongos e infecciones sistémicas y oportunistas de las micosis tropicales. En F. Gómez Daza (Ed), Módulo 5 (pp. 3). Editorial Medical Panamericana.
30. Rivas, L. M., & Mühlhauser, M. (2014). *Alternaria* spp. Revista chilena de infectología.
31. Rossi, L., Watson, D., Escandarani, S., Miranda, A., & Troncoso, A. (2009). Radiación en la mesa. Revista Chilena de Infectología, 26(4), 318-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182009000500003>
32. Sánchez, J. M. (2020). "Aplicación de luz ultravioleta C en la postcosecha de jitomates para mejorar su vida útil."
33. Sañido, B., Contreras, M. (2014). Adelanto y retraso de la maduración de tomates con etileno y 1-MCP. Poscosecha. <https://www.poscosecha.com/biblioteca/publicaciones/adelanto-y-retraso-de-la-maduracion-de-tomates-con-etileno-y-1-mcp>
34. Trujillo, V., & Antonio, D. (s/f). "Aplicación de radiación UV-C como tratamiento postcosecha en hongos tipo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Edu.ec."( Tesis de licenciatura, Universidad de las fuerzas Armadas De Ecuador) Repositorio Institucional Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
35. Vásquez, M., & González, R. (2019). "Efectos de la irradiación ultravioleta sobre la calidad postcosecha del tomate."
36. Villagrán Padilla, C. L., Zenteno Díaz, D., Meneses Sánchez, M., & Escobedo López, A. B. (2015). Atlas digital de Micología: "Hongos Contaminantes". Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ciencias Químicas. Dirección de Fomento Editorial. Puebla, México.
37. Zepeda, L., & Gómez, A. (2011). Postcosecha de Tomates. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Postcosecha\\_de\\_tomates](https://www.ecured.cu/Postcosecha_de_tomates)