



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

CAMBIOS POSTCOSECHA EN GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) SOMETIDA A IRRADIACIÓN EN MÉXICO

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA



APROBADA



Presenta:

TANIA ANGELINA PÉREZ GONZÁLEZ

Bajo la supervisión de: Arturo Hernández Montes, Dr.



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2024

CAMBIOS POSTCOSECHA EN GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) SOMETIDA A IRRADIACIÓN EN MÉXICO.

Tesis realizada por **TANIA ANGELINA PÉREZ GONZÁLEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor Indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR:


Dr. Arturo Hernández Montes

ASESOR:


Dr. José Joel Enrique Corrales García

ASESOR:


Dr. Teodoro Espinosa Solares

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	X
DATOS BIOGRÁFICOS.....	XI
RESUMEN GENERAL.....	XII
GENERAL ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 La importancia de la irradiación en alimentos.....	8
2.1.2 Objetivos de la irradiación en alimentos	11
2.1.3 Fundamento de la irradiación.	13
2.1.4 Requisitos para una planta de irradiación de Cobalto-60.	18
2.1.5 Dosis de Irradiación adecuados.....	20
2.1.6 Aplicación de irradiación en frutas	25
2.2 Marco de referencia	32
2.2.1 Producción de Guanábana en México	32
2.3 Literatura citada.....	40
3. CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS Y FISIOLÓGICOS EN GUANÁBANA DESPUÉS DE RECIBIR DIFERENTES TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN	52
Resumen.....	52

Abstract	53
3.1 Introducción.....	54
3.2 Materiales y métodos	56
3.2.1 Material vegetativo.....	56
3.2.2 Irradiación del material de estudio	57
3.2.3 Planta comercial	57
3.2.4 Variables de respuesta	58
3.2.5 Diseño experimental	62
3.3 Resultados y discusión.....	66
3.3.1 Cambios en variables fisicoquímicas.....	66
3.2.2 Cambios en variables fisiológicas.....	73
3.3 Conclusiones.....	90
3.4 Literatura citada.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de energías. Tomada de Adilené (2017).	15
Figura 2. Procesos de interacción fotónicas. 1.Dispersión coherente. 2. Efecto fotoeléctrico. 3. Efecto Compton. 4. Producción par de electrones. Tomada de Reyes (2023).	16
Figura 3. Esquema de desintegración del Cobalto-60. Tomada de Piedra (2019).	17
Figura 4. Irradiador gamma. Tomada de OIEA (2017).....	19
Figura 5. Investigaciones de las principales frutas con tratamiento a base de irradiación. Elaboración propia con datos de (IDCT, 2024)	26
Figura 6. Frutas irradiadas en México. Tomado de SENASICA (2015).	30
Figura 7. Solidos Solubles Totales en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	69
Figura 8. pH en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.	70
Figura 9. Acidez titulable en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	71
Figura 10. Ácido ascórbico en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	72
Figura 11. Peso en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	75
Figura 12. Pérdida de peso en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	76
Figura 13. Firmeza en cáscara y pulpa en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.	78
Figura 14. Patrón respiratorio en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	80

Figura 15. Etileno en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	81
Figura 16. Luminosidad en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	84
Figura 17. Índice de saturación en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	85
Figura 18. Ángulo de tono (°) en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.....	86
Figura 19. Cambio de color en guanábana después de ser irradiada diferentes dosis primera fase.....	88
Figura 20. Cambio de color en guanábana después de ser irradiada diferentes dosis segunda fase.	89
Figura 21. Guanábana tratada a 150, 400 y 852 Gy.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Dosis sugeridas en la irradiación de alimentos según el propósito. .	22
Cuadro 2. Dosis de irradiación como tratamiento fitosanitario para frutos intestados con moscas de la fruta.....	23
Cuadro 3. Atributos de calidad expuestos después de recibir el tratamiento de Irradiación.	27
Cuadro 4. Clasificación taxonómica de la Guanábana.	32
Cuadro 5. Composición química de la Guanábana.....	36
Cuadro 6. Efecto de las diferentes dosis de irradiación en las variables fisicoquímicas a los seis días de almacenamiento en la fase uno.	66
Cuadro 7. Efecto de las diferentes dosis de irradiación en las variables fisicoquímicas a los seis días de almacenamiento en la fase dos.	66
Cuadro 8. Efecto en las variables fisicoquímicas por día durante los días de almacenamiento en la fase uno.	67
Cuadro 9. Efecto en las variables fisicoquímicas por día en la fase dos durante los días de almacenamiento.	67
Cuadro 10. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase uno a los seis días de almacenamiento.	73
Cuadro 11. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase dos a los seis días de almacenamiento.	73
Cuadro 12. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase uno en los días de almacenamiento.	74
Cuadro 13. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase dos en los días de almacenamiento.....	74

Cuadro 14. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en ambas fases a los seis días de almacenamiento.	75
Cuadro 15. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en las primera fase a los seis días de almacenamiento.	82
Cuadro 16. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la segunda fase a los seis días de almacenamiento.	82
Cuadro 17. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la primera fase a los seis días de almacenamiento.	83
Cuadro 18. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la segunda fase a los seis días de almacenamiento.	83

DEDICATORIAS

A mi madre por ser la mujer más valiente, por su esfuerzo y dedicación, por siempre cuidarme y darme su amor incondicional. Eres mi motivación y mi fuerza.

A mis hermanos por su inspiración y sus consejos.

A mi familia y amigos por su apoyo.

A mis maestros por sus enseñanzas.

Y a todos los que me han acompañado con su amistad, con sus consejos y con sus sonrisas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado durante la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, que me formó académicamente.

A mis familiares y amigos, por su apoyo y amistad durante esta fase.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por su apoyo, paciencia asesoría y conocimientos compartidos durante esta investigación. Gracias por sus enseñanzas.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Tania Angelina Pérez González

Fecha de nacimiento: 09 de febrero de 1995

Lugar de nacimiento: Motozintla de Mendoza, Chiapas, México

CURP: PEGT950209MCSRNN09

Profesión: Licenciada en Comercio Internacional

Cédula profesional: 12947061

Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: División de Ciencias Económico Administrativas. Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

CAMBIOS POSCOSECHA EN GUANABANA (*Annona muricata* L.)

SOMETIDO A IRRADIACIÓN EN MÉXICO

En los últimos años México se ha posicionado en los primeros lugares de producción de guanábana (*Annona muricata* L.) a nivel mundial, debido a sus propiedades nutricionales favorables para la salud, ha incrementado su demanda a nivel internacional ya que es una planta rica en fibra, minerales, compuestos bioactivos compuestos fenólicos, alcaloides y acetogeninas, que se pueden utilizar para preparar bebidas funcionales. El objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes dosis de irradiación en guanábanas cosechadas en Nayarit, para asegurar calidad fitosanitaria para exportación. Con ese propósito, se realizó un diseño experimental de parcelas divididas, en la primera fase del experimento se evaluaron cuatro tratamientos (0, 435, 852 y 1311 Gy) con cinco repeticiones en una instalación comercial, para la segunda fase de irradiación se ensayaron tres tratamientos (0, 150 y 400 Gy) con tres repeticiones utilizando un irradiador de laboratorio, en ambos casos la guanábana se almacenó por seis días a 24 ± 1.5 °C y $85 \pm 5\%$ de humedad relativa. Las variables respuesta fueron porcentaje de sólidos solubles totales, pH, ácido ascórbico, peso, pérdida de peso, color, acidez titulable, firmeza, respiración y etileno. La medición de las variables respuesta se realizó cada 24 horas. Los frutos irradiados a mayor dosis (1311 Gy) mostraron mayor pérdida de peso, mayor firmeza en cáscara y pulpa, sin embargo, presentaron menor acidez titulable. A menor dosis (150- 435 Gy) presentaron mayor acidez titulable, mayor respiración, y menor pérdida de peso. En general los tratamientos de irradiación con mayores dosis redujeron la tasa de respiración de los frutos y mantuvieron la firmeza en cáscara y pulpa. Las dosis de 150 a 1311 Gy no afectaron el porcentaje de sólidos solubles totales y ácido ascórbico, en ambas fases.

Palabras clave: *Annona muricata*, irradiación, poscosecha.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Tania Angelina Pérez González.

Director de Tesis: Arturo Hernández Montes, Dr.

GENERAL ABSTRACT

POST-HARVEST CHANGES IN SOURSOP (*Annona muricata* L.) SUBJECTED TO IRRADIATION IN MEXICO.

In recent years Mexico has positioned itself in the first places in the production of soursop (*Annona muricata* L.) worldwide due to its nutritional properties favorable to health, it has increased demand internationally because it is a plant rich in fiber, minerals, bioactive compounds, phenolic compounds, alkaloids and acetogenins, which can be used to prepare functional beverages. The objective of this research was to evaluate different doses of irradiation in soursop harvested in Nayarit to ensure phytosanitary quality for export. In the first phase of the experiment, four treatments (0, 435, 852 and 1311 Gy) with five replicates were evaluated in a commercial facility. For the second irradiation phase, three treatments (0, 150 and 400 Gy) with three replicates were tested using a laboratory irradiator. In both cases, the soursop was stored for six days at 24 ± 1.5 °C and $85 \pm 5\%$ relative humidity. The response variables were percentage of total soluble solids, pH, ascorbic acid, weight, weight loss, color, titratable acidity, firmness, respiration and ethylene. The measurement of the response variables was made every 24 hours. Fruit irradiated at a higher dose (1311 Gy) showed greater weight loss, greater firmness in peel and pulp, but lower titratable acidity. At lower doses (150-435 Gy) they showed higher titratable acidity, higher respiration and lower weight loss. In general, irradiation treatments with higher doses reduced the fruit respiration rate and maintained firmness in peel and pulp. Doses from 150 to 1311 Gy did not affect the percentage of total soluble solids and ascorbic acid in both phases.

Keywords: *Annona muricata*, irradiation, postharvest.

Thesis of Master Science Program of Agro-Food Science and Technology, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Tania Angelina Pérez González.

Thesis advisor: Arturo Hernández Montes, Ph.D

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Ante la necesidad de consumir alimentos libres de plagas y enfermedades el ser humano ha buscado el desarrollo y uso de tecnologías que ayuden a incrementar la vida postcosecha de los productos de origen agrícola. Esto también es útil en la exportación de estos productos, ya que cada vez se vuelve más complicado ofrecer un alimento inocuo a diferentes países debido a los estándares y normativas que se deben cumplir, así como la tecnología disponible, las diversas cadenas de traslado y la vulnerabilidad de cada fruto. Es por esto por lo que la búsqueda de los tratamientos óptimos para cada tipo de alimento es necesario, ya que tomando en cuenta que México, por su diversidad de ecosistemas, le es posible exportar diversas especies de frutos, entre ellos, la guanábana (SIAP, 2023)

El tratamiento por irradiación tiene la capacidad de retrasar la maduración, inhibir la germinación, controlar el deterioro ocasionado por microorganismos y evitar la propagación de plagas, no incrementa la temperatura, está libre de residuos nocivos y además también se puede aplicar en alimentos empacados lo que reduce las posibilidades de recontaminación. Todos estos beneficios han llevado a que esta técnica se emplee como un tratamiento cuarentenario para productos frescos, impidiendo que los microorganismos presentes se reproduzcan (OIEA, 2017).

Cada país cuenta con un porcentaje elevado de rechazo en alimentos, siendo las principales causas presencia de restos de plaguicidas, plagas o microorganismos. La mayoría de los rechazos alimentarios se deben a que los consumidores exigen productos libres de residuos químicos por razones de

salud y también ambientales, lo que ha motivado el desarrollo de métodos físicos como tratamientos fitosanitarios que son muy importantes en la poscosecha.

Se brinda principal atención a los productos que son de origen vegetal ya que, estos deben estar regulados y cumplir con algunos requisitos fitosanitarios para su correcta importación, exportación o movilización en general ya sea nacional o internacional, uno de estos requisitos es la aplicación de tratamientos, como la fumigación, desinfección y desinsectación mediante nebulización o aspersión de químicos; aire caliente forzado, métodos hidrotérmicos, frío e irradiación (FAO/CIPF, 2016).

La exposición de un alimento a altas temperaturas (Como en la pasteurización y esterilización) reduce su carga de microorganismos, sin embargo, también existen cambios no deseados, como pérdida de los componentes nutricionales, cambios sensoriales como en la textura, aroma, color, sabor, entre otros que pueden ocasionar un rechazo en los consumidores (Ekonomou & Boziaris, 2021; Pereira & Vicente, 2010)

En el campo de las tecnologías emergentes, como la aplicación de ultrasonido, altas presiones, campos electromagnéticos, la aplicación de irradiación se ha vuelto popular al no hacer uso de calor y su eficiencia al inactivar microorganismos con una alteración mínima en las características sensoriales y nutricionales (Jadhav et al., 2021).

La irradiación se ha convertido en una de las técnicas exitosas para conservar alimentos con un cambio mínimo en las propiedades funcionales, nutricionales y sensoriales de los productos alimenticios. Este procesamiento de alimentos implica aplicaciones controladas de energía de radiaciones ionizantes como rayos gamma, rayos X y haz de electrones (e-beam) para la conservación de alimentos. Por lo tanto, el desarrollo de métodos analíticos para la identificación correcta de muestras irradiadas a partir de muestras no irradiadas se ha vuelto importante para mantener los controles regulatorios, verificar el cumplimiento de

los requisitos de etiquetado, facilitar el comercio internacional y reforzar la confianza de los consumidores (Chauhan et al., 2009)

Las normas de irradiación pueden variar de acuerdo con el país donde se desee comercializar, a veces pueden ser tan rigurosas que su implementación suele ser inviable, además de que existe mucha especulación sin fundamento por parte de los consumidores, por lo que la investigación sobre los efectos, beneficiosos o no, de la irradiación es indispensable, todo esto para que se garantice la inocuidad y calidad de alimentos destinados al consumo humano y la implementación de los principios generales de higiene de los alimentos del Codex Alimentarius (FAO/OMS, 2003).

La irradiación como tratamiento de conservación de alimentos no es nueva en México, pues ya se ha implementado desde hace algunos años. Sin embargo, su aplicación en frutas es relativamente reciente, lo que resalta la importancia de divulgar esta tecnología con base en casos de éxito en diversos frutos irradiados a distintas dosis. Para los productores interesados en exportar, sería especialmente útil informarles sobre esta tecnología y los productos que ya pueden irradiarse. México cuenta con una gran variedad de frutas y especies exóticas, muy valoradas en numerosos países con capacidad adquisitiva para ofrecer un bono extra al productor. Esta ventaja competitiva, junto con nuestros acuerdos y rutas comerciales, representa una oportunidad significativa para posicionarnos como socios líderes en la exportación de frutos frescos e inocuos (IMPI, 2021).

La Administración de Medicamentos y Alimentos de EE. UU. (FDA) es la entidad responsable de regular las fuentes de radiación utilizadas para irradiar alimentos destinados a la exportación hacia ese país (FDA, 2022). En México, el Plan de Trabajo Operativo, implementado en 2007, estableció las responsabilidades de la Dirección General de Sanidad Vegetal y del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, junto con modificaciones a la NOM-022-FITO-1995, para incluir la irradiación como tratamiento fitosanitario. Desde entonces, el número de

variedades de frutas tropicales irradiadas ha crecido, permitiendo su exportación a destinos como Estados Unidos, Canadá, India, Nueva Zelanda, Vietnam y Malasia.

Actualmente, algunos productores de México comercializan productos tropicales como mango, carambola, chile manzano, granada, higo, cítricos dulces, guayaba, pitaya y pitahaya tratados con irradiación, y en los últimos años las entidades correspondientes están trabajando para ampliar el catálogo a otras variedades de productos como mamey, ciruela, chicozapote y guanábana. (DGSV,2015)

Debido a la demanda de frutas tropicales mexicanas en el mercado estadounidense, se inició un proyecto de investigación que incluyó un estudio de mercado en la Central de Abastos de Los Ángeles, California, uno de los mercados más grandes del mundo. Este estudio reveló una fuerte demanda de frutas tropicales de México; sin embargo, las restricciones fitosanitarias actuales limitan su comercialización. A partir de esta conclusión surgió la iniciativa de investigar la irradiación como tratamiento para facilitar la exportación de frutas con alta demanda. Entre los frutos con mayor potencial se encuentra la guanábana, que destaca por su alta disponibilidad de producción en México.

La guanábana (*Annona muricata* L.), de las especies de *Annona*, es el árbol frutal más cultivado, principalmente en regiones de Sudamérica. Debido a su sabor exótico, su comercialización ha aumentado ampliamente en Europa y Norte América. México es el mayor productor y consumidor de guanábana, este fruto tiene un alto potencial en el mercado de los productos tropicales, por ser menos estacional, sin embargo, como un fruto fresco es un producto muy perecedero, por lo que para su comercialización debe cumplir estándares de calidad adecuados (Innovatione, 2023)

La investigación está formada por 2 capítulos, el primer capítulo es una introducción a la irradiación en alimentos, normativas, dosis permitidas y frutos que actualmente se irradian en México. En el segundo capítulo se presentan los resultados de la irradiación de guanábana en dos fases diferentes la primera fue

en una planta de irradiación comercial y la segunda en un laboratorio de investigación en México a diferentes dosis.

El presente trabajo se realizó con los siguientes Objetivos:

Objetivo general:

- Analizar los cambios poscosecha en guanábana después de ser tratada mediante procesos de irradiación a diferentes dosis.

Objetivos específicos:

- Determinar los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de la guanábana después de recibir el tratamiento de irradiación en dos fases a diferentes dosis.
- Identificar si existen cambios significativos en las variables respuesta, según las dosis mayores y menores a las que fueron sometidas en comparación con la muestra testigo.
- Evaluar los resultados del proceso de irradiación discutiendo las dosis de tratamiento adecuadas de irradiación para los frutos de guanábana.

Hipótesis

El proceso de irradiación como método de inocuidad en dosis menores no afecta significativamente la calidad del fruto, lo que permitirá mejorar la comercialización de la guanábana brindando oportunidad de ampliar sus rutas de exportación.

1.1 Literatura citada

- Chauhan, S. K., Kumar, R., Nadanasabapathy, S., & Bawa, A. S. (2009). Detection methods for irradiated foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 4–16.
- DGSV, SENASICA. Guillermo Santiago Martínez. (2015). México: Irradiación como medida fitosanitaria. DGSV, SENASICA.
- Ekonomou, S. I. & Boziaris, I. S. (2021). Non-thermal methods for ensuring the microbiological quality and safety of seafood. *Applied Sciences*, 11(2), 1-27. <https://doi.org/10.3390/app11020833>.
- FAO/ CIPF (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/ Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). (2016). NIMF 18 Directrices para utilizar la Irradiación como Medida Fitosanitaria. CIPF, Roma. 20 pp.
- FAO-ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, Norma General del Codex para los Alimentos Irradiados, CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003, FAO/OMS, Roma (2003).
- FDA (2022) La irradiación de alimentos: lo que usted debe saber. La irradiación de alimentos: lo que usted debe saber. (febrero,2022). FDA. Recuperado el 28 de enero de 2024 de <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/la-irradiacion-de-alimentos-lo-que-usted-debe-saber>.
- IMPI. (2021). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. México, *Clases de productos*, disponible en: <https://clasniza.impi.gob.mx/clases> ,última actualización: 27/10/2022.
- Innovatione (2023) Producción de guanábana. Producción de Guanábana. In agricultura, Curiosidades, Innovación, Nuevos alimentos. (marzo 1, 2023).

Innovatione. Recuperado el 28 de enero de 2024 de <https://innovatione.eu/2023/03/01/guanabana/>

Jadhav, H. B., Annapure, U. S. & Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal Technologies for Food Processing. *Frontiers in Nutrition*, **8**, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090>

OIEA. (Viena, 2017). Manual de buenas prácticas para la irradiación de alimentos. Aplicaciones sanitarias, fitosanitarias y de otro tipo.

Pereira RN, Vicente AA. Impacto ambiental de nuevas tecnologías térmicas y no térmicas en el procesamiento de alimentos. *Food Res Int.* (2010) 43:936– 43. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.013 3.

SIAP (2023). *Producción agrícola 2023*, Servicio de Información Agrícola y Pecuaria. disponible en <http://www.siap.org> , consulta 10/02/2024.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico

2.1.1 La importancia de la irradiación en alimentos

La irradiación de los alimentos ha sido identificada como una tecnología para reducir riesgo enfermedades transmitidas por alimentos. Es también, un instrumento que sirve de complemento a otros métodos para garantizar la inocuidad y prolongar la vida en anaquel en los alimentos al reducir la presencia de bacterias patógenas (OMS, 1995). Los productos perecederos que no cumplen con ciertos estándares de comercialización se etiquetan como subóptimos y, a menudo, se devalúan o se descartan, lo que reduce cuantitativamente la cantidad de alimentos disponibles para el consumo (Sharma et al. 2021). La irradiación emerge como un enfoque adecuado para hacer frente a los problemas que instigan la pérdida de alimentos, tanto cualitativa como cuantitativamente (Nishihira, 2020).

La irradiación de los alimentos se originó a mediados de los años cuarenta como una tecnología de seguridad alimentaria, ha sido estudiada desde entonces y cuenta con el respaldo de los principales organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y también la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Tras muchos años de investigación acerca del proceso y sus mecanismos se han ido elaborando una serie de normas, alrededor de más de 60 países cuentan con una normatividad que les admite el uso de irradiación en productos alimenticios (OIEA,2017).

A causa de la evolución de patógenos, cada país cuenta con un porcentaje elevado de rechazo en alimentos contaminados siendo las principales causas los plaguicidas y el registro de plagas o microorganismos presentes en los productos difíciles de eliminar. Los consumidores exigen productos libres de residuos químicos por razones principalmente de salud y ambientales, esto ha impulsado el interés del desarrollo en métodos físicos sostenibles como tratamientos fitosanitarios seguros de poscosecha (FAO/CIPF, 2016).

El Codex Alimentarius y la OMS han publicado documentos principales sobre la irradiación los cuales son fundamentales para conocer el funcionamiento y sus limitaciones; la Norma General del Codex para Alimentos Irradiados y el Código Internacional de Prácticas para el Tratamiento de los Alimentos por Irradiación, los cuales han servido de guía para inducir a los requisitos y estudios que debe de tener cada producto alimenticio para poder ser irradiado, ya que no todos son aptos debido a su composición fisicoquímica. (Codex Alimentarius, 2003)

Es importante analizar en cada producto y variedad, en particular para poder determinar las condiciones de aplicación y analizar los cambios en la calidad. La irradiación tiene valiosas ventajas como tratamiento fitosanitario, es un proceso que es adecuado para productos ya empacados, el tratamiento tiene una baja incidencia de daños hortofrutícolas, no hay registro de residuos y es un tratamiento rápido que no eleva la temperatura del fruto.

Asimismo, es un proceso que reduce los tiempos de traslado desde la cosecha hasta el anaquel, disminuyendo el riesgo de la presencia de plagas. (Barbosa-Cánovas y Bermúdez-Aguirre, 2010; Loaharanu, 2003)

La irradiación goza de una amplia aceptación en países desarrollados como tratamiento poscosecha. Los alimentos pueden ser irradiados para los siguientes propósitos: desinfectar alimentos, inactivar patógenos y en dosis altas puede esterilizar alimentos.

Se ha demostrado que la irradiación en alimentos no produce algún efecto nocivo para la salud y no modifica su valor nutricional. Una de las ventajas principales y más exitosas como tratamiento es poder extender la vida útil para algunos productos. (Dickson, 2001).

El tratamiento cuesta alrededor de 60 centavos de dólar por cada kg de fruta, en dosis de 150 a 400 Gy, lo cual es considerado rentable. Otras ventajas son; los tiempos de procesamiento cortos, la excelente penetración en los alimentos (lo cual la hace apta para las producciones a gran escala y en alimentos secos), es ecológica y de bajo costo energético, modifica mínimamente los nutrientes, el sabor, color y los atributos de calidad en los alimentos, así también las pérdidas que se han registrado son insignificantes o sutiles de compuestos bioactivos (Hernández-Hernández et al., 2019).

En el año 2003 se celebró el Primer Congreso Mundial en el cual se desarrollaron las siguientes conclusiones sobre Irradiación de Alimentos:

- La irradiación es un proceso alimentario admitido en el Codex Alimentarius, el cual debe considerarse como un proceso, y no como un aditivo.
- La irradiación como tratamiento fitosanitario ha logrado alcanzar una gran importancia, seguido de la reciente introducción de frutas irradiadas en Estados Unidos.
- Nuevos países, como México, Brasil y Chile, se están preparando para exportar fruta irradiada a causa de la aprobación del tratamiento fitosanitario de irradiación por la USDA/APHIS en el 2002.
- El aumento en las demandas por las autoridades fitosanitarias “De la granja a la mesa” sugiere hacer un esfuerzo para comunicar la eficacia del proceso de irradiación como tratamiento fitosanitario.

A medida que incrementa la viabilidad económica del proceso, incrementarán el número de instalaciones y de plantas especializadas, se prevé que en un futuro

predominen las fuentes mecánicas de irradiación como los aceleradores de electrones y máquinas de rayos X para uso en inocuidad (Ehling, 2010).

México es el séptimo exportador de productos agrícolas más grande del mundo y está liderando como país exportador de frutas irradiadas, estar libre de moscas de la fruta es muy importante. En años pasados, la mosca del Mediterráneo era una gran amenaza para la industria hortícola en México, es por lo que se han diseñado programas como la irradiación fitosanitaria y la irradiación con rayos gamma para esterilizar moscas en gran escala para detener y contener su propagación a lo largo de las fronteras (OIEA, 2022). La irradiación de alimentos es una tecnología no contaminante ya que, no utiliza productos químicos, reduce las pérdidas postcosecha de alimentos y el control de enfermedades provocadas por los alimentos. Este sería un tratamiento complementario que se ofrece como alternativa a las tradicionales fumigaciones químicas.

2.1.2 Objetivos de la irradiación en alimentos

Se comprende como irradiación de alimentos a la exposición de un producto a fuentes de irradiación ionizante con el fin reducir la carga microbiana. El uso de radiación ionizante para insectos que son de importancia cuarentenaria se basa en inhabilitar el insecto para no sobrevivir. Cada especie de patógenos tiene diferentes tiempos de desarrollo y crecimiento, por eso es importante verificar el efecto de la radiación en función de la biología y de la edad de cada especie (Hallman y Loaharanu, 2002).

El impacto de la irradiación en organismos vivos es impedir la división celular, cuando la irradiación pasa a través del integumento de los microorganismos, interacciona con las moléculas formando iones, que se descomponen rápidamente. Las fuentes de irradiación ionizante utilizadas son a través de isótopos de Cobalto-60, donde el poder de penetración de la radiación gamma es la necesaria, para que en la materia en forma de fotones posibilite su uso como un tratamiento fitosanitario para frutos de tipo y tamaños diferentes (Montoya & Toledo, 2020)

Entre sus ventajas principales se encuentran el ahorro de energía, que es un proceso que se puede controlar fácil y que no deja desechos. La radiación ionizante (electrones, rayos gamma y rayos X) y la radiación no ionizante (rayos UV) han sido utilizadas comúnmente en los alimentos. El efecto de la irradiación en dosis comunes, se pueden comparar al calor de una pasteurización, es una de las tecnologías más reguladas para alimentos y dentro de sus varias ventajas se encuentra que es un tratamiento apto para alimentos termosensibles (Rossi et al., 2009)

La irradiación de muchos alimentos de acuerdo con las normas fitosanitarias y un protocolo validado no tienen que cambiar significativamente el sabor, la textura o la apariencia, debido a que se usan dosis menores, sin embargo, se ha registrado que en algunos alimentos tratados con irradiación pueden tener un sabor ligeramente diferente (Ehling, 2010). Para la FDA las medidas sanitarias de irradiación tienen como principales objetivos las aplicaciones basadas en:

- Prevención de enfermedades transmitidas por alimentos: eliminando de forma efectiva los organismos que producen enfermedades como como *Salmonella* y *Escherichia coli* (*E. coli*).
- Conservación: usado para destruir e inactivar organismos que producen la descomposición y poder extender la vida de anaquel de los alimentos.
- Control de insectos: Se usan para destruir insectos desde el interior y en la superficie de frutas tropicales importadas.
- Esterilización: usada para que los alimentos se puedan almacenar por años, sin refrigeración. Estos alimentos esterilizados se usan principalmente en hospitales para pacientes con sistemas inmunológicos gravemente dañados como los pacientes con un sistema inmune comprometido o que están sometidos a quimioterapia.

Otras se basan en los efectos en la parte fisiológica de la irradiación en el material vegetal:

- Inhibición de la germinación en frutas y verduras
- Retraso de la senescencia
- Retraso en la maduración

Estos atributos constituyen la irradiación como un activo potente para alargar la vida útil de los productos hortícolas y, en consecuencia, prevenir el desperdicio y las pérdidas económicas (Rodrigues et al., 2021).

2.1.3 Fundamento de la irradiación.

El efecto de la irradiación sobre cada materia es ionizar los átomos que encuentren a su alcance, esta radiación ionizante puede provenir de varias fuentes (Núñez, 2011).

El proceso de la radiación térmica es la propagación de energía interna de una sustancia emitida por ondas electromagnéticas detonando la energía emitida por la materia debido a un cambio en la configuración electrónica de los átomos presentes (Camaraza, 2020). El alimento irradiado con radiación ionizante se denomina “alimento irradiado”, al irradiar un alimento cualquiera con energías aprobadas para ello, no hace al alimento radiactivo, el término correcto es “irradiado”, es decir, tras la irradiación de un alimento, este no puede emitir radiación (Kobayashi, 2018).

De acuerdo con Medina et al. (2002) en las radiaciones según la energía que poseen se pueden clasificar en radiaciones ionizantes y en radiaciones no ionizantes. La radiación ionizante es aquella radiación con energía de alta intensidad que tiene la capacidad de ionizar los electrones de los átomos, siendo la ionización el proceso por el cual un electrón del orbital interno o externo de mayor energía es removido donde se encontraba, por lo que la molécula o átomo queda cargado positivamente y el electrón queda libre. En cambio, la radiación no ionizante son ondas electromagnéticas de baja frecuencia, cuya energía

(<12.4 eV) no posee la capacidad de arrancar electrones del átomo y por lo tanto no causar ionización (Was, 2007). En particular, la radiación ionizante con longitudes de onda extremadamente cortas y de mayor intensidad es un sistema eficaz. Debido a su alta energía disponible, son potentes para cambiar los átomos por eliminación de electrones para formar un ion (pero no tan alto como para dividir átomos). Esto autoriza su utilización para diferentes operaciones de proceso en el ámbito agroalimentario (Shahi et al., 2021)

Se considera en la Norma del Codex para el tratamiento de alimentos con radiación ionizante los siguientes tipos:

- a) Rayos gamma generados de los radionucleidos Cesio- 137 o Cobalto-60. (A partir de la desintegración radiactiva de isótopos)
- b) Electrones acelerados, de energía no mayor de 10 MeV. (Generados mediante un aparato eléctrico que funciona con una energía inferior a 10 MeV).
- c) Rayos X, de energía no mayor a 5 meV. (Generados mediante un aparato eléctrico que funciona con una energía inferior a 5 MeV).

Existen varios tipos de radiaciones ionizantes: Radiación Alfa, Beta, Gamma y X, no obstante, la irradiación gamma sobresale siendo un proceso sin calor que se utiliza como método de esterilización en frío para envases de alimentos, alimentos en general y productos médicos (L'Annunziata,2012).

Los rayos gamma son semejantes a los rayos X, es decir, emiten una radiación de tipo análoga, que es una radiación electromagnética de pequeña longitud de onda, por lo que es más barata para la conservación de alimentos, son ondas muy penetrantes (Ravotti,2018)

La radiación ionizante de alta energía se propaga a través del medio invariable impactará contra la materia; derivado de aquella interacción, la radiación transferirá parte o toda su energía cediéndole mediante distintos mecanismos de interacción que dependen esencialmente de la magnitud energética de la

radiación, del origen de la radiación, del tiempo de exposición, de la atmósfera y propiedades físicas y químicas del material (Adilené, 2017). En la Figura 1 se puede observar la comparación de la energía atómica con las reacciones nucleares.

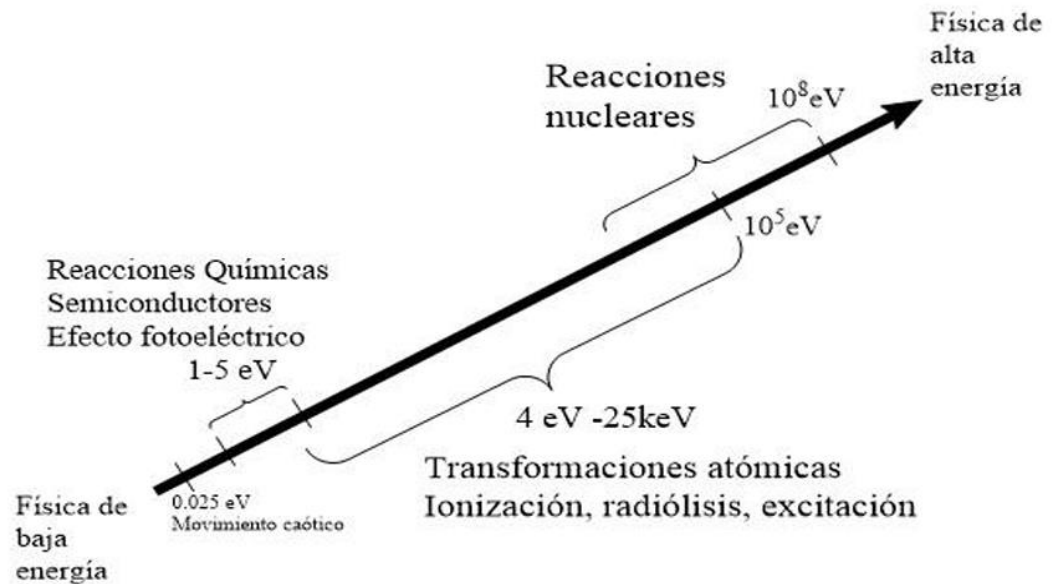


Figura 1. Comparación de energías. Tomada de Adilené (2017).

Los fotones de alta energía pasan a través de la materia, estos pueden interactuar con los electrones de los orbitales atómicos, e inclusive con el núcleo. Producto de la interacción, la energía transferida se puede absorber o dispersar (elástica o inelásticamente). Los procesos de transferencia de energía se pueden clasificar como;

Dispersión coherente: Es cuando el fotón choca con el átomo y es dispersado, desviando su trayectoria sin transferir una cantidad significativa de energía al átomo;

Efecto fotoeléctrico: Es cuando un fotón incidente choca con un electrón del orbital de menor energía y le transfiere toda su energía; el electrón sale disparado y la molécula queda ionizada.

Efecto Compton: un fotón con energía mayor a la de enlace del electrón, es capaz de chocar con un electrón del orbital superior de mayor energía que un electrón del orbital inferior; en consecuencia el electrón sale expedido del átomo con parte de la energía de fotón incidente y otra parte de la energía se mantiene en forma de energía cinética en el fotón dispersado, los rangos de energía descritos para este proceso van de keV hasta MeV, por lo que el proceso solo ocurre con el uso de radiación ionizante. Siendo este el mecanismo de transferencia de energía para el proceso que se lleva a cabo en una planta de irradiación, en el que interactúan los rayos gamma con los productos o alimentos (Fan, 2012).

Producción de par de electrones: un fotón incidente con energía superior a 1.02 Mev puede interaccionar con el campo magnético del núcleo atómico cediendo toda su energía, consecuentemente dos electrones salen expulsados por efectos relativistas, uno de los cuales es de carga positiva (positrón) y el fotón incidente se aniquila (Obodovskiy, 2019). En la Figura 2 se pueden apreciar los procesos de interacción fotónicas y la respuesta de los electrones.

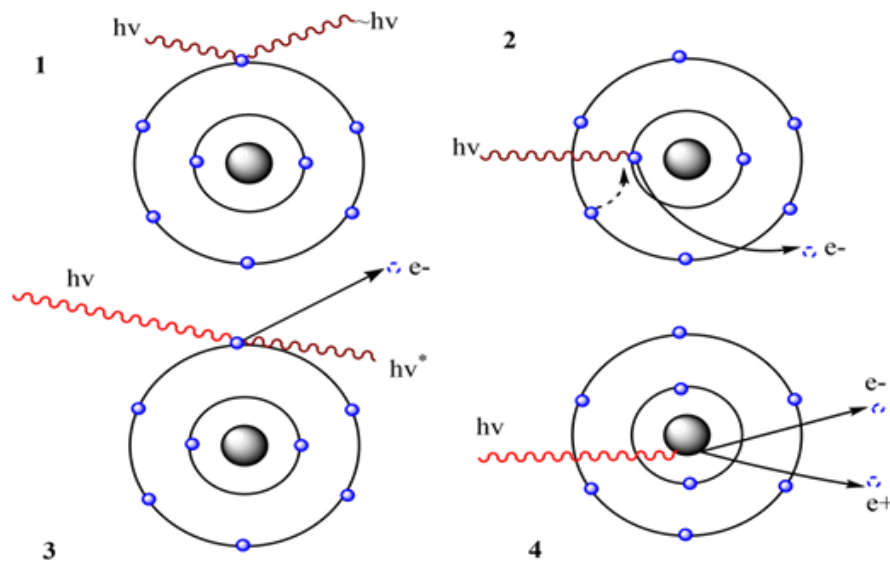


Figura 2. Procesos de interacción fotónicas. 1. Dispersión coherente. 2. Efecto fotoeléctrico. 3. Efecto Compton. 4. Producción de par de electrones. Tomada de Reyes (2023).

Una vez que sucede la interacción energética en la superficie y el cuerpo del material, los eventos subsecuentes se desarrollan en menos de un segundo, dando lugar a la ionización y estados moleculares excitados, lo que a su vez provoca la formación de una gran cantidad de electrones secundarios que fomentan numerosas reacciones químicas (Katsumura & kudo,2018).

Las fuentes de radiación ionizantes de mayor aplicación en alimentos son los rayos gamma, tienen mayor penetración que los haces de electrones y emiten radiación en todas las direcciones (Bakri et al., 2005). El tipo y forma de emisión de radiación, depende básicamente del material y geometría de la fuente, entre las fuentes radiactivas más comunes se encuentran las emisoras de neutrones y fotones gamma, los rayos gamma son el resultado de la desintegración de radionúclidos, los únicos autorizados son el Cobalto-60 y Cesio-137 (Unión Europea, 1999).

El Cobalto-60 es un isótopo artificial el cual se prepara bombardeando el isótopo estable Cobalto-59 con neutrones. La absorción de neutrones da lugar al Co-60, el cual es estable. Este es un núcleo “impar-impar” que se desintegra pasando a Níquel-60 por emisión de partículas beta (β^-) y rayos gamma (γ). Las fuentes artificiales tienen la ventaja de tener periodos de desintegración más cortos y son más intensas en comparación con las fuentes naturales (EPA, 2024). En la Figura 3 se puede observar el proceso de desintegración y la cantidad de energía que desprende el Cobalto-60.

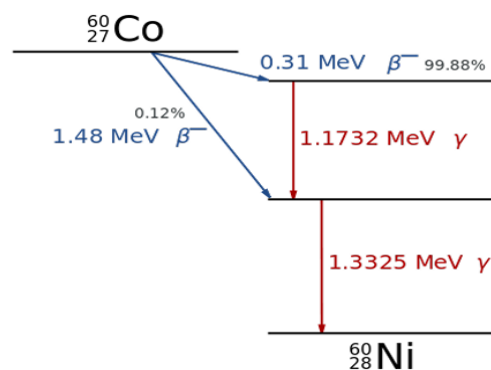


Figura 3. Esquema de desintegración del Cobalto-60. Tomada de Piedra (2019).

El uso del Cobalto-60 para irradiar alimentos está justificado por diversos motivos, entre los que destacan (Ramírez, 2015):

- Mayor energía de radiación: emite radiación gamma con energías de 1.17 y 1.33 MeV, lo que permite una mayor penetración en los alimentos.
- Mayor estabilidad: tiene una vida media de 5.27 años, lo que significa que su actividad disminuye lentamente.
- Menor contaminación: es menos probable que contamine los alimentos debido a su menor movilidad en el suelo y el agua.
- Fácil manejo: es fácil de manejar y transportar debido a su forma sólida.

2.1.4 Requisitos para una planta de irradiación de Cobalto-60.

Los rayos gamma son emitidos en todas las direcciones, y con una emisión constante, por lo que cualquier planta que funcione con Cobalto-60 debe constar básicamente de las siguientes estructuras:

- Una sala de irradiación
- Una piscina de almacenamiento
- Un sistema transportador
- Una consola de control
- Depósitos que separen material irradiado del no irradiado.

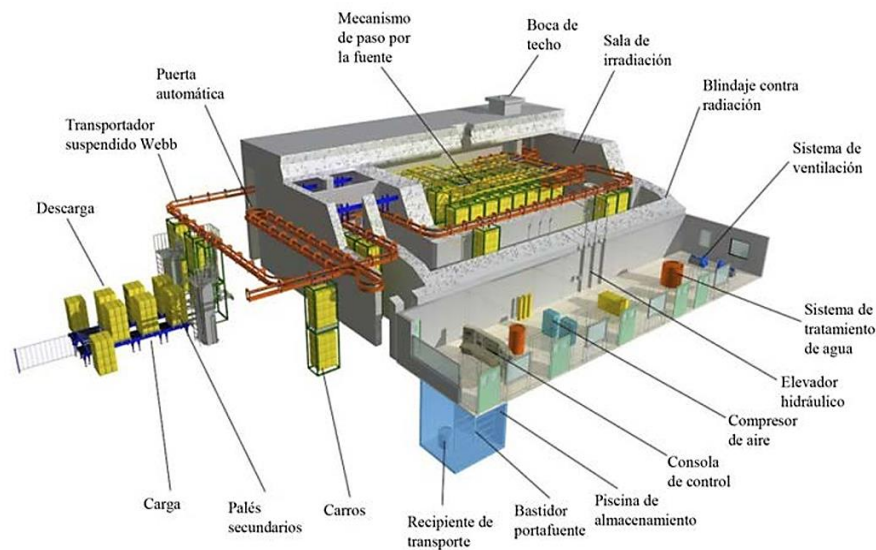


Figura 4. Irradiador gamma. Tomada de OIEA (2017).

La sala de irradiación es una cámara central de paredes gruesas hechas de hormigón con protección de plomo, los dispositivos de interbloqueo y la alarma impiden que la radiación de la sala se eleve. La piscina de almacenamiento es el lugar indicado donde se encuentra el Cobalto-60, el agua actúa como blindaje contra la energía radiactiva cuando los operadores tienen que entrar a la sala. El sistema transportador desplaza los alimentos dentro y fuera de la cámara de irradiación, donde los productos absorben la cantidad de energía destinada, en los irradiadores continuos debe haber un laberinto, para los irradiadores de lotes no es necesario. La consola de control es donde los operadores controlan electrónicamente la fuente de radiación y las dosis. El producto es manipulable inmediatamente (OIEA, 2017).

Los productos pueden estar en sus respectivas cajas de transporte, o apilados en un palet. Los radionucleidos están contenidos en tubos metálicos sellados denominados “lápices” que se colocan sobre un bastidor metálico conocido como “la fuente”. Dado que los radionucleidos se desintegran constantemente, el valor de la actividad debe ir asociado a una fecha, que debe utilizarse como referencia el valor inicial de actividad que figure en los certificados de la fuente establecidos por el proveedor (OIEA, 2017).

2.1.5 Dosis de Irradiación adecuados

La efectividad de esta tecnología puede estar determinada en gran parte por el tipo de fuente de radiación ionizante, contenido de humedad, presencia de oxígeno, dosis absorbida, densidad y grosor del alimento. La función de letalidad de las radiaciones ionizantes no solo depende de la radioresistencia intrínseca de cada microorganismo, existen otros factores como; la temperatura y la actividad del agua del medio. Un descenso o un cambio brusco de estos dos últimos factores ocasiona, generalmente, un aumento de la radioresistencia de varios microorganismos, el parámetro más importante del proceso de irradiación es la cantidad de energía ionizante absorbida por unidad de masa del material al cual va destinado que se conoce como “dosis absorbida” (AECOSAN, 2019).

Con frecuencia, para cada tipo de alimento, se tiene que emplear una dosis concreta si se quiere lograr un resultado específico, si la cantidad de radiación empleada es inferior o mayor a la dosis apropiada, puede que no se consiga el efecto buscado.

Dosis absorbida

La unidad de dosis absorbida en materiales se denomina gray (Gy) y se define como la energía media comunicada por la radiación ionizante a la materia por unidad de masa. Un “Gy” equivale a un julio por kilogramo. Actualmente, las dosis de irradiación recomendada por la Comisión FAO/OMS/Codex Alimentarius para la irradiación de alimentos no excede de 10,000 Grays, cifra que en general se expresa como 10 kGy. En realidad, se trata de una cantidad muy pequeña de energía, que equivale a la cantidad de calor necesaria para elevar 2- 4 grados la temperatura.

Para la irradiación de cualquier tipo de alimento, la dosis mínima absorbida deberá ser la suficiente para lograr la finalidad fitosanitaria y la dosis máxima absorbida deberá ser inferior a la dosis que comprometería principalmente la seguridad del consumidor, la integridad estructural, las propiedades funcionales

o los atributos sensoriales. Las dosis máximas se usan para esterilizar, sin embargo, la dosis total absorbida transmitida en un alimento no deberá exceder de 10 kGy, excepto cuando ello sea necesario para lograr una finalidad tecnológica legítima aprobada (FAO, 1994).

Existen una variedad de estudios donde se ha demostrado que las dosis que están por debajo de 300 Gy son requeridas para la esterilización de la mayoría de los insectos y plagas, mientras que la dosis requeridas para un control efectivo para las pudriciones es frecuentemente mayor de 1,000 Gy. La eficacia del tratamiento de irradiación ionizante va a depender en gran medida de una combinación de varios factores; como lugar de origen del producto, tipo de cultivo, prácticas de manejo poscosecha, temperatura entre otras (Kader, 2002).

Dentro de las dosis aprobadas (Comúnmente 1-10 kGy), se ha demostrado que generalmente destruye microorganismos al menos el 99,9% además, de que evita la producción de micotoxinas en frutas y granos durante el almacenamiento al aumentar la dosis de radiación (Ehling, 2010). Se ha encontrado que en dosis por debajo de los 1000 Gy no tienen efectos significativos en la calidad de frutas y vegetales irradiados (Wills & Golding, 2016).

La mayoría de las investigaciones indican que la composición química y el ordenamiento estructural de cada fruto tiene un papel importante en el daño que puede causar la irradiación en el tejido húmedo de los seres vivos, ya que dosis similares de irradiación pueden tener efectos diferentes (Shama et al., 2005).

Clasificación de dosis de irradiación de acuerdo con la OMS.

Dosis baja: Es de hasta 1 kGy, con esta dosis se retrasan los procesos fisiológicos, como maduración, envejecimiento de frutas frescas, vegetales. Sirve también para controlar insectos y parásitos en los alimentos.

Dosis media: Es de hasta 10 kGy, esta dosis reduce los microorganismos y se utiliza especialmente para mejorar las propiedades tecnológicas en los alimentos,

como lograr reducir los tiempos de cocción en vegetales deshidratados y para poder extender la vida útil.

Dosis altas: Son superiores a 10 kGy, son empleadas comúnmente para esterilizar carne, pollo, mariscos y otras preparaciones, suele usarse en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas y para la correcta desinfección como las especias.

Cuadro 1. Dosis sugeridas en la irradiación de alimentos según el propósito.

Propósito	Dosis (kGy)	Productos
Dosis Baja (hasta 1 kGy)		
Inhibir germinación	0.05 - 0,15	Papas, ajos, cebollas, jengibre, entre otros.
Eliminar insectos y parásitos.	0,15 - 0,50	Frutas y hortalizas frescas y secas, cereales, legumbres, carne fresca y seca.
Retrasar procesos fisiológicos.	0,50 - 1,0	Frutas y hortalizas frescas.
Dosis Media (1-10 kGy)		
Inhibir germinación	1,0 - 3,0	Fresas y tubérculos.
Eliminar insectos y parásitos	1,0 - 7,0	Carnes y mariscos frescos y congelados.
Mejorar propiedades tecnológicas del alimento.	2,0 -7,0	Verduras deshidratadas
Dosis Alta (10-50 kGy)		
Esterilización industrial (combinada con calor suave)	30 -50	Carne de aves, mariscos, alimentos preparados y dietas estériles.
Descontaminar ciertos alimentarios e ingredientes aditivos	10 -50	Especies, preparaciones enzimáticas, goma natural, etc.

Fuente de Consulta: OMS, 1989.

Clasificación de dosis de irradiación de acuerdo con objetivos.

Radapertización: Dosis de 25 a 45 kGy, suficiente para eliminar el nivel de microorganismos de acuerdo con aspectos de esterilización, de tal modo que no se detecte ningún microorganismo con excepción de virus (Con una reducción del 99% de microorganismos en el alimento tratado).

Raditización: Dosis de 2 a 8 kGy, la dosis suficiente para reducir el nivel de microorganismos patógenos no esporulados, incluyendo parásitos.

Radicación: Dosis de 0,4 a 10 kGy, dosis apta para alargar la vida útil de alimentos mediante la reducción de microorganismos. (Diehl,1995).

Clasificación de dosis de irradiación para control de plagas

La garantía del tratamiento depende de una serie de factores, algunos son intrínsecos de los microorganismos que se estudian y del producto alimenticio en el cual se encuentra, como la temperatura y la atmósfera al momento de la irradiación. Generalmente la resistencia de varios microorganismos a la radiación está relacionada con la complejidad y tamaño siguiendo el siguiente orden de sensibilidad: protozoo > bacteria en fase log > célula en fase estacionaria > espora > virus > prion. Los patógenos son más sensibles a la irradiación en alimentos con alto contenido de agua (Mead, 1995).

En esta investigación se utilizó el tratamiento de irradiación como medida fitosanitaria para cumplir con los requisitos de la FDA, donde es obligatorio el tratamiento para ciertas frutas para poder salir del país y ser comercializadas con la garantía de que están libres de plagas para eso se consultaron las dosis recomendadas para las diferentes plagas como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de irradiación como tratamiento fitosanitario para frutos intestados con moscas de la fruta.

Espece	Dosis (kGy)	Referencia
<i>Anastrepha ludens</i> (Loew) Mosca mexicana de la fruta	0.150	USDA-APHIS 1996
	0.060	Bustos et al. 1992
	0.070	Hallman & Martínez 2001
	0.100	Bustos et al., 2004
<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) Mosca de la fruta	0.150	USDA-APHIS, 1996
	0.060	Bustos et al. 1992
	0.100	Bustos et al. 2004

<i>Anastrepha serpentina</i> (Wiedemann) Mosca de la fruta tropical (Guanábana, zapote y mango)	0.150	USDA-APHIS 1996
	0.060	Bustos et al. 1992
	0.100	Bustos et al., 2004
<i>Anastrepha striata</i> (Schiner) Mosca de la Guayaba	0.040	Toledo et al. 2003
<i>Anastrepha curvicauda</i> Gerstaecker Mosca de la papaya	0.150	Gould and Hallman 2004
<i>Ceratitis capitata</i> (Wiedemann) Mosca mediterránea de la fruta.	0.225	USDA-APHIS 1996; Seo et al. 1973
	0.250	Bustos et al. 1992
	0.150	Bustos et al. 2004

Fuente: Montoya (2020)

En la mayoría de los países, la dosis de 150 Gy se considera genérica para las moscas de la fruta tefrítidas y 400 Gy se considera una dosis genérica para todos los insectos excepto pupas y lepidópteros adultos (Follett & Armstrong, 2004)

Una dosis de 500 Gy previene la reproducción en insectos de productos almacenados ya que el objetivo del tratamiento de irradiación suele ser causar mortalidad en las etapas inmaduras antes de desarrollarse a la etapa adulta o prevenir una mayor reproducción (Hallman, 2016). Por otro lado, el deterioro en las células somáticas ocasiona una reducción, afectando la propensión al apareamiento y en última instancia, provoca la muerte de los insectos (Bakri et al., 2005).

La irradiación gamma es un método eficaz como tratamiento para la infestación de insectos y el nivel de dosis más bajo probado es de 300 Gy, el cual podría usarse para preservar las instalaciones de insectos agrícolas y sus procesos de almacenamiento contra las plagas del producto almacenado. Esta dosis es más baja que la reportada por muchas investigaciones que indicaron el tratamiento genérico de 400 Gy para controlar muchas plagas de productos almacenados sin afectar la calidad de una amplia gama de productos básicos (Sun et al., 2023).

El Convenio Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) proporciona directrices y normas que se utilizan en todo el mundo. “La NIMF 18” es una norma que proporciona orientación técnica para el uso de la irradiación fitosanitaria y proporciona protocolos para diversas plagas. En su mayoría, se utilizan dosis genéricas de irradiación fitosanitaria que siguen un programa de tratamiento que es efectivo para todos los tipos de plagas de insectos (Follett, 2009; Penca et al., 2023).

Dosimetría

Para llevar un control de las dosis existe un sistema de dosimetría que está compuesto principalmente de dosímetros; instrumentos para medir las dosis absorbidas y procedimientos. Un dosímetro es un dispositivo que da una respuesta reproducible y cuantificable a la irradiación.

Los dosímetros presentan una respuesta que es conocida a la absorción de la radiación, además de ser económicos y almacenar por un largo tiempo la información sobre las dosis absorbidas. Existen dosímetros de pastillas de alanina, que se colocan en los productos antes de ser ingresados a las cámaras de tratamientos y luego se ingresan a la cámara y se reciben junto con los productos para ser retirados al salir, posteriormente se determina la dosis absorbida que recibieron los dosímetros como el producto. Estos dispositivos pueden usarse para dosis absorbida desde 10 Gy hasta kGy, se usa también un espectrómetro de resonancia paramagnética electrónica para medir la dosis absorbida y guardar la información por un periodo largo de tiempo (ASTM,2013)

2.1.6 Aplicación de irradiación en frutas

La Base de Datos Internacional sobre Tolerancia a los Productos Básicos (IDCT), que es una iniciativa del Fondo Conjunto de la FAO / El Centro de Técnicas Nucleares en Alimentación y Agricultura del OIEA es un excelente recurso para conocer los efectos de la irradiación en frutas y hortalizas frescas. Esta base de datos ha recopilado y proporciona una interpretación limitada de la literatura

científica sobre irradiación fitosanitaria. (IDCT, 2024). En esta base encontramos alrededor de 384 estudios sobre la calidad de los productos después del tratamiento con irradiación fitosanitaria.

Se pueden identificar los efectos poscosecha de la irradiación en frutas y hortalizas de al menos 82 cultivos diferentes. En la Figura 1 se pueden apreciar los principales cultivos, destacando manzana, mango, durazno, uva, arándano y fresa ordenados de mayor a menor según han sido investigados al año 2024, se puede apreciar que aún son muy pocos los frutos estudiados y el rango de frutos aptos para el tratamiento sigue siendo extenso.

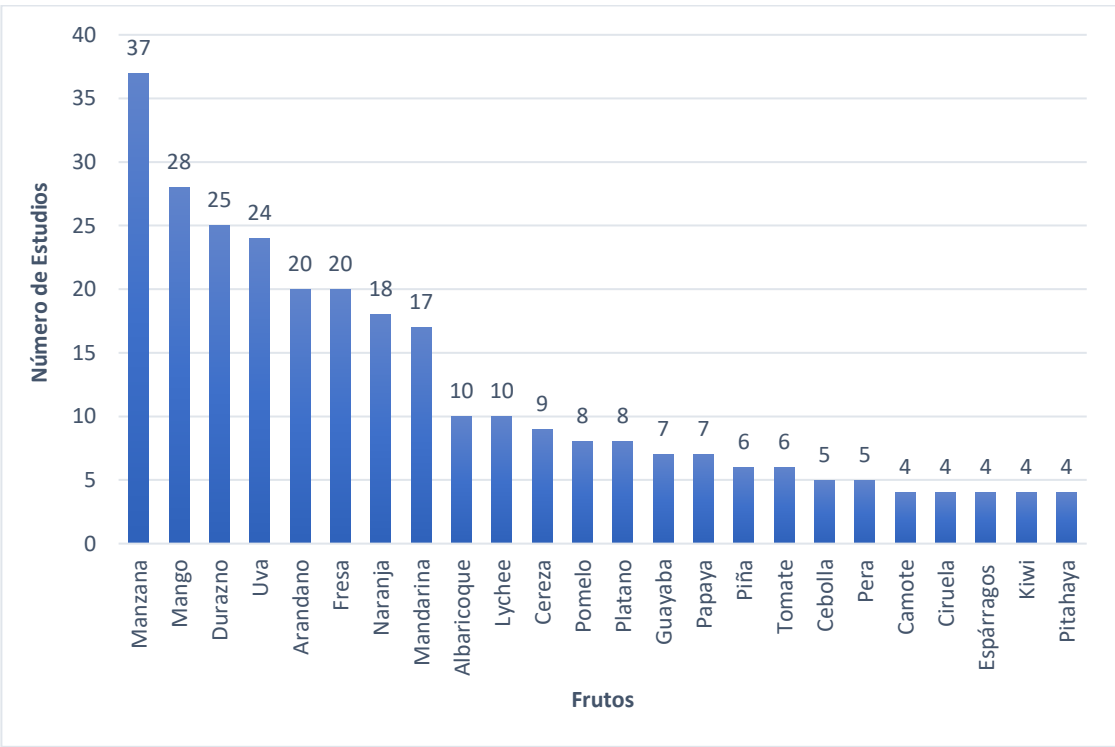


Figura 5. Investigaciones de las principales frutas con tratamiento a base de irradiación. Elaboración propia con datos de (IDCT, 2024)

La calidad del producto final de la fruta irradiada depende en gran medida de múltiples factores, como el cultivo, la dosis de irradiación, la madurez de la fruta en la cosecha y las condiciones de almacenamiento. En el Cuadro 3 se puede observar los resultados en la calidad de diferentes dosis de tratamientos en diferentes frutas.

Cuadro 3. Atributos de calidad expuestos después de recibir el tratamiento de Irradiación.

Cultivo	Tratamiento (Dosis)	Observaciones	Referencia
Maduración			
Pera	400 Grays	Retraso en la maduración.	Albolhassani et al. (2013)
Manzana, Durazno	400 Grays	Retraso en la maduración.	Lu et al. (1991)
Mango	250 Grays	Efectivo en disminuir el índice de oscurecimiento.	González-Aguilar et al., (2006).
Banana "Cavendish"	200 Grays	Retraso la maduración sin fitotoxicidad.	Strydom y whitehead (1990)
Papaya Firmeza	750 Grays	Retraso en la maduración.	Paull (19996)
Fresa	400 Grays	Reduce la pérdida de firmeza en frutos de fresa. Menos firmeza, mayor	Baka et al., (1999).
Durazno	400 Grays	jugosidad, mayor agrado de los consumidores por los irradiados.	McDonald y Col. (2012)
Albaricoque	500 Grays	Mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento.	Raja et al., (2023)
Arándanos	50,400 y 1000 Grays	Mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento.	Golding et al., (2014)
Papaya	750 Grays	Mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento.	Pimentel y Walder, (2004)
Frambuesas	50,400 y 1000 Grays	Mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento.	Tezotto-Uliana et al., (2013)
Pitahaya	400,600 Grays	Mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento.	Uthairatanakij et al., (2018)
Mangos "Dusheri" Solidos solubles	700 Grays	Mostraron una cáscara más dura y resistente.	Mahto y Das, (2013)
Mandarina	200, 600 Grays	No tuvo diferencias significativas en SSC y azúcares totales en comparación con la fruta no irradiada.	Zhang et al., 2014
Pomelos "Chandler" y "Sarawak"	150, 1000 Grays	No tuvo ningún efecto sobre el contenido de azúcar y el SSC de los pomelos almacenados a 12 °C durante 3 semanas.	Jain et al., 2017
Kiwi	300, 600 Grays	No se encontraron cambios en el SSC.	Kim et al., 2007
Pomelos y Limones	150, 1000 Grays	El contenido de azúcar aumentó después de 10 días de almacenamiento.	Ramakrishnan et al., (2019)
Compuestos fenólicos			

Repollo	500, 1000, 1500 Grays	Mantuvieron la concentración de compuestos fenólicos.	Ruiz-López et al., (2011).
Lechuga	500, 1000 Grays	Mantienen los compuestos fenólicos.	Allende y Artés, (2003)
Espinaca	500, 1000 Grays	Mantienen los compuestos fenólicos.	Artés-Hernández et al., (2009).
Aguacate	150 Grays	La irradiación incrementó la actividad de fenilalanina amonialiase y el contenido de fenoles totales.	Arévalo-Galarza et al., (2022)
Fresas	150, 400, 600 y 1000 Grays	Provocó un aumento en el contenido de fenoles totales.	Yoon et al., (2020)
Ácido ascórbico			
Apio	500, 1000, 1500 Grays	El tratamiento mejoró la vitamina c, el SSC, los azúcares totales y la calidad sensorial.	Lu y col. (2005)
Arándanos “Brigitta”	150, 400 y 1000	No hubo diferencias entre los arándanos y la fruta no tratada después del tratamiento y almacenamiento.	Golding et al., (2014)

Efectos Generales

Arándanos “Brigitta”	150, 400, 1000 Grays	Ningún efecto sobre la calidad de la fruta, su contenido nutricional o aproximado.	Golding et al. (2014)
Cereza	0,400 Grays	Ningún efecto sobre la calidad o la vida útil.	Thang et al. (2016)
Pitahaya	400,600 Grays	No afecta el color ni la calidad de la pulpa	Uthairatanak ij et al. (2018)
Kiwi “Haywood”	0, 200, 400,600,800 Grays	No hay diferencias visibles, de composición ni de calidad sensorial entre los tratamientos	Sol y cols. (2023)
Piña	50, 100, 150, 250 Grays	Ningún efecto sobre la calidad general de la fruta	Sushela et al (1997)
Caqui	0, 700 Grays	Ningún efecto sobre la calidad general de la fruta.	Goldin et al (2020)
Frambuesa	0,150,400, 1000	Ningún efecto sobre la calidad general de la fruta	Golding et al. (2014)
Durazno	400 Grays	Mayor jugosidad, mayor agrado de los consumidores por los irradiados	McDonald y Col. (2012)
Papas, cebollas, y ajos	100 Grays	Inhibidor de la germinación, puede inhibir irreversiblemente la brotación.	Barkai-Golan y Follett, 2017

La calidad nutricional de los alimentos irradiados es similar a la de un alimento cocinado, congelado o enlatado; el cambio específico va a depender de la dosis de radiación, el tipo de alimento, temperatura, el tiempo de almacenamiento y los componentes de los alimentos como carbohidratos, proteínas, grasas y minerales que experimentan cambios poco significativos inclusive a dosis altas de hasta 10 kGy (Kava, 2007)

Frutos irradiados en México

En agosto de 2008, se publicó en el DOF el cambio a la regulación en la Norma FITO-22 que incluye a la irradiación como un proceso fitosanitario, lo cual facilita la movilización y exportación de frutas a zonas libres de plagas como la mosca de la fruta. México entró a la era de la irradiación en ese año como tratamiento fitosanitario, para brindar inocuidad alimentaria empleando cobalto-60, lo cual ha permitido exportar frutas a diferentes mercados internacionales los cuales no se tenían acceso. En el país, se irradiaron aproximadamente 25 mil toneladas de especias al año, sin embargo, en frutos y hortalizas aún no se ha podido alcanzar un porcentaje considerable. Nuestro país cuenta con una gran variedad de frutas tropicales que no se encuentran comúnmente en los mercados globales, sin embargo, tienen el potencial para hacerlo, debido a la demanda del sabor peculiar de estas y a la calidad nutricional de muchas frutas tropicales que son únicas en el mundo.

Nuestro país ha ganado terreno a nivel internacional, ya que ocupa el primer lugar mundial en la exportación de frutos irradiados. En 2023 se enviaron a mercados extranjeros alrededor de 39.847 toneladas de productos agropecuarios, principalmente de frutos de mango y guayaba (SENASICA, 2023).

Las frutas que se pretendan exportar deben de cumplir con los requisitos de SENASICA y APHIS en cuanto a controles desde la cosecha en campo, el empaque, el debido tratamiento, volúmenes de producción y hacer los estudios de irradiación pertinentes para evaluar las propiedades sensoriales y

nutracéuticas de la fruta que sea de interés. Actualmente hay 8 addendum's aprobados en México para las siguientes frutas:

1. Mangos
2. Cítricos (Naranja, Toronja, Lima y Mandarina)
3. Guayaba
4. Chile Manzano
5. Carambola
6. Pitayas
7. Granadas
8. Higos.

En la Figura 6 se pueden apreciar los frutos y el año en que fueron aprobados para su tratamiento. Existen otros en proceso (p. ej. Guanábana, mamey) y próximamente rambután y zapote negro.



Figura 6. Frutas irradiadas en México. Tomado de SENASICA (2015).

Plantas de Irradiación en México

La planta de irradiación industrial del ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares) ubicada en Ocoyoacac, Estado de México. Comenzó a funcionar en marzo de 1980. La planta realiza diversas investigaciones y estudios en el área de ciencia y tecnología nuclear, algunas de sus principales instalaciones son; el irradiador industrial y la planta de producción de radioisótopos.

En el año de 2011 se inauguró la planta de irradiación fitosanitaria de Phytosan-Benebion. La instalación está ubicada en Matehuala, S.L.P. Es la única planta que irradia a nivel comercial frutos frescos. El complejo tiene instalada actualmente su primera planta de irradiación gamma, MDS NORDION, para el tratamiento fitosanitario de una variedad de frutas frescas, ofrecen servicios de irradiación fitosanitaria de alimentos y esterilización de insumos médicos.

En julio de 2024 fue inaugurada la empresa eBeam Agroindustrial en el Parque Industrial San Francisco, Aguascalientes. Según la compañía, su tecnología permitirá esterilizar, sanitizar y desbacterizar varios productos del sector agroalimentario y médico. Los productores podrán cumplir con los más altos estándares de calidad y exportar sus diferentes productos. La planta ha sido descrita como la más moderna en toda América Latina, además de que cuenta con una tecnología avanzada.

Asimismo, la Secretaría de Agricultura se encuentra trabajando en un proyecto para capacitar las instalaciones de Metapa de Domínguez, Chiapas, ocupadas para la esterilización de machos de mosca del Mediterráneo, por mucho tiempo, ayudando a mitigar el riesgo, ahora serán aprovechadas para poder irradiar frutos para exportación provenientes principalmente de la región sur- sureste del país (SADER,2024)

2.2 Marco de referencia

2.2.1 Producción de Guanábana en México

Origen y distribución

La guanábana (*Annona muricata* L.) perteneciente a la familia de las Annonaceae, es nativa de México y América del Sur, se caracteriza por crecer principalmente en regiones tropicales y subtropicales (Nugraha et al., 2019). El área de distribución nativa de esta especie es del Sur de México al Sur Tropical América.

Es una especie que se puede encontrar en el bosque tropical caducifolio, y perennifolio. Se desarrolla mejor en climas cálidos y húmedos. Crece en suelos de textura media, no calizos, con buen drenaje, arenoso, limoso y arcilloso. Las plantaciones se desarrollan en un pH ligeramente ácido de 5,5 a 6,5.7. Requiere de precipitaciones de 1000 mm y tolera los 4000 mm anuales, una altitud de 0 a 1150 m s. n. m. y una temperatura media de 25 °C (Vidal et al., 2014).

Taxonomía

Con base en el IPNI (International Plant Names Index), (2022) la clasificación taxonómica de la guanábana se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación taxonómica de la Guanábana.

Reino	Plantae
Filo	<i>Estreptofita</i>
Clase	<i>Equisetopsida</i>
Subclase	<i>Magnoliidae</i>
Orden	<i>Magnoliales</i>
Familia	<i>Annonaceae</i>
Género	<i>Annona</i>
Especie	<i>Annona muricata</i>

Fuente: IPNI

Morfología

Los árboles de guanábana son comúnmente de una altura de tres a diez metros, cónicos, frondosos con hojas ovaladas elípticas. La raíz es pivotante con anclaje ramificado, las hojas son elípticas, de 10-20 cm de longitud y de cuatro a ocho centímetros de ancho, son simples, alternas y tienen un ápice agudo, con bordes enteros (Méndez,2003).

Las flores son hermafroditas, distribuidas a lo largo del tallo y en las axilas; de tres a cuatro centímetros de diámetro, con tres pétalos externos y tres internos, son fragantes, con un cáliz verde y pétalos blancos o cremosos (Correa & Stevenson, 2002).

Los frutos se constituyen en una baya producto de múltiples ovarios, ovalado, de 10-30 cm de longitud y 8-15 cm de ancho, tiene una piel verde, rugosa y con espinas blandas. Cuando las frutas de guanábana están maduras su cascara es de color verde mate y va adquiriendo una consistencia blanda. La pulpa es de color blanco, aromática, cremosa, adherida a la cutícula y recubre las semillas negras, cada fruto puede tener más de 100 semillas (Jiménez et al., 2014). La polinización de las flores (que se produce de forma natural) es deficiente, esto da lugar a que los frutos sean de forma y tamaño variables (Hernández et al., 2017)

Cosecha y poscosecha.

La cosecha se da en un punto de madurez fisiológico, lo cual coincide cuando logra su máximo tamaño, con la pérdida de rigidez de los rudimentos estilares y el cambio en la tonalidad de la epidermis, pasando de un verde oscuro a un verde más claro o un verde mate. El índice de cosecha se da a los 160 días aproximadamente después de la antesis cuando el fruto tiene un color verde claro o amarillento. Los cortes de los frutos se realizan manualmente, dejando de dos a tres centímetros del pedúnculo adherido al fruto (Worrel et al.,1994). Adicionalmente otro índice de madurez es el contenido de SST extraído de la pulpa debe ser mayor a siete grados brix (Jiménez et al., 2016).

Es importante conocer si los frutos se cosechan antes de la madurez fisiológica, estos no llegan a madurar adecuadamente y la pulpa puede llegar a tener un sabor amargo, se propone cosechar las guanábanas en las primeras horas de la mañana para evitar la deshidratación del fruto. La guanábana presenta un ciclo de 120 a 180 días (un ciclo largo) desde la floración hasta la formación del fruto en su índice de cosecha, el rendimiento de los frutos fluctúa entre 24-64 frutos por árbol con pesos de 0.25 a 5 Kg por fruto (Ramírez et al., 1998).

Manejo poscosecha

Se registran altas pérdidas en poscosecha de 25 a 35% para los frutos de guanábana debido a prácticas inadecuadas, y también debido a sus variedades aún no registradas, hacen que el fruto siga siendo un producto vegetal de importancia para ser estudiado (Ramírez, 2008).

Las guanábanas deben manejarse bajo condiciones de temperatura ideales, con un empaque y almacenamiento adecuados con una humedad relativa de 85 a 90%, con el fin de prolongar la vida útil. Se destacan; la recolección, selección, eliminación de cualquier residuo orgánico, clasificación, desinfección, pesaje, preenfriamiento entre 12 a 15 °C, opcionalmente encerado, finalmente almacenamiento y transporte (Lima et al., 2003).

Plagas

Las principales plagas que perjudican al cultivo de guanábana son los complejos insectos de barrenadores, (*Bephratelloides cubensis* y *Optatus palmaris*), pueden perjudicar hasta el 90% de la producción de los frutos (Hernández, Gómez y Orozco, 2014).

Dentro de los barrenadores que destacan como mayor amenaza está el *B. cubensis* en la región de Nayarit el cual afecta alrededor del 72% de la guanábana (Cayeros et al., 2017).

Se han encontrado también los insectos xilófagos, capaces de dañar el cultivo desde los primeros brotes. Se alimentan de la madera de sus ramas y tallos (Hernández et al., 2018). En los últimos años se detectaron plagas en Compostela, que no se habían observado con anterioridad entre ellas la cochinilla rosada del hibisco (*M. hirsutus*), destaca como el insecto con mayor número de ejemplares en Compostela. (Cham et al., 2019).

Otros insectos son el perforador del fruto (*Cerconota annonella* Sepp) y el perforador de la semilla (*Bephratelloides cubensis* Asmhed). Los frutos dañados presentan grandes orificios con residuos de excrementos que deja la larva, cuando atacan flores o en frutos pequeños, estos se pueden secar tornándose negros para después caer al suelo, los orificios producidos facilitan la entrada de hongos, como el causante de la antracnosis (Rosas y Becerra, 2012).

Los insectos chupadores como el periquito (*Membracis mexicana* Guerin-Meneville) son de color negro y amarillo, se encuentran generalmente sobre las flores o frutos, pican o chupan los frutos. Los frutos infestados con ninfas son deformes, débiles y caen prematuramente del árbol (Cruz et al., 2002). Además de encontrar la Avispa barrenadora de las anonáceas (*Bephratelloides cubensis* ahmead) y la palomilla de la guanábana Cerconota (*Annonella* Sepp.) entre otras (Castañeda, 2000) esta última palomilla se encontró con más presencia en las guanábanas en la región de Compostela.

Enfermedades

La antracnosis es el agente causal de *Colletotrichum gloesporioides* Penz. La enfermedad más importante de la guanábana en los climas con humedad relativa alta y con mucha presencia de lluvias, causa pudrición negra y ataca en todas las etapas de desarrollo, principalmente en los tejidos tiernos. Los frutos se momifican y se caen, provoca necrosis en el cuello del tallo y en sus ramas (Amusa et al., 2003)

Otra enfermedad es la pudrición en el pedúnculo (*Pestalotia sp.*) y (*Lasiodiplodia sp.*) se manifiesta por una coloración oscura sobre el pedúnculo de la guanábana, también se reportan (*Botryodiplodia theobromae*, *Rhizopus stolonifer* y *Phytophthora sp.*) que afectan tallos y ramas (Cruz et Al., 2002).

Composición bioquímica del fruto de Guanábana

Se han identificado y aislado más de 200 compuestos químicos en la planta de guanábana, siendo los alcaloides los compuestos más importantes entre ellos los fenoles y acetogeninas (Coria et al., 2018). La pulpa de esta fruta es blanca, algodonosa y fibrosa. Dentro de su composición se encuentra proteína, carbohidratos, fibra cruda ceniza y humedad, también aporta micronutrientes como K, Na, Zn, Fe, Mg y Ca (León et al., 2016). En el Cuadro 5 podemos observar a detalle la composición química.

Cuadro 5. Composición química de la Guanábana.

Valor nutricional por cada 100 g	
Agua	81.16 g
Calorías	66 kcal
Carbohidratos	16.84 g
Azúcares	13.54 g
Fibra	3.3 g
Grasas	0.3 g
Proteínas	1 g
Tiamina (vitamina B1)	0.07 mg (5%)
Riboflavina (vitamina B2)	0.05 mg (3%)
Niacina (vitamina B3)	0.9 mg (6%)
Ácido pantoténico (vitamina B5)	0.253 mg (5%)
Vitamina B6	0.059 mg (5%)
Ácido fólico (vitamina B9)	14 µg (4%)
Vitamina C	20.6 mg (34%)
Calcio	14 mg (1%)
Hierro	0.6 mg (5%)
Magnesio	21 mg (6%)
Fósforo	27 mg (4%)
Potasio	278 mg (6%)
Sodio	14 mg (1%)
Zinc	0.1 mg (1%)

Fuente: USDA National Nutrient Database (2022).

Ribeiro et al., 2003 reportan que entre los Compuestos bioactivos de la guanábana se encuentran: Annonacinas (alcaloides), Acetogeninas (compuestos anticancerígenos), Flavonoides, Fenólicos y Carotenoides (antioxidantes).

Importancia nacional

México se ha posicionado en la última década en los primeros lugares de producción de guanábana a nivel mundial, compitiendo por este lugar con Ecuador, Colombia y Costa Rica. Siendo en el país Nayarit el estado con mayor producción de guanábana con 26,744 toneladas, por debajo se encuentran Colima, Michoacán, Guerrero y Veracruz, que en total generaron 34,437 toneladas del fruto en 2022 (SIAP,2022).

Nayarit concentra el 71% de la superficie total cultivada, es el municipio de Compostela, ubicado en la costa sur de Nayarit, el principal municipio productor representando el 81% del valor total de la producción a nivel nacional (Anaya-Dyck et al., 2021).

El cultivo de guanábanas ha sido muy rentable, genera ganancias equiparables con las del cultivo de mango, genera una producción con un valor de aproximadamente 38 mil pesos más al año, cabe mencionar que aun con los pocos cuidados que se le da al cultivo y el riego de temporada (SIAP, 2020).

El comité de Compostela que maneja un sistema-producto en Nayarit, indican que a pesar de que la región cuenta con las condiciones climáticas que ayudan al cultivo, éste presenta insuficiencias desde el proceso de producción, desafortunadamente gran parte se desaprovecha debido a los problemas de manejo causados por falta de tecnología integrada, recursos económicos, proyectos que generen el interés de su cadena comercial y generen el valor agregado que merece (Cayeros et al., 2017)

Usos

La fruta se consume como fruta fresca, la pulpa congelada se usa en la preparación de helados y jugos en muchos mercados mundiales. La pulpa también se utiliza en la preparación de bebidas, coctelería, pasteles, gelatinas y postres. En México la mayoría de pulpa de guanábana se destina a juguerías nacionales.

Comúnmente, a la guanábana en algunas partes del mundo le llaman “delicioso milagro tropical” debido a su sabor único y sus propiedades nutricionales favorables para la salud. De este cultivo se puede aprovechar el fruto, las hojas, las flores, el tallo, la corteza y hasta las raíces. En los últimos años se han reportado efectos anticancerígenos con el uso de extractos de hojas de esta especie (Grijalva-Verdugo et al., 2022). Es una planta rica en compuestos fenólicos, alcaloides y acetogeninas, que se pueden utilizar para preparar bebidas funcionales (Aguilar-Hernández et al., 2020).

Cualidades Nutricionales y Sensoriales

La guanábana es rica en fibra, minerales, y compuestos bioactivos. Un estudio sobre una compota que contiene guanábana reveló un alto contenido de carbohidratos (90.3%) y una aceptación sensorial favorable, indicando su potencial en productos alimentos (Palacios & Agüero, 2023).

Son frutas muy apreciadas por su generosa pulpa, la cual tiene una textura suave y fibrosa con un rico sabor agridulce, además de poseer un alto contenido de nutrientes, el fruto representa una opción muy viable, ya que el consumidor se interesa en los beneficios que aporta a su salud añadiéndolo en su dieta de frutas, además de que tiene un gran potencial para su industrialización y el desarrollo de diversos productos alimenticios (Villarreal-Fuentes et al., 2020)

La literatura ha reportado que estas bebidas mantienen sus nutrientes y compuestos bioactivos cuando se procesan con tecnologías emergentes como la

termosonicación al vacío, o cuando se consumen frescas y almacenadas en condiciones de refrigeración (Martínez-Moreno et al., 2020).

Comercialización

Las rutas de traslado son generalmente hacia centros de acopio, en tractocamiones a granel o en cajas o rejas con periódico al fondo aproximadamente un 90% de la producción de guanábana se destina al consumo nacional, pero no se distribuye uniformemente en el país, su consumo es principalmente dentro de los municipios productores y localidades cercanas, el precio local y en puestos familiares son relativamente bajos (Solís, 2019).

De los productores de la región de Nayarit el 52 % de los productores realizan el proceso de despulpado, mientras que el 48% restante vende su producto en fresco, por lo que no realizan ningún otro proceso de transformación. Para los productores mayores realizan un despulpado que realizan en los mismos hogares, siendo básicamente un proceso artesanal y familiar (Cayeros et al., 2017).

La mayoría de la guanábana que es cosechada en la región de Compostela se envía a centros de acopio y empaques del municipio de Las Varas, donde tiene que pasar por un proceso de clasificación manual en el que se le retira la fruta no apta (defectuosa o tierna) se van seleccionando de acuerdo con el grado de madurez en el que se encuentren para empacarse en cajas o rejas que se envían a diferentes mercados (Piedragil, 2017).

En la visita guiada que se tuvo con productores de guanábana en, Las varas, Compostela, nos comentaron que la mayoría de su producción es vendida a centros de acopio donde la mandan a la central de abastos en la que los precios a los meses de mayo y junio rondaban de \$32- 35 por kilogramo y el uso era alrededor del 60% para venta en fruto fresco y el 40% en pulpa.

2.3 Literatura citada

- Abolhassani, Y., Caporaso, F., Rakovski, C., Prakash, A., 2013. The effect of gamma irradiation as a phytosanitary treatment on physicochemical and sensory properties of Bartlett pears. *J. Food Sci.* 78 (9) <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12192>.
- Adlienė, D. (2017). BASIC RADIATION PHYSICS AND SOURCES OF RADIATION Kaunas University of Technology, Physics Department, Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lithuania.
- AECOSAN. (2019). Irradiación. URL. http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/detalle/irradiacion.htm. Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición.
- Aguilar-Hernández, G., M. L. García-Magaña, M. A. Vivar-Vera, S. G. Sáyago-Ayerdi, J. A. Sánchez-Burgos, J. Morales-Castro, L. M. Anaya-Esparza and E. Montalvo-González. 2019. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Annona muricata* by-products and pulp. *Molecules* 24(5): 904. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>.
- Allende A, Artés F. 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36: 739 – 746.
- Amusa, N. A., Ashaye, O. A., Oladapo, M. O., and Kafaru, O. O. 2003. Pre harvest deterioration of Soursop (*Annona muricata*) at Ibadan Southwestern Nigeria and its effect on nutrient composition. *African Journal of Biotechnology*. 2: 23-25.
- Anaya-Dyck, J. M., Hernández-Oñate, M. A., Tafolla-Arellano, J. C., Báez-Sañudo, R., Gutiérrez-Martínez, P., & Tiznado-Hernández, M. E. (2021). Cadena productiva de guanábana: Una opción de desarrollo económico para Compostela, Nayarit. *Estudios Sociales, Revista de AlimentaciEs decir, que Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(57), 211048. doi: 10.24836/es.v30i56.1048.
- Arévalo-Galarza, M.d.L.; Castillo-Juárez, I.; Soto Hernández, M.; Castillo-Martínez, C.R. Uso de la radiación gamma para el mejoramiento genético de variedades vegetales infrautilizadas. *Plantas* 2022, 11, 1161.
- Artés-Hernández F, Escalona VH, Robles PA, Martínez-Hernández GB, Artés F. 2009. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of Science and Food Agriculture*, 89: 414 – 421.

- ASTM. (2013). INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Practice for Calibration of Routine Dosimetry Systems for Radiation Processing, ISO/ASTM 51261:2013, ISO, Geneva (2013).
- Baka M, Mercier J, Corcuff R, Castaigne F, Arul J. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries.J. *Food Sci.* 64::1068–72
- Bakri, A., Mehta, K., & Lance, R. (2005). Sterilizing insects with ionizing radiation. In V. A. Dyck, J. Hendrichs & A. S. Robinson (Eds.), *Sterile insect technique* (pp. 235-268). Netherlands: Springer.
- Barbosa-Cánovas, G., y Bermúdez-Aguirre, D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 1(1), 81-93. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.01.08>
- Barkai-Golan, R., Follett, P.A., 2017. *Irradiation for Quality Improvement, Microbial Safety and Phytosanitation of Fresh Produce*. Academic Press, London, UK. ISBN 9780128110256.
- Bashir K, Jan K, Kamble DB, Maurya VK, Jan S, Swer TL. Historia, estado y aspectos regulatorios de la irradiación gamma para el procesamiento de alimentos. En: Knoerzer K, Juliano P, Smithers G, editores. *Tecnologías innovadoras de procesamiento de alimentos*. Cambridge (2021). pág. 101–7. doi: 10.1016/B9780081005965.230515 121.
- Camaraza Medina, Y. (2020). *Introducción a la termotransferencia*. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria de Cuba. <http://www.eduniv.cu/items/show/32670>
- Castañeda, A. vildózola (2020) *INSECTOS BARRENADORES DE ANONÁCEAS*. FUNDACIÓN SALVADOR SÁNCHEZ COLIN CICTAMEX, S.C.
- Cayeros, S. E., Robles, F. J. y Jiménez, A. (2017). Guanábana en el municipio de Compostela, Nayarit. *EDUCATECONCIENCIA*, 13(14), 27-36. Recuperado de [https://192.100.162.123:8080/bitstream/123456789/1442/1/Guanaban aenelmunicipiodeCompostelaNayaritpdf](https://192.100.162.123:8080/bitstream/123456789/1442/1/Guanaban%20aenelmunicipiodeCompostelaNayaritpdf).
- Cham, A. K., Luna-Esquivel, G., Robles-Bermúdez, A., Ríos-Velasco, C., Coronado-Blanco, J. M. y Cambero-Campos, O. J. (2019). Insects Associated with the Soursop (*Annona muricata* L.) Crop in Nayarit,

Mexico. Florida Entomologist, (102), 359. doi:
<https://doi.org/10.1653/024.102.0211>.

Codex Alimentarius Commission (2003). Codex general standards for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

CORIA, A.; MONTALVO, E.; YAHIA, E.; et al. *Annona muricata*: A comprehensive review on its traditional medicinal uses, phytochemicals, pharmacological activities, mechanisms of action and toxicity. *Arabian Journal of Chemistry*. 2018, 11 (5), pp.662 691.ISSN:1878-5352.

Correa, M. D., & Stevenson, J. A. (2002). *Annona muricata*. En: *Flora de la República de Cuba*. Vol. 4. pp. 1-16.

Cruz, C. J. G., Torres, L. P. A., Delgado, M. J. C., Dominguez, M. V., Martínez, P.D. y Franco, M. O. 2002. *El guanábano: Agronomía y usos de frutales tropicales*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México.117

Datos Internacionales sobre Tolerancia a los Productos Básicos (IDCT) 2024. Recuperado el 05 de mayo de 2024, de www.iaea.org/es/recursos/base-de-datos-internacional-sobre-tolerancia-de-los.

Dickson J S. Radiation inactivation of microorganisms. In: Molins RA, ed. *Food irradiation: principles and applications*. New York: John Wiley, 2001.

Diehl J F. *Safety of irradiated foods*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995.

Ehling, S., Cole, S., & Barach, J. (2010). *Food irradiation: an industry perspective*. Food Engineering & Ingredients. <https://link.gale.com/apps/doc/A253447308/PPCA?u=uan&sid=bookmark>.

EPA (2024). Environmental Protection Agency. Conceptos básicos sobre la radiación. (Cobalto-60).<https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cobalt-60>.

Fan, X. (2012). Ionizing Radiation. In V. M. Gómez-López (Ed.), *Decontamination of fresh and minimally processed produce* (pp. 379-405). United States of America: Wiley-Blackwell.

FAO-Norma General del Codex Alimentarius para Alimentos Irradiados CXS 106-1983, Rev.09-2024: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards...>

- Follett, P. A., & Armstrong, J. W. (2004). Revised irradiation doses to control melon fly, Mediterranean fruit fly, and oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) and a generic dose for tephritid fruit flies. *Journal of Economic Entomology*, 97(4), 1254–1262.
- Follett, P.A., 2009. Generic radiation quarantine treatments: the next steps. *J. Econ. Entomol.* 102 (4), 1399–1406. <https://doi.org/10.1603/029.102.0401>
- Golding, J.B., Blades, B.L., Satyan, S., Jessup, A.J., Spohr, L.J., Harris, A.M., Banos, C., Davies, J.B. (2014). Low gamma irradiation does not affect the quality, proximate or nutritional profile of 'Brigitta' blueberry and 'Maravilla' raspberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 96, 49–52. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.002>.
- Golding, J.B., Singh, S.P. (2020). Advances in the use of irradiation for the market access of fresh horticultural produce. *Advances in postharvest management of horticultural produce*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, pp. 251–272.
- González-Aguilar G A, M A Villegas-Ochoa, F Cuamea-Navarro, J F Ayala-Zavala (2006) Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. In: I Simposio iberoamericano de Vegetales Frescos Cortados. G A González-Aguilar y F Cuamea-Navarro (eds). pp: 59-64.
- Grijalva-Verdugo, C. P., Rodríguez-Núñez, J. R., Núñez-Colín, C. A., Aguirre-Mancilla, C. L., Montoya-Anaya, D., Villarreal-Fuentes, J. M., Balois-Morales, R., & Rodríguez-Carrillo. M. G. (2022). Polifenólicos totales, antioxidantes y citotóxicos actividad de las infusiones de guanábana (*Annona muricata*) hojas de dos regiones mexicanas. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 300-310. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.102621>
- Guillermo Santiago Martínez. (2015). México: Irradiación como medida fitosanitaria. DGSV, SENASICA.
- Hallman, G.J., 2016. Generic phytosanitary irradiation dose of 300 Gy for Insecta excluding pupal and adult Lepidoptera. *Fla. Entomol.* 99, 206–210. [https://doi.org/10.1016/1359-0197\(91\)90041](https://doi.org/10.1016/1359-0197(91)90041).
- Hallman, Guy J. P. Loaharanu. (2002). Generic Ionizing Radiation Quarantine Treatments Against Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) Proposed, *Journal of Economic Entomology*, Volume 95, Issue 5, 1 October 2002, Pages 893–901, <https://doi.org/10.1093/jee/95.5.893>
- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., López-Martínez, V. y Castañeda-Vildozola, A. (2018). Xylophagous insects associated with soursop

(*Annona muricata* L.)1 branches, affected by *Lasiodiplodia theobromae* Pat2. *Southwestern Entomologist*, 43(2), 543-546.
<https://doi.org/10.3958/059.043.0228>.

Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., López-Martínez, V. y Castañeda-Vildozola, A. (2018). Xylophagous insects associated with soursop (*Annona muricata* L.)1 branches, affected by *Lasiodiplodia theobromae* Pat2. *Southwestern Entomologist*, 43(2), 543-546.
<https://doi.org/10.3958/059.043.0228>.

Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., y Orozco-Santos, M. (2014). El barrenador de las semillas *Bephratelloides cubensis* y su manejo en el cultivo de guanábana. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México: *INIFAP*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/270882946_El_barrenador_de_las_semillas_Bephratelloides_cubensis_y_su_manejo.

Hernández-Fuentes, L. M., Nolasco-González, Y., & Cruz-Gutiérrez, E. J. (2017). Selección y caracterización de guanábana y recomendaciones para su manejo agronómico. Nayarit, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y pecuarias. Recuperado de <https://docplayer.es/94946361.Seleccion-y-caracterización-de-guanábana-y-recomendaciones-para-su-manejo-agronomico.html>.

Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L. & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>.

ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares) Recuperado el 10 de agosto de 2024. <https://www.inin.gob.mx/>

IPNI (International Plant Names Index). (2022). *Annona muricata* L. <https://powo.science.kew.org/taxon/14308-2?>

Jain, A., Ornelas-Paz, J.J., Obenland, D., Rodriguez, K., Prakash, A., 2017. Effect of phytosanitary irradiation on the quality of two varieties of pummelos (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.). *Sci. Hortic.* 217, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.029>.

Jiménez, V. M.; Gruschwitz, M.; Schweiggert, R. M.; Carle, R. and Esquivel, P. 2014. Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata* L.) pulp by high performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Res. Inter.* 65(Part A):42-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.051>

- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-tejacal, I., Juárez-lópez, P. y Sumaya, M. T. (2016). Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1261-1270. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601261
- Kader, A.A. (2002) Postharvest technology of horticultural crops. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311. 535 p.
- Katsumura, Y., & Kudo, H. (2018). Radiation and Sources. En H. Kudo, Radiation Applications (págs. 1-6). Berlin: Springer.
- Kava, R. (2007). Irradiated foods (6th ed.). United States of America: American Council on Science and Health.
- Kim, K.H., Kwon, J.S., Lee, J.O., Lee, B.C., Park, S.H., Yook, H.S., 2007. Physicochemical changes of electron beam-irradiated Korean kiwifruits at low dose levels. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36 (5), 603–608. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2007.36.5.603>.
- Kobayashi Y. (2018) Food Irradiation: Radiation-Based Sterilization, Insecticidal, and Inhibition of Sprouting Technologies for Foods and Agricultural Produce. In: Kudo H. (eds) Radiation Applications. An Advanced Course in Nuclear Engineering, vol 07. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978_981-10-7350-2_15.
- Kulsum J., Khalid B., Vaibhav K. M. (2020). Gamma Irradiation and Food Properties. Eds. Kai Knoerzer, Kasiviswanathan Muthukumarappan, Innovative Food Processing Technologie, Elsevier. (pp. 41-60). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23052-7>.
- L'Annunziata Michael F. (2012). Handbook of Radioactivity Analysis, Elsevier Science & Technology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384873-4.00001-3>.
- LEÓN, G.; GRANADOS, C.; OSORIO, M.D. Caracterización de la pulpa de *Annona Muricata* L. cultivada en el Norte del Departamento de Bolívar-colombia. *Rev cubana Plant Med.* 2016, 21(4), pp.1-9. ISSN 1028-4796.
- Li Mian & Meiping Tong (2017). Efficient bacterial inactivation with Z-scheme AgI/Bi₂MoO₆ under visible light irradiation.
- Lima, M. A. C.; Alves, R. E.; Filgueiras, H. A. C. e Enéas, F. J. 2003. Comportamento respiratório e qualidade pós-colheita de graviola (*Annona*

muricata L.) 'morada' sob temperatura ambiente. Rev. Bras. Frutic. 25(1):49-52.

Loaharanu P. Irradiated foods. 5th ed. rev. New York: American Council on Science and Health, 2003.

Lu, Z., Yu, Z., Gao, X., Lu, F., Zhang, L., 2005. Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. J. Food Eng. 67 (3), 347–351. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.038>.

Mahto, R., Das, M., 2013. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli' stored at 20C. Postharvest Biol. Technol. 86, 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.018>.

Martínez-Moreno, O. G., L. M. Anaya-Esparza, J. A. Sánchez Burgos, L. Meza-Espinoza, A. Pérez-Larios, J. E. Bojorquez Quintal and E. Montalvo-González. 2020. Effect of vacuum thermosonication on the inactivation of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, polyphenol oxidase and the quality parameters of soursop puree. Innovative Food Science & Emerging Technologies 59: 102255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102255>

McDonald, H., McCulloch, M., Caporaso, F., Winborne, I., Oubichon, M., Rakovski, C., Prakash, A., 2012. Commercial scale irradiation for insect disinfestation preserves peach quality. Radiat. Phys. Chem. 81 (6), 697–704.

McDonald, H., McCulloch, M., Caporaso, F., Winborne, I., Oubichon, M., Rakovski, C., Prakash, A., 2012. Commercial scale irradiation for insect disinfestation preserves peach quality. Radiat. Phys. Chem. 81 (6), 697–704.

Mead P S, Slutsker L, Dietz V, McCaig L R Bresee J S, Shapiro C, et al. Food-related illness and death in the United States. Emerg Infect Dis 1999; 5: 607-25.

Medina Araujo, S. M., & Reyes Torres, P. J. (2002). Radiaciones ionizantes y efectos sobre la materia. Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 12(1): 31-39. <https://doi.org/10.18359/rcin.1342>

Méndez, J. 2003. Perfil de mercado y productivo de la guanábana. Guatemala: Abt Associates Inc.

- Nishihira, J., 2020. Seguridad de los alimentos irradiados. En: Alimentos genéticamente modificados e irradiados. Editorial Académica, pp. 259-267.
- Nugraha, A. S.; Haritakun, R.; Lambert, J. M.; Dillon, C. T. and Keller, P. A. 2019. Alkaloids from the root of Indonesian *Annona muricata* L. Natural Product Research. 35(3):1-9. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1638380>.
- Núñez-Lagos Roglá, R. (2011). La radioactividad ambiental. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 2(2): 50-61. <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v2i2.82>.
- Obodovskiy, I. (2019) Nuclei and Nuclear Radiations. Fundamentals, Applications, Risks, and safety (Vol.I, pág. 41-62)
- OIEA (2022). Prevención de una emergencia en México por la mosca de la fruta gracias a una técnica nuclear. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/prevencion-de-una-emergencia-en-mexico-por-la-mosca-de-la-fruta-gracias-a-una-tecnica-nuclear>.
- OMS. (1989). Organización Mundial de la Salud. La irradiación de los alimentos. Una técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos. Ginebra, 1989.
- Organización Mundial de la Salud. (1994). Safety and nutritional adequacy of irradiated food. WHO, Geneva, 1994.
- P. Montoya, J. Toledo y E. Hernández (eds.) Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo, 2020. S y G editores, Ciudad de México. pp. 301-331.
- P. Montoya, J. Toledo y E. Hernández. (2020). Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo. Tratamientos Fitosanitarios de Poscosecha. Ciudad de México. pp. 301-331.
- Palacios. G., A., Carmen, Minaya, Agüero. (2023). ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL Y SENSORIAL DE UNA COMPOTA A BASE DE TOCOSH DE OCA (*Oxalis tuberosa* Mol), QUINUA (*Chenopodium quinoa*), MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*), GUANABANA (*Annona muricata*). doi: 10.57107/hyw. v3i1.54
- Penca, C., Beam, A.L., Bailey, W.D., 2023. The applicability of species sensitivity distributions to the development of generic doses for phytosanitary irradiation. Sci. Rep. 13 (1), 2358. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29492-1>.

- Phytosan S.A. de C.V. Recuperado el 05 de septiembre de 2024 de <https://www.benebion.com/>
- Piedra., M., G. (2019). Detección por Termoluminiscencia de Alimentos Irradiados. Área de Ingeniería Nuclear Departamento de Ingeniería Energética.
- Piedragil, C. G. (2017) "Guanábana, introducción exitosa al mercado de un cultivo no tradicional" en (comp.) 40 casos de éxito. Ciudad de México, SAGARPA. Recuperado de <https://docplayer.es/60107321-Guanabana-introduccion-exitosa-al-mercado-de-un-cultivo-no-tradicional.html>.
- Pimentel, R.M.D.A., Walder, J.M.M., 2004. Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. Sci. Agric. 61, 146–150. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000200004>.
- Raja, J., Masoodi, F.A., Hussain, P.R., Suradkar, P.P., 2023. Response of different cultivars of apricots to gamma irradiation under different storage conditions. Radiat. Phys. Chem. 202, 110518 <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110518>.
- Ramakrishnan, S.R., Jo, Y., Nam, H.A., Gu, S.Y., Baek, M.E., Kwon, J.H., (2019), Implication of low dose e-beam Irradiation as a phytosanitary treatment on physicochemical and sensory qualities during postharvest cold storage. Sci Hortic. 245, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.058>.
- Ramírez V. (2015). Química 1, Grupo Editorial Patria, México.
- Ramírez, J. 2008. Central Mayorista de Antioquia. Boletín informativo. Medellín. 25 p.
- Ramírez, M.; López, M. y Gutiérrez, A. 1998. Manejo postcosecha y comercialización de la guanábana (*Annona muricata* L.). Neiva: Sena. 300 p.
- Ravotti, F. (2018). Dosimetry Techniques and Radiation Test Facilities for Total Ionizing Dose Testing. IEEE Transactions on Nuclear Science, 65, 1440-1464.
- Reyes, H., H. (2023). Síntesis de polímeros estímulo-sensibles mediante radiación ionizante. UNAM.
- Ribeiro, J. E. L. S., & Hopkins, M. J. G. (2003). *Annona muricata*. En: Flora da Reserva Ducke.

- Rodrigues, F.T., Koike, A.C.R., da Silva, P.G., Negrão, B.G., de Alencar, S.M., Mancini Filho, J., Villavicencio, A.L.C., 2021. Efectos de la irradiación por haz de electrones sobre los componentes bioactivos de la baya de goji. *Radiat. Phys. Chem.* 179, 109144.
- Rosas, G.X. y Becerra, L.E.N. 2012. Manual de producción de guanábana (*Annona muricata* L.). Folleto técnico Número. 67. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. 89
- Rossi, L., Watson D., Escandarani, S., Miranda, A., & Troncoso, A. (2009). Radiation on the dining table. *Revista de* 10182009000500003.
- Ruíz-López GA, Questa AG, Rodríguez S. 2011. Evaluación del contenido de ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante en repollo mínimamente procesado con ozono gaseoso y UV-C. En: XIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL); 19 - 21 octubre, 2011; Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires: Editorial AATA. pp. 1 – 8.
- SADER (2024). Recuperado el 10 de agosto de 2024 <https://www.gob.mx/senasica/prensa/potencializa-mexico-la-capacidad-para-irradiar-frutas>.
- SENASICA (2015). Dirección General de Sanidad Vegetal. Dirección de Regulación Fitosanitaria. “Lineamientos para la Exportación de Productos con Tratamiento de Irradiación”.
- SENASICA (2023). Recuperado el 05 de agosto de 2024. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/alimentos-que-irradian-sanidad-y-seguridad>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022). Año agrícola 2022 ([Estructura del 2022.pdf](#)).
- Shahi, S., Khorvash, R., Goli, M., Ranjbaran, S.M., Najarian, A., Mohammadi Nafchi, A., 2021. Revisión de los diferentes métodos de irradiación propuestos para inactivar virus y microorganismos de procesamiento de alimentos. *Ciencia de la Alimentación Nutr.* 910, 5883–5896.
- Sharma, P., Sharma, S.R., Dhall, R.K., Mittal, T.C., 2020. Efecto de la radiación de γ en la vida útil de almacenamiento poscosecha y la calidad del bulbo de cebolla en condiciones ambientales. *J. Food Sci. Technol.* 577, 2534–2544.

- Solís, M. A. (2019). *Colima, segundo lugar nacional en cultivo de guanábana*. Recuperado de <https://www.inforural.com.mx/colima-segundo-lugar-nacional-en-cultivo-de-guanabana/>.
- Strydom, G.J., Whitehead, C.S., 1990. The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit. *Sci. Hortic.* 41 (4), 293–304.
- Sun, X., Follett, P.A., Postler, M., Wall, M.M., 2023. Postharvest quality of kiwifruit
- Sun, X., Follett, P.A., Postler, M., Wall, M.M., 2023. Postharvest quality of Kiwifruit (*Actinidia chinensis*) after X-ray irradiation quarantine treatment. *Hortscience* 58 (9), 1045–1048. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17284-23>.
- Susheela, K., Damayanti, M., Sharma, G.J., 1997. Irradiation of *Ananas comosus*: Shelf life improvement, nutritional quality and assessment of genotoxicity. *Biomed. Lett.* 56 (223-224), 135–144.
- Tezotto-Uliana, J.V., Berno, N.D., Saji, F.R.Q., Kluge, R.A., 2013. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. *Sci. Hortic.* 164, 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.026>.
- Thang, K., Au, K., Rakovski, C., Prakash, A., 2016. Effect of phytosanitary irradiation and methyl bromide fumigation on the physical, sensory, and microbiological quality of blueberries and sweet cherries. *J. Sci. Food Agric.* 96 (13), 4382–4389.
- Unión Europea. Directiva 1999/2/CE, de 22 de febrero de 1999, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1999a. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea.
- USDA (Departamento de Agricultura de EE. UU.). (2022). Servicio de Investigación Agropecuaria National Nutrient Database [FoodData Central \(usda.gov\)](https://www.ars.usda.gov/fooddatacentral/)
- Uthairatanakij, A., Cholmaitri, C., Aiamla-or, S., Jitareerat, P., 2018. Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Hortic.* (1210), 145–149. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.20>.
- Vidal H. L., López. M. H., Vidal M. N. A., Ruiz B. R., Castillo R. D. G., Chiquito C. R. G. 2014. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36. Nº. spel Jaboticabal.

- Was, G. S. (2007). Fundamentals of Radiation Materials Science. Berlin: Springer.
- Wills, R. B. H., & Golding, J. B. (2016). Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables (6th ed.). United Kingdom: CABI.
- Worrell, D. B.; Carrington, C. M. S. and Huber, D. J. (1994). Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. Scientia Hort. 57:7-15.
- Yoon, K.N., Yoon, Y.S., Hong, H.J., Park, J.H., Song, B.S., Eun, J.B., Kim, J.K., (2023). Gamma irradiation delays tomato (*Solanum lycopersicum*) ripening by inducing transcriptional changes. J. Sci. Food Agric. 103 (13), 6640–6653 <https://doi-org.chapman.idm.oclc.org/10.1002/jsfa.12760>.
- Yoon, Y.S., Ameer, K., Song, B.S., Kim, J.K., Park, H.Y., Lee, K.C., Eun, J.B., Park, J.H., (2020). Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang' strawberry (*Fragaria× ananassa*). Food Chem. 325, 126817 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126817>.
- Zhang, K., Deng, Y., Fu, H., Weng, Q., 2014. Effects of Co-60 gamma-irradiation and refrigerated storage on the quality of Shatang mandarin. Food Sci. Hum. Wellness 3 (1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2014.01.002>.

3. CAMBIOS FISICOQUÍMICOS Y FISIOLÓGICOS EN GUANÁBANA DESPUÉS DE RECIBIR DIFERENTES TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN

Resumen

Recientemente el interés comercial en guanábana (*Annona muricata* L.) ha aumentado, tanto en el mercado nacional como internacional debido a sus componentes nutricionales, antimicrobianos, antivirales y anticancerígenas. Debido a los requisitos de inocuidad alimentaria se ha propuesto la irradiación como tratamiento fitosanitario para exportación. Por ello el objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes dosis de irradiación en guanábanas cosechadas en Compostela, Nayarit. Se realizó un diseño experimental de parcelas divididas, en la primera fase del experimento se evaluaron cuatro tratamientos (0, 435, 852 y 1311 Gy) con cinco repeticiones en una instalación comercial, para la segunda fase de irradiación se ensayaron tres tratamientos (0, 150 y 400 Gy) con tres repeticiones utilizando un irradiador de laboratorio, en ambos casos la guanábana se almacenó por seis días a 24 ± 1.5 °C y $85 \pm 5\%$ de humedad relativa. Las variables respuesta fueron porcentaje de sólidos solubles totales, pH, ácido ascórbico, peso, pérdida de peso, color, acidez titulable, firmeza, respiración y etileno, la medición de las variables respuesta se realizó cada 24 horas. Las dosis de irradiación entre 150 y 1311 Gy no afectaron significativamente los SST ni el ácido ascórbico en los frutos de guanábana. Los frutos irradiados con dosis altas (1311 Gy) presentaron mayor firmeza y pérdida de peso, pero menor acidez titulable, mientras que los irradiados a dosis menores (150-435 Gy) mostraron mayor acidez, respiración y pH, pero mejor conservación de la firmeza. En general, mayores dosis de irradiación redujeron la tasa de respiración de los frutos.

Palabras clave: *Annona muricata*, irradiación, poscosecha.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Tania Angelina Pérez González.

Director de Tesis: Arturo Hernández Montes, Dr.

PHYSICOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHANGES IN SOURSOP AFTER RECEIVING DIFFERENT IRRADIATION TREATMENTS

Abstract

Recently, commercial interest in soursop (*Annona muricata* L.) has increased, both in the domestic and international markets due to its nutritional, antimicrobial, antiviral and anticancer components. Due to food safety requirements, irradiation has been proposed as a phytosanitary treatment for export. Therefore, the objective of this research was to evaluate different doses of irradiation on soursop harvested in Compostela, Nayarit. In the first phase of the experiment, four treatments (0, 435, 852 and 1311 Gy) with five replicates were evaluated in a commercial facility. For the second irradiation phase, three treatments (0, 150 and 400 Gy) with three replicates were tested using a laboratory irradiator; in both cases, the soursop was stored for six days at 24 ± 1.5 °C and $85 \pm 5\%$ relative humidity. The response variables were percentage of total soluble solids, pH, ascorbic acid, weight, weight loss, color, titratable acidity, firmness, respiration and ethylene, the measurement of the response variables was made every 24 hours. Irradiation doses between 150 and 1311 Gy did not significantly affect TSS or ascorbic acid in soursop fruits. Fruits irradiated at high doses (1311 Gy) showed higher firmness and weight loss, but lower titratable acidity, while those irradiated at lower doses (150-435 Gy) showed higher acidity, respiration and pH, but better preservation of firmness. In general, higher irradiation doses reduced fruit respiration rate.

Key words: *Annona muricata*, irradiation, postharvest.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Tania Angelina Pérez González.

Director de Tesis: Arturo Hernández Montes, Dr

3.1 Introducción

En los años recientes se ha incrementado el interés y el beneficio económico por comercializar anonáceas, principalmente guanábanas siendo el fruto de esa familia la más importante, ya que se distribuye en poco más de la mitad de los estados de la república, además del aumento en la demanda en mercados nacionales e internacionales como fruta fresca y también procesada (pulpas y jugos) Hernández-Fuentes et al., (2016). En varios países es considerada como una planta medicinal que constituye una alternativa común para el tratamiento del cáncer gástrico y gastrointestinal en muchos lugares del mundo (Alonso et al., 2010). La utilización y mejora de la comercialización de la guanábana se debe principalmente, desde un punto de vista alimentario, a los componentes nutricionales que se han determinado en los últimos años en este fruto (Ojeda et al., 2007).

El estado de Nayarit ha jugado un papel importante en la producción a lo largo de los años, ya que ha sido el principal productor de guanábana (*Annona muricata* L.) a nivel mundial, la mayoría de la producción se realiza en árboles a pie franco (Jiménez et al., 2016).

Hernández et al., (2017) reporta que existe una gran diversidad de genotipos de guanábana en México, debido a su diversidad geográfica, ya que, la mayoría de las plantaciones establecidas corresponden a árboles propagados por semillas.

Los estados de México con mayor superficie comercial de guanábana son Nayarit (67%), Colima (12.5%) y Michoacán (8%) que sumados representan el 87% del total de producción nacional; el municipio de Compostela en Nayarit representa el 66 % de la superficie productora de guanábana nacional y destaca entre los estados con mayor rendimiento por hectárea en el país (SIAP, 2020).

La creciente demanda del fruto de guanábana, no solo se debe a su exótico sabor agri dulce, sino también a sus propiedades nutraceuticas para contribuir a la salud de los consumidores Bazán et al., (2018). En un estudio de Nolasco et al., (2023)

en una bebida hecha a base de pulpa y hoja de guanábana se encontraron compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos y las acetogeninas.

Las acetogeninas son compuestos exclusivos de la familia Annonaceae y son ampliamente estudiados en etnobotánica porque presentan actividades biológicas, antimicrobianas, antivirales y anticancerígenas (López et al., 2022). Gracias a las bondades que se han ido descubriendo de frutos ha llevado a un incremento en la demanda en diversos mercados internacionales, sin embargo, existen barreras para la comercialización del fruto. México no puede exportar ciertos frutos tropicales a algunos países, principalmente a Estados Unidos, sin cumplir con requisitos fitosanitarios. La guanábana como otros frutos tropicales son propensos a plagas, como los barrenadores, avispas y especies de moscas de la fruta, que, aunque no hay certeza de que estén presentes en los cultivos, para su correcta exportación deben cumplir con las certificaciones que indiquen que los huertos y las frutas estén libres de estas plagas.

La Administración de Protección Ambiental en los Estados Unidos (EPA) y el Departamento de Agricultura han establecido como requisito que las frutas tropicales y los productos agrícolas perecederos que se exportan de México a Estados Unidos sean irradiados, para garantizar la seguridad alimentaria y prevenir la propagación de plagas y enfermedades (USDA, 2022).

Con el principal objetivo de facilitar el intercambio comercial de productos frescos entre México y Estados Unidos, las agencias sanitarias de ambos países han certificado diferentes plantas de irradiación en sus territorios, las cuales tienen como objetivo eliminar plagas y bacterias de los productos. La irradiación usada como un tratamiento fitosanitario es una variante de los procesos cuarentenarios convencionales, teniendo como propósito neutralizar las plagas y minimizar los riesgos en sanidad vegetal con los países que importan los productos. Las razones principales para la irradiación son el control de plagas y prevención de enfermedades reduciendo el riesgo de introducir especies invasoras en Estados Unidos. Entre las ventajas del tratamiento son de destacar; la fruta estará libre

de químicos, puede lograr estar más madura al momento de su exportación y como no es sometida a altas temperaturas, logra conservar sus propiedades, su sabor y su calidad, además de ser un método sustentable. Adicionalmente, es un tratamiento muy ágil, ya que los productos tardan aproximadamente solo dos horas dependiendo las dosis desde que ingresan a la planta hasta que salen en pallets para su distribución (SADER, 2020).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios fisicoquímicos y fisiológicos poscosecha en guanábana, de Las Varas, Compostela, Nayarit, después de ser irradiadas tratadas a diferentes dosis de irradiación, que han sido recomendadas para eliminar la presencia de las principales plagas que afectan que son de importancia económica para la cadena de exportación.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Material vegetativo

Frutos de guanábana (*Annona muricata L.*) de la variedad Criollas- Nayar fueron obtenidos de huertas del ejido Las Varas, Compostela, Nayarit. Localizado a 21°10'46" latitud norte y 105°08'07" latitud oeste, a una altitud de 27 msnm.

Las guanábanas se cosecharon en una madurez comercial y fueron seleccionadas de acuerdo con los criterios siguientes:

- Que no presentaran algún tipo de daño físico como; golpes, malformaciones o magulladuras etc. (Exentas de manchas cafés o necróticas y de un diámetro aproximado de 10 centímetros)
- Color verde claro (mate).
- Espinas blandas.
- Calidad: Extra (<5% lesiones del área superficial).
- Pesos de 300 - 450 gramos aproximadamente.

Las guanábanas fueron cosechadas durante la noche, empacadas en rejas de 50 kg y trasladadas en un camión Torton durante 10 horas de Las Varas, Compostela, a la central de abastos de la Ciudad de México, quedando disponibles al día siguiente.

3.2.2 Irradiación del material de estudio

El experimento se realizó en dos fases, para la primera irradiación la guanábana se cosechó a mediados del mes de mayo y el tratamiento se realizó en una planta comercial; en la segunda fase la guanábana se cosechó a mediados del mes de junio y la irradiación se llevó a cabo en un irradiador de laboratorio.

3.2.3 Planta comercial

La planta Benebión es la única planta de irradiación comercial de alimentos que se encuentra trabajando actualmente en México, se encuentra ubicada en KM 7+250 Carretera Federal 57, Tramo Matehuala-Salttillo, 78760 Matehuala, San Luis Potosí.

Una vez adquirida la guanábana fue trasladada de la Ciudad de México a la planta comercial en una camioneta con aire acondicionado, durante 8 h a una temperatura 24 ± 2 °C y 55 % de HR para recibir el tratamiento en la planta Benebión. El producto estuvo en espera durante 10 horas antes de ser ingresado a la planta, donde fue irradiado, con un irradiador de rayos gamma Nordion JS10000, (CA) de dos pasos y dos niveles, usando al cobalto-60 como fuente de irradiación.

Las dosis para el tratamiento solicitadas fueron: 150, 400 y 800 Gy. Sin embargo, las dosis promedio ($n= 3$), cuantificadas con dosímetros de alanina, que recibieron los frutos fueron de 435, 852 y 1311 Grays. Al finalizar el tratamiento se trasladó el material vegetativo a la Universidad Autónoma Chapingo para ser ingresadas a una cámara frigorífica durante toda la noche a una temperatura de 24 ± 2 °C y 85 % de HR. Se irradiaron un total de 140 unidades experimentales.

Laboratorio de Irradiación

Para la segunda fase, 12 horas después de la cosecha se recibieron en la Central de Abastos las guanábanas que fueron seleccionadas y fueron trasladadas en una camioneta equipada con aire acondicionada, durante 1 hora a 25 ± 2 °C y 52 % de HR, al Instituto de investigaciones Nucleares (ININ) ubicado en la Carretera México Toluca-La Marquesa s/n, Ocoyoacac, Estado de México. C.P. 52750, donde fue irradiado en el equipo LGI-01 TRANSELEKTRO, (HUN) con cobalto-60.

Las dosis solicitadas fueron de 150 y 400 Gy, debido a las condiciones de la fuente radioactiva, el tiempo para la dosis de 150 Gy fue de 10 horas y para las dosis de 400 Gy fue de 20 horas; el proceso total de irradiación fue de 30 horas. Al final de la irradiación los frutos fueron transportados a la Universidad Autónoma Chapingo en una camioneta con aire acondicionado, durante 2 horas a 25 ± 2 °C y 65 % de HR, e ingresadas en una cámara frigorífica durante toda la noche, a una temperatura de 24 ± 2 °C y 85 % de HR. Se irradiaron un total de 60 unidades experimentales.

3.2.4 Variables de respuesta

Sólidos Solubles Totales

Se obtuvo una gota de la pulpa de guanábana y se colocó cuidadosamente en un refractómetro digital, marca ATAGO (PAL-3, 0-93%, (USA) los resultados se registraron a partir de la lectura directa del instrumento (AOAC 985.17-2012).

pH

Se determinó de acuerdo con la NOM-F-317-NORMEX-2013; se colocó un gramo de muestra en un vaso de precipitado y se le añadieron 10 mL de agua destilada recién hervida y enfriada (evitar crecimiento microbiano). Al filtrado se le introdujo el electrodo de un potenciómetro marca Thermo Orion (420) (USA) el cual se calibró con soluciones reguladoras de pH = 4 y pH = 7. Los resultados se

registraron a partir de la lectura directa del instrumento, después de equilibrar la lectura por aproximadamente un minuto.

Color

El color se midió en la epidermis de las frutas mediante un colorímetro Hunter Lab Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA. Se calibró de acuerdo con el instructivo, y se utilizó la escala CIELAB (Commission Internationale de l'Eclairage L*, a* y b*), iluminante D₆₅, y ángulo del observador de 10°. Los resultados obtenidos en este apartado se expresaron en porcentaje de luz reflejada (valor de L*), ángulo de tono (°) e índice de saturación de color, con las siguientes ecuaciones (1) y (2).

$$\text{Ángulo de tono (}^\circ\text{)} = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Índice de saturación} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ec. (2)}$$

Acidez titulable

Esta se expresa como gramos de ácido cítrico por 100 gramos de muestra, de acuerdo con el método de la AOAC 942.15. Se pesó un gramo de pulpa y se diluyó con 10 mL agua destilada hervida, se le agregaron dos gotas de fenoltaleína al 0.1%, la disolución se homogenizó y se tituló con hidróxido de sodio 0.09 N, hasta que el indicador cambió de color. La acidez titulable se determinó utilizando la Ecuación (3).

$$\text{Porcentaje de ácido cítrico} = ((V * N)/1000) * \frac{(\text{EqH}^+ + *PM H^+ * 100)}{g} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

V= Volumen de NaOH utilizado en la titulación (mL)

N= Normalidad del NaOH (Eq L⁻¹)

Eq H⁺= Equivalentes del ácido cítrico

PM H⁺= Peso molar del ácido cítrico

g= Gramos de muestra

Peso

Para pesar se utilizó una balanza digital, marca Adam Equipment modelo ADP 2100L, (UK) se pesaron cada una de las unidades experimentales cada 24 horas del día 1 al 6 y se registró el resultado. (AOAC 985.14)

Pérdida fisiológica de peso

Se midió la tasa de pérdida de peso en los días (1,2,3,4,5 y 6) de almacenamiento. Se pesó el día 1 y posteriormente cada 24 horas durante todo el período de estudio a temperatura ambiente. La pérdida de peso se consideró como la diferencia entre el peso inicial del fruto y el peso en el día correspondiente y se expresó como porcentaje de pérdida. Se utilizó una balanza digital (marca AE, modelo ADP 2100L) (Nolasco-González et al., 2019)

Se calculó el porcentaje de la pérdida fisiológica de peso (% PFP), mediante la Ecuación (4)

$$\%PFP = \frac{100(Pi - Pf)}{Pi} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

Pi: Peso inicial del fruto fresco

Pf: Peso final.

Comportamiento respiratorio (CO₂) y producción de etileno (C₂H₄)

Se determinaron las concentraciones de CO₂ y C₂H₄ desprendidos en el espacio de cabeza, utilizando el método estático (Fonseca et al., 2002; Makky, Paschalidis, Soni, Manganaris & Dhima, 2014). El Equipo usado fue en un cromatógrafo de gases, (Agilent Technologies 7890B, USA). La tasa respiratoria se determinó colocando los frutos en recipientes impermeables, las muestras de aire fueron tomadas con jeringas cromatográficas de vidrio. Se colocó un fruto de peso y volumen conocido dentro de un contenedor de plástico cerrado herméticamente, pasada una hora, una muestra de un mL de la atmósfera del contenedor fue inyectada al cromatógrafo de gases, conectado a 2 detectores. Para medir el CO₂ de la respiración se utilizó el detector de conductividad térmica (TCD) y para etileno el detector de ionización de flama (FID). Las condiciones de operación que se utilizaron para etileno fueron: columna a 100 °C; FID a 150 °C con flujos de aire, H₂ y N₂ de 400, 25 y 25 mL min⁻¹ respectivamente. Y las condiciones para CO₂ fueron: columna a 180 °C temperatura del inyector 120 con un flujo de N₂ de 25 mL min⁻¹. La concentración de CO₂ se obtuvo a partir de una curva de calibración y se registró como mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. El tiempo de retención para identificar CO₂ fue de 2.07 min y para el de C₂H₄ de 2.27 min.

Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se cuantificó con el método de la AOAC 967.21. Los reactivos utilizados fueron: tricloroacético al 2% diluido en agua bidestilada y disolución de fenol Folin Ciocalteu al 10%. Se pesó 0.5 g de muestra y se agregó cinco mL de ácido tricloroacético al 20%, se homogeneizó a 5° C y se dejó reposar cinco minutos y se centrifugó a 17000 rpm por 20 minutos. Del sobrenadante se tomaron 400 µl y se agregaron 3.2 ml de agua bidestilada y 400 µl de Folin. Se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 10 minutos, finalmente se pasó a una celda a 760 nm en un espectrofotómetro UV-Visible Thermo Scientific Serie GENESYS 10S GENESYS, (USA). Finalmente, la concentración

obtenida de ácido ascórbico se expresó en mg de ácido ascórbico por 100 gramos de peso fresco.

Firmeza

Se determinó en la parte ecuatorial de los frutos con un texturómetro universal TA. XT2i (Stable Micro Systems UK, Surrey, RU), utilizando los siguientes parámetros: una celda de carga de 2 kg, puntal cónico, la velocidad de preensayo fue de 2.0 mm s^{-1} , la velocidad de ensayo fue de 1.0 mm s^{-1} velocidad de postensayo de 3 mm s^{-1} , con una distancia de penetración 5 mm. La máxima fuerza se reportó como firmeza de la cáscara y la fuerza en la máxima distancia fue la firmeza de la pulpa, expresadas en N. (ISO 6675:2008).

3.2.5 Diseño experimental

Primera fase de irradiación:

Se ensayaron cuatro tratamientos (0, 435, 852 y 1311 Gy) con cinco repeticiones, durante seis días de almacenamiento a $24 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85 \pm 5\% \text{ HR}$.

Segunda fase de irradiación:

Se ensayaron tres tratamientos (0, 150 y 400 Gy) con tres repeticiones durante seis días de almacenamiento a $24 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85 \pm 5\% \text{ HR}$. Las mediciones se realizaron cada 24 horas en ambas fases.

Modelo estadístico

El diseño de parcelas divididas se aplican niveles de uno o más factores a las parcelas completas que se dividen en subparcelas, las cuales se aplican los niveles de uno o más factores adicionales. El diseño básico implica la asignación de tratamientos de un factor a parcelas principales en un diseño completamente aleatorio, de bloques completos al azar.

Primera fase

El experimento se estableció de acuerdo con un diseño completamente al azar, con arreglo de parcela dividida, en la parcela mayor se asignaron las dosis de irradiación (0,435, 852 y 1311 Gy) y las parcela menor fueron los tiempos de almacenamiento (1,2,3,4,5,6 días)

La unidad experimental fue un fruto de guanábana, para cada uno de los tratamientos se utilizaron 35 unidades experimentales con un total de 140 unidades.

La parcela menor que correspondía al día uno, estuvo formada por 10 unidades experimentales, cinco unidades fueron destinadas a pruebas no invasivas, las cuales fueron: peso, color, respiración y etileno; las otras cinco unidades experimentales recibieron pruebas invasivas (firmeza, pH, acidez titulable, brix y vitamina C). En la subparcela que correspondía al día dos, se mantuvieron las cinco unidades no invasivas para seguir con las mediciones (peso, color, respiración y etileno) se desecharon las cinco unidades que fueron utilizadas en las mediciones invasivas del día uno y se agregaron cinco unidades experimentales para continuar con las mediciones invasivas, dando un total de 15 unidades para el día dos, y así sucesivamente hasta el día seis, como se desglosa a continuación:

- a) Día 1: 10 Unidades experimentales (cinco para no invasivas más cinco para invasivas).
- b) Día 2: 15 Unidades experimentales. (cinco unidades del día 1 se desechan, más 5 nuevas).
- c) Día 3: 20 Unidades experimentales. (cinco unidades del día 2 se desechan, más cinco nuevas).
- d) Día 4: 25 Unidades experimentales (cinco unidades del día 3 se desechan, más cinco nuevas).
- e) Día 5: 30 Unidades experimentales (cinco unidades del día 4 se desechan, más cinco nuevas).

- f) Día 6: 35 Unidades experimentales (cinco unidades del día 5 y cinco se desechan, más cinco nuevas).

Es decir 35 unidades en total por tratamiento.

Segunda fase

El experimento se estableció de acuerdo con un diseño de parcela dividida, en la parcela mayor se asignaron las dosis de irradiación a las cuales se les aplicó una de las siguientes dosis: 0,150 y 400 Gy. En las parcelas divididas fue el tiempo de vida útil de la guanábana (1,2,3,4,5,6 días).

- 1: Tratado con dosis establecida de irradiación 150 Grays (Requerido por USDA-APHIS) (21 unidades experimentales)
- 2: Tratado a 400 Grays. (21 unidades experimentales)
- 3: Prueba testigo, sin ningún tratamiento de irradiación (0 Grays). (21 unidades experimentales).

Total: 63 unidades experimentales.

La subparcela que corresponde al día uno fueron seis unidades experimentales, seis unidades fueron destinadas a pruebas no invasivas, las cuales fueron; peso, color, respiración y etileno. Las otras tres unidades experimentales recibieron pruebas invasivas (firmeza, pH, acidez titulable, brix y vitamina C). La subparcela que correspondía al día dos, se mantuvieron las tres unidades no invasivas para seguir con las mediciones (peso, color, respiración y etileno) se desecharon las tres unidades que fueron utilizadas en las mediciones invasivas del día uno y se agregaron tres unidades experimentales para continuar con las mediciones invasivas dando un total de nueve unidades en el día dos y así sucesivamente hasta el día seis como se muestra a continuación:

- a) Día1: 6 Unidades experimentales (tres no invasivas más tres invasivas).
- b) Día 2: 9 Unidades experimentales (tres unidades del día 1 se desechan, más tres nuevas).
- c) Día 3: 12 Unidades experimentales (tres unidades del día 2 se desechan, más tres nuevas).
- d) Día 4: 15 Unidades experimentales (tres unidades del día 3 se desechan, más tres nuevas).
- e) Día 5: 18 Unidades experimentales (tres unidades del día 4 se desechan, más tres nuevas).
- f) Día 6: 21 Unidades experimentales (tres unidades del día 5 y cinco se desechan, más tres nuevas).

Es decir 21 unidades en total por tratamiento

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Cambios en variables fisicoquímicas

Del primer análisis de las parcelas mayores, el análisis de varianza mostró (Cuadro 6) que no existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las diferentes dosis de irradiación (0,435,852 y 1311 Gy), para las diferentes variables de respuesta (SST, pH y ácido ascórbico), a excepción de acidez titulable, que si mostró significancia estadística ($P < 0.05$).

Cuadro 6. Efecto de las diferentes dosis de irradiación en las variables fisicoquímicas a los seis días de almacenamiento en la fase uno.

Variables	0 Gy	435 Gy	852 Gy	1311 Gy
Sólidos Solubles Totales (Brix)	17.15 ± 2.84 a	16.44 ± 2.72 a	16.06 ± 2.10 a	16.10 ± 1.95 a
pH	4.08 ± 0.38 a	4.00 ± 0.34 a	4.03 ± 0.31 a	4.07 ± 0.33 a
Acidez titulable (%)	0.58 ± 0.82 a	0.59 ± 0.54 a	0.55 ± 0.83 b	0.54 ± 0.66 b
Ácido Ascórbico (mg)	31.80 ± 3.30 a	31.76 ± 3.19 a	31.65 ± 3.46 a	31.32 ± 2.96 a

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la segunda fase (Cuadro 7) en la cual se sometió a la fruta a dosis de irradiación de 0, 150 y 400 Gy la parcela mayor no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) en SST, y ácido ascórbico, sin embargo, en pH y acidez titulable si presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$).

Cuadro 7. Efecto de las diferentes dosis de irradiación en las variables fisicoquímicas a los seis días de almacenamiento en la fase dos.

Variables	0 Gy	150 Gy	400 Gy
Sólidos Solubles Totales (Brix)	22.23 ± 1.89 a	21.40 ± 1.52 a	21.34 ± 1.88 a
pH	4.01 ± 0.24 b	3.98 ± 0.22 b	4.13 ± 0.38 a
Acidez titulable (%)	0.69 ± 0.59 a	0.68 ± 0.74 ab	0.65 ± 0.54 b
Ácido Ascórbico (mg)	39.98 ± 3.31 a	40.98 ± 4.32 a	39.77 ± 4.48 a

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En ambas fases para SST y ácido ascórbico no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las diferentes dosis de irradiación.

Para las parcelas menores (días) se observó en la primera fase que todas las variables fisicoquímicas mostraron significancia ($P < 0.05$). Los SST y el pH aumentaron al paso de los días, acidez titulable y ácido ascórbico disminuyeron (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto en las variables fisicoquímicas por día durante los días de almacenamiento en la fase uno.

Días	Sólidos solubles totales (Brix)	pH	Acidez titulable (%)	Ácido Ascórbico (mg)
Día 1	14.36 ± 1.28 c	3.740 ± 0.32 d	0.66 ± 0.51 a	34.86 ± 1.91 a
Día 2	16.97 ± 1.76 ab	3.86 ± 0.26 cd	0.61 ± 0.80 b	35.36 ± 1.68 a
Día 3	16.40 ± 2.59 b	4.04 ± 0.35 bc	0.57 ± 0.55 c	32.21 ± 1.31 b
Día 4	16.75 ± 3.77 ab	4.13 ± 0.34 b	0.51 ± 0.34 e	30.05 ± 1.58 c
Día 5	16.36 ± 1.68 b	4.18 ± 0.22 ab	0.51 ± 0.48 e	28.69 ± 1.72 d
Día 6	17.81 ± 1.39 a	4.33 ± 0.14 a	0.54 ± 0.22 d	28.63 ± 1.83 d

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la segunda fase la única variable que no tuvo significancia ($P < 0.05$) de las parcelas menores fue SST (Cuadro 9) todas las demás mostraron significancia ($P < 0.05$). En ambas fases los SST y el pH aumentaron a lo largo de los días de almacenamiento y la acidez titulable y el ácido ascórbico disminuyeron.

Cuadro 9. Efecto en las variables fisicoquímicas por día en la fase dos durante los días de almacenamiento.

Días	Sólidos solubles totales (Brix)	pH	Acidez titulable (%)	Ácido Ascórbico (mg)
Día 1	20.82 ± 1.09 a	3.84 ± 0.08 c	0.73 ± 0.52 a	44.58 ± 44.58 a
Día 2	21.55 ± 2.45 a	3.82 ± 0.10 c	0.66 ± 0.71 b	41.41 ± 3.83 b
Día 3	21.61 ± 1.97 a	3.84 ± 0.09 c	0.69 ± 0.57 ab	38.27 ± 2.12 c
Día 4	21.63 ± 1.19 a	3.94 ± 0.09 b	0.66 ± 0.75 b	38.01 ± 1.95 c
Día 5	21.93 ± 2.06 a	4.38 ± 0.27 a	0.66 ± 0.59 b	40.70 ± 3.77 bc
Día 6	22.41 ± 1.74 a	4.42 ± 0.13 a	0.64 ± 0.45 b	38.51 ± 4.42 bc

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Sólidos Solubles Totales

Los sólidos solubles totales (SST) en ambas fases tuvieron la tendencia de incrementar a lo largo de los seis días de almacenamiento después de la irradiación (Figura 6). De acuerdo con (Carlos et al., 2011) Los sólidos solubles totales en frutos de guanábana aumentan durante la maduración, alcanzando valores más altos en la madurez de consumo.

Los SST resultantes en la primera fase fueron en promedio 16.43 °Brix con un mínimo de 16.04 °Brix a 435 Gy y un máximo de 17.15 °Brix a 0 Gy. En la fase dos obtuvieron un promedio de 21.65 °Brix con un mínimo de 21.34 a 400 Gy y un máximo de 22. 23 °Brix a 0 Gy (Figura 7). Los °Brix resultaron arriba del promedio registrado en la literatura en guanábana, lo cual se relaciona con el estado de madurez comercial de los frutos.

Para guanábanas de esa región Terán (2019) reportó en un estudio de caracterización química de guanábana del municipio de Compostela, Nayarit que los SST en promedio fueron; 14.2 °Brix, un mínimo de 8.2 y máximo de 20.1 Brix. Por otro lado, Jiménez et al., (2016) indicaron que en promedio los SST de frutos de guanábana de árboles de Tepic, Nayarit fueron 10.9 °Brix, aunque su intervalo fue de 7.1 a 14° brix Golding et al., (2024) mencionan que los efectos de la irradiación sobre los niveles de contenido de sólidos solubles totales que se han reportado en frutos tropicales son de poca diferencia entre los productos tratados y no tratados con irradiación Mitchell., et al. (1992) demostraron que la aplicación de irradiación gamma de 0 a 300 Gy en pimientos, chirimoyas, lichis, mandarinas, mangos, nectarinas y papayas no tenía ningún efecto sobre los niveles de SST.

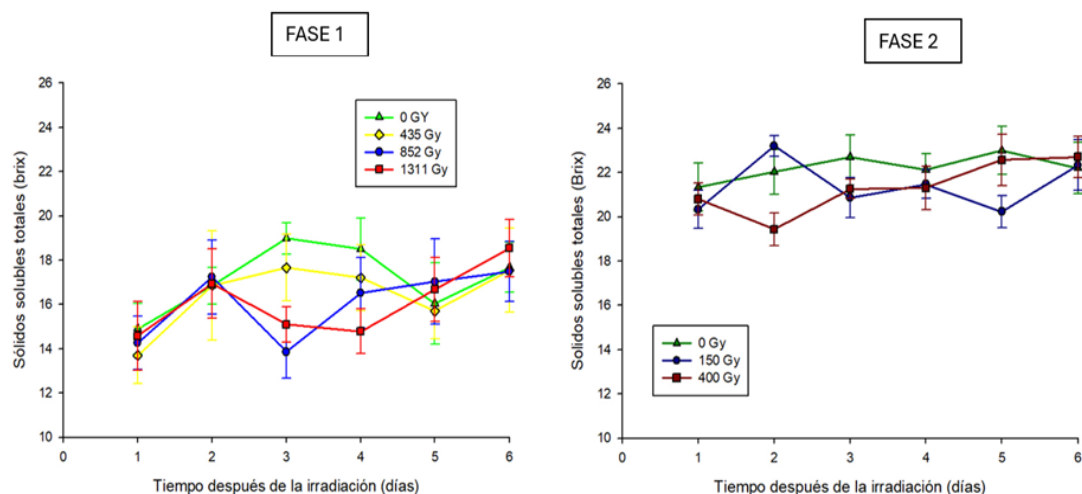


Figura 7. Solidos Solubles Totales en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

pH

El pH resultante en la primera fase obtuvo un promedio de 4.04 con un mínimo de 4.0 a 432 Gy y un máximo de 4.08 a 0Gy, en la fase dos se obtuvo un promedio de 4.04 con un mínimo de 3.98 a 150 Gy y un máximo de 4.13 a 400 Gy, este pH ha sido reportado por Arrazola et al., (2013) quienes obtuvieron guanábanas en estado maduro con un pH de 4.0. Jiménez (2016) en el estudio de caracterización de frutos de guanábana en Tepic, Nayarit, mostró valores de pH mínimos de 3.1 y valores máximos de 5.1, en promedio mostraron 3.6 de pH. En esta investigación se puede observar en la Figura 8, que el pH aumentó a lo largo de los seis días en todas las dosis incluyendo el testigo.

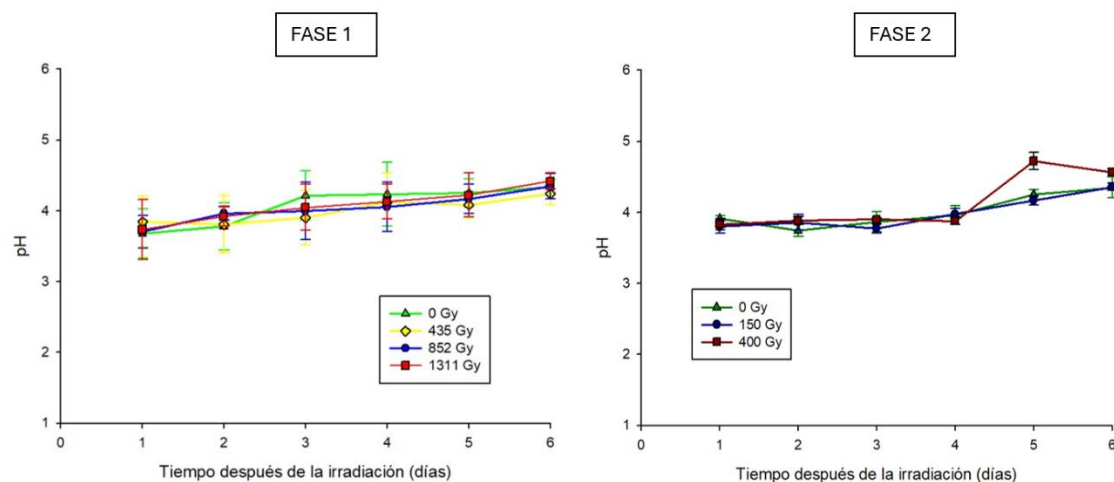


Figura 8. pH en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Acidez titulable

La Acidez titulable resultante en la primera fase tuvo un promedio de 0.575 % con un mínimo de 0.54 % en la dosis de 1311 Gy y un máximo de 0.59 % en la dosis de 435 Gy, en la fase se obtuvo un promedio de 0.67% con un mínimo de 0.65 % para la dosis de 400 Gy y un máximo de 0.69% en la dosis de 0 Gy. Según Pareek et al., (2011) los ácidos presentes en guanábana presentaron el mayor pico de concentración a tres y cuatro días después de la cosecha y después disminuyeron. Etienne et al., (2013) comenta que los ácidos orgánicos son consumidos como sustratos de la respiración en la glicólisis, especialmente durante el pico climatérico; estos ácidos sirven como sustratos de la gluconeogénesis durante la etapa de la maduración, así que, después del pico climatérico se ha presentado una disminución en la ATT (Etienne et al., 2013). En los resultados se puede observar en la Figura 9 que los resultados de acidez coinciden con la literatura, ya que para ambas fases después de los días tres y cuatro se percibe la mayor disminución de acidez. Omoifo, (2004) encontró que los ácidos presentes en mayor cantidad en jugo de guanábana son el ácido málico y el ácido cítrico. Paull et al. (1983) identificaron que el contenido de ácido cítrico se había triplicado en guanábana.

El efecto de la irradiación fitosanitaria sobre la acidez de la fruta ha sido reportado en una variedad de productos donde a menudo hay poco o ningún efecto de la irradiación sobre la acidez titulable Golding et al., (2024). Los ácidos pueden ser el sustrato preferido para aumentar la tasa de respiración en la fruta irradiada, lo que conduce a una disminución en el contenido de ácidos (Rodríguez et al., 2018).

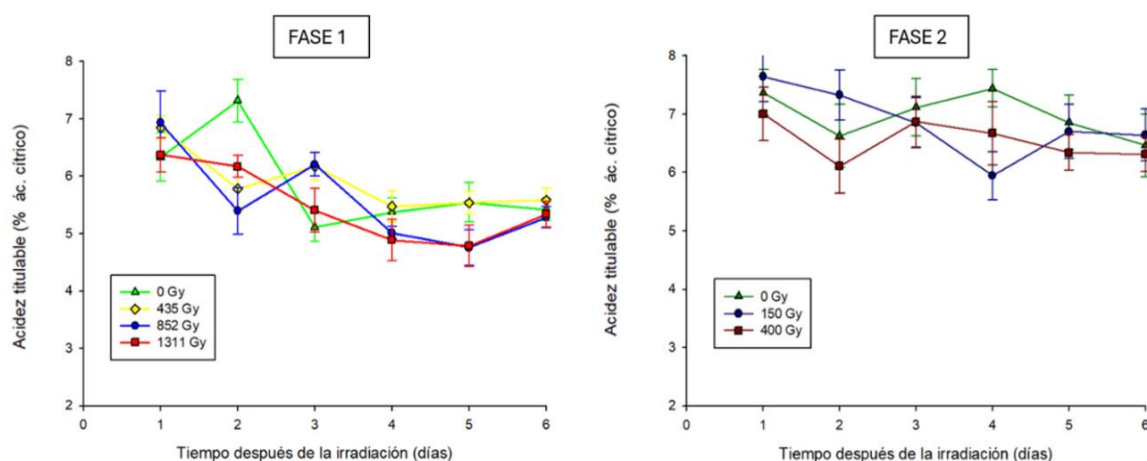


Figura 9. Acidez titulable en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Ácido ascórbico

El ácido ascórbico resultante de los frutos en la primera fase obtuvo un promedio de 31.63 mg con un mínimo de 31.32 mg en la dosis de 1311 mg Gy y un máximo de 31.80 mg en la dosis de 0 Gy en la fase obtuvo un promedio de 40.24 mg con un mínimo de 39.77 mg en la dosis de 400 Gy y un máximo de 40.98 mg a 150 Gy.

En esta investigación se encontró para la primera fase una disminución de ácido ascórbico con un ligero aumento en el día 2 en todas las dosis, sin embargo, en la fase dos hubo un incremento a partir del día cuatro y cinco a 0 Gy y a 400 Gy, aunque la tendencia también fue una decaída de ácido ascórbico (Figura 10)

Arrazola et al., (2013) reportaron diferencias crecidamente significativas entre los estados de madurez, observándose mayores niveles de ácido ascórbico en un estado maduro y valores inferiores en un estado pintona de la guanábana.

Está documentado que a niveles relativamente altos de irradiación no fitosanitaria (es decir, > 1000 Gy), los niveles de ácido ascórbico disminuyen rápidamente después del tratamiento (Jiménez et al., 2011). Sin embargo, a niveles más bajos de tratamiento fitosanitario, los efectos de la irradiación sobre el contenido de ácido ascórbico son variables, en esta investigación no se encontró diferencia significativa entre las guanábanas irradiadas de 150 a 1311 Gy y las que no fueron irradiadas. Por ejemplo, el tratamiento con irradiación gamma en apio tratadas con dosis de 500 a 1500 Gy se reportó que el tratamiento mejoró el ácido ascórbico. Lu y col. (2005) para arándanos con dosis 150 a 1000 Gy no hubo diferencias entre los arándanos y la fruta no tratada después del tratamiento Golding et al., (2014).

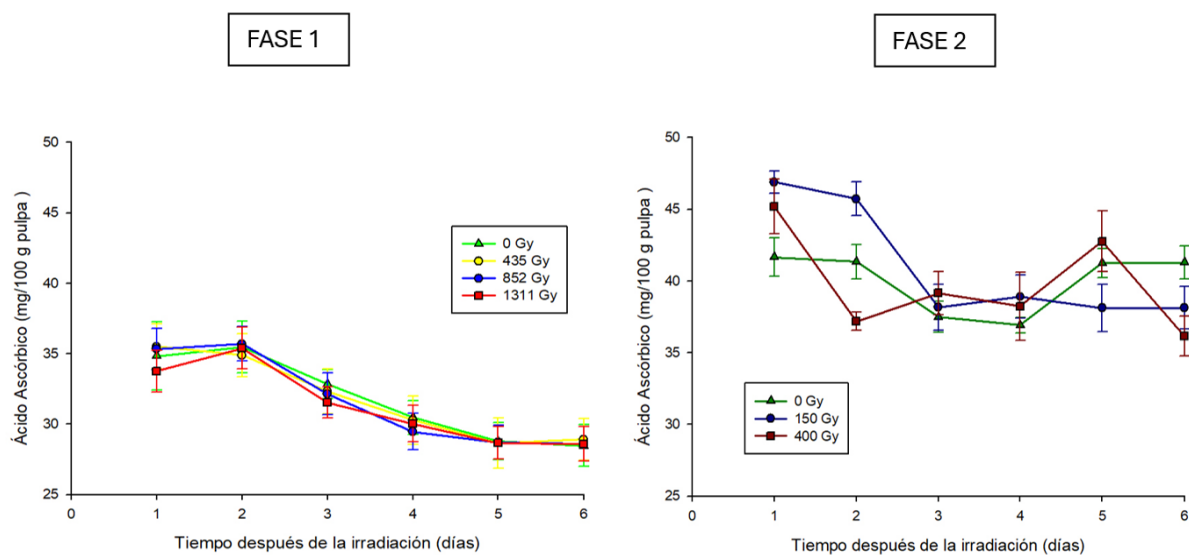


Figura 10. Ácido ascórbico en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

3.2.2 Cambios en variables fisiológicas

En la primera fase de las variables fisiológicas (peso, pérdida de peso firmeza, respiración y etileno) con dosis de irradiación (0,435,852 y 1311 Gy) la única variable que no presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) fue peso (Cuadro 10) las variables que sí mostraron significancia ($P > 0.05$) fueron pérdida de peso firmeza, respiración y etileno.

Cuadro 10. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase uno a los seis días de almacenamiento.

Variables	0 Gy	435 Gy	852 Gy	1311 Gy
Peso (kg)	0.46 ± 0.05 a	0.45 ± 0.07a	0.47 ± 0.06 a	0.45 ± 0.07 a
Pérdida de peso (%)	2.30 ± 1.10 ab	2.26 ± 1.18 ab	2.05 ± 1.06 b	2.51 ± 1.41 a
Firmeza cáscara (N)	2.33 ± 1.39 c	4.23 ± 0.91 b	4.36 ± 0.80 b	4.80 ± 1.05 a
Respiración (mLCO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	172.06 ± 83.40 a	177.41 ± 99.50 a	165.26 ± 99.4 a	132.85 ± 96.98 b
Etileno (μL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)	38.31 ± 10.93 a	26.64 ± 4.85 b	23.84 ± 6.77 b	42.44 ± 19.0 a

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la segunda fase de observaciones por día (Cuadro 11) la única variable que no mostró significancia ($P > 0.05$) fue el peso, ya que, para el porcentaje de pérdida de peso, y firmeza en cáscara y pulpa se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$).

Cuadro 11. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase dos a los seis días de almacenamiento.

Variables	0 Gy	150 Gy	400 Gy
Peso (kg)	0.41 ± 0.06 ab	0.44 ± 0.08 a	0.37 ± 0.02 b
Pérdida de peso (%)	1.50 ± 0.80 a	1.32 ± 0.70 b	1.46 ± 0.77 a
Firmeza cáscara (N)	2.84 ± 0.83 a	2.68 ± 0.79 b	2.87 ± 0.78 ab
Firmeza pulpa (N)	1.65 ± 0.85 a	1.52 ± 0.71 a	1.77 ± 0.80 a
Respiración (mLCO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	117.23 ± 89.28 a	101.9 ± 47.48 a	82. 24 ± 45.62 a
Etileno (μL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)	77.89±48.70 a	58.30 ± 49.89 a	73.05 ± 67.92 a

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 12 se pueden observar los resultados de la parcela menor de las variables fisicoquímicas, en la primera fase todas las variables fisicoquímicas mostraron significancia ($P < 0.05$). El peso y la firmeza disminuyeron a lo largo de los seis días de observación.

Cuadro 12. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase uno en los días de almacenamiento.

Días	Peso (kg)	Pérdida de peso (%)	Firmeza cáscara (N)
Día 1	0.50 ± 0.06 a	0 ± 0 c	4.93 ± 0.31 a
Día 2	0.49 ± 0.05 a	2.76 ± 0.44 ab	3.68 ± 0.40 c
Día 3	0.47 ± 0.06 ab	2.48 ± 0.40 b	3.35 ± 1.0 d
Día 4	0.44 ± 0.06 bc	3.05 ± 0.99 a	3.26 ± 1.09 d
Día 5	0.42 ± 0.06 c	2.68 ± 0.71 b	3.75 ± 1.50 c
Día 6	0.41 ± 0.05 c	2.69 ± 0.58 b	4.60 ± 2.33 b

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la segunda fase de observaciones por día (Cuadro 13) la única variable que no mostró significancia ($P > 0.05$) fue el peso, ya que, para el porcentaje de pérdida de peso, y firmeza en cáscara y pulpa se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$).

Cuadro 13. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en la fase dos en los días de almacenamiento.

Días	Peso (kg)	Pérdida de peso (%)	Firmeza cáscara (N)	Firmeza pulpa (N)
Día 1	0.43 ± 0.07 a	0 ± 0 e	3.58 ± 3.58 a	2.80 ± 2.80 a
Día 2	0.420 ± 0.07 a	2.31 ± 0.26 a	3.25 ± 0.57 a	2.15 ± 0.35 b
Día 3	0.41 ± 0.06 a	1.98 ± 0.17 b	3.16 ± 0.47 a	1.92 ± 0.37 b
Día 4	0.40 ± 0.06 a	1.34 ± 0.12 d	2.34 ± 0.50 b	1.097 ± 0.16 c
Día 5	0.40 ± 0.06 a	1.56 ± 0.16 c	2.26 ± 0.46 b	1.091 ± 0.31 c
Día 6	0.39 ± 0.06 a	1.37 ± 0.23 d	2.17 ± 0.49 b	0.84 ± 0.22 c

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la parcela menor (Cuadro 14) la respiración y el etileno fueron significativas para ambas fases ($P < 0.05$).

Cuadro 14. Efecto en las variables fisiológicas de las diferentes dosis de irradiación en ambas fases a los seis días de almacenamiento.

Días	Fase 1		Fase 2	
	Respiración (mLCO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Etileno (μL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Respiración (mLCO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Etileno (μL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)
Día 1	76.24 ± 76.24 b	38.11 ± 38.11 c	247.45 ± 62.90 a	31.50 ± 10.47 bc
Día 2	73.07 ± 22.96 b	41.35 ± 12.99 c	151.79 ± 49.67 b	30.63 ± 9.21 c
Día 3	88.71 ± 63.09 b	49.34 ± 32.46 bc	134.42 ± 69.29 bc	38.60 ± 18.48 a
Día 4	118.91 ± 42.69 ab	101.67 ± 82.61 a	97.78 ± 57.74 cd	38.11 ± 16.11 ab
Día 5	167.74 ± 97.42 a	98.12 ± 37.46 a	263.45 ± 71.94 a	30.52 ± 15.57 c
Día 6	78.22 ± 59.52 b	89.89 ± 68.99 ab	76.45 ± 76.47 d	27.47 ± 8.85 c

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Peso

El peso resultante en la primera fase obtuvo un promedio de 0.45 kg con un mínimo de 0.45 kg en las dosis de 435 y 1311 Gy y un máximo de 0.47 kg a 852 Gy. (Figura 11). En la fase dos obtuvieron un promedio de 0.40 kg con un mínimo de 0.37 kg a 400 Gy un máximo de 0.44 kg a 150 Gy

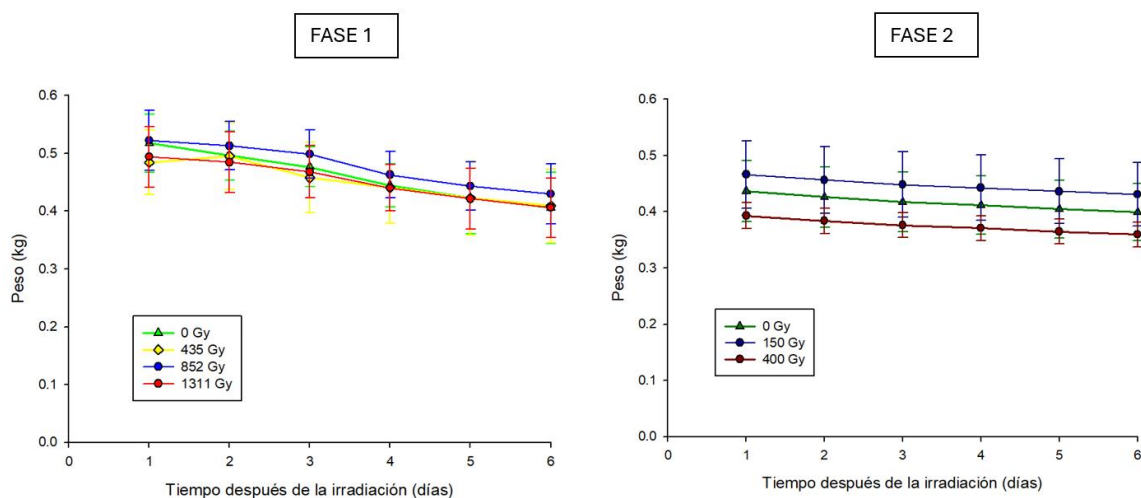


Figura 11. Peso en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Pérdida de peso

Para un buen manejo de deshidratación y pérdida de peso durante almacenamiento es muy importante las temperaturas y la humedad relativa a la que se almacena el fruto, en esta variable se manejaron condiciones de temperatura de 24 ± 2 °C y 85 % de HR. El porcentaje de pérdida de peso resultante en la primera fase fue un promedio de 2.28 % con un mínimo de 2.05 % en la dosis de 852 Gy y un máximo de 2.51% en la dosis de 1311 Gy en la fase dos se obtuvo un promedio de 1.42% con un mínimo de 1.31% en la dosis de 150 Gy y un máximo de 1.5% a 0 Gy (Figura 12).

Benichou et al., (2018) mencionan que la pérdida de peso está asociada con la transpiración (por evaporación de agua en tejidos) y respiración (por la liberación de CO₂). Díaz-Pérez, (2019) reportan que la transpiración es la que contribuye en mayor parte a la pérdida de peso en frutos. En la fase uno se observó que a una dosis de irradiación a 1311 Gy se incrementó la pérdida de peso. Azevedo y Melges (2004) plantean que la irradiación aumenta la transpiración (por consiguiente, aumentará también la pérdida de peso), debido a una mayor permeabilidad de la membrana y mayor actividad metabólica.

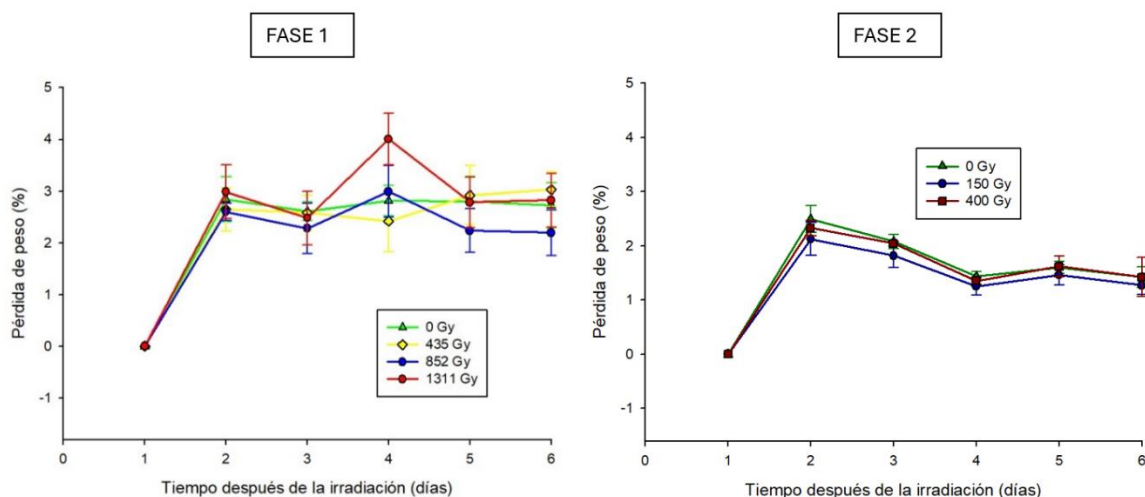


Figura 12. Pérdida de peso en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Firmeza cáscara

La firmeza en cáscara resultante en la primera fase presentó un promedio de 3.9 N con un mínimo de 2.3 N a 0 Gy y un máximo de 4.8 N a 1311 Gy, en la fase dos se midió firmeza en cáscara y en pulpa de los frutos, para la firmeza en cáscara se obtuvo un promedio de 2.79 N con un mínimo de 2.68 N a 150 Gy y un máximo de 2.87 a 400 Gy, para la firmeza en pulpa se obtuvo un promedio de 1.64 N con un mínimo de 1.52 N a 150 Gy y un máximo de 1.77 N a 400 Gy (Figura 13).

Márquez et al., (2012) reportaron que la guanábana en madurez de consumo presenta una firmeza en cáscara entre 4.72 y 7.48 N, también reportó una firmeza de 79.43 N y de 3.62 N después de 9 días de la cosecha. En esta investigación se obtuvieron promedios por debajo de los 4 N después del segundo y tercer día.

La pérdida de firmeza que ocurre por la degradación de la pared celular, generalmente, se ha asociado a cambios bioquímicos en las fracciones de la pared celular que resultan de la degradación de polímeros Brummell, (2006). En anonáceas el rápido ablandamiento de los frutos se ha relacionado con su alta velocidad de respiración.

En muchas variedades de cítricos, la irradiación fitosanitaria, incluso a dosis bajas, puede provocar pérdida de firmeza o fitotoxicidad que suele manifestarse como decoloraciones de la cáscara o de la pulpa (Ornelas-Paz et al., 2017). Dependiendo la dosis, se ha observado una disminución de la firmeza de la fruta en manzanas, peras, cerezas, naranjas, pomelos y tomate tratadas de 400 a 500 Gy, por el contrario, hay algunos informes de que la irradiación mantiene la firmeza de la fruta durante el almacenamiento de Arándanos, Papaya, Frambuesas, Pitahaya y Mangos, en dosis de entre 400 a 1000 Gy. Golding et al., (2024). En este estudio se pudo observar en la fase uno que, para las tres dosis de irradiación, la firmeza aumentó a partir del día dos, siendo la más notoria la firmeza en la dosis de 1311 Gy, para la fase dos que fueron dosis más bajas de irradiación, la firmeza disminuyó junto con la testigo. En el caso de la pulpa

que solo se midió firmeza en la fase dos su tendencia también fue en disminución en las dosis de irradiación junto con la testigo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

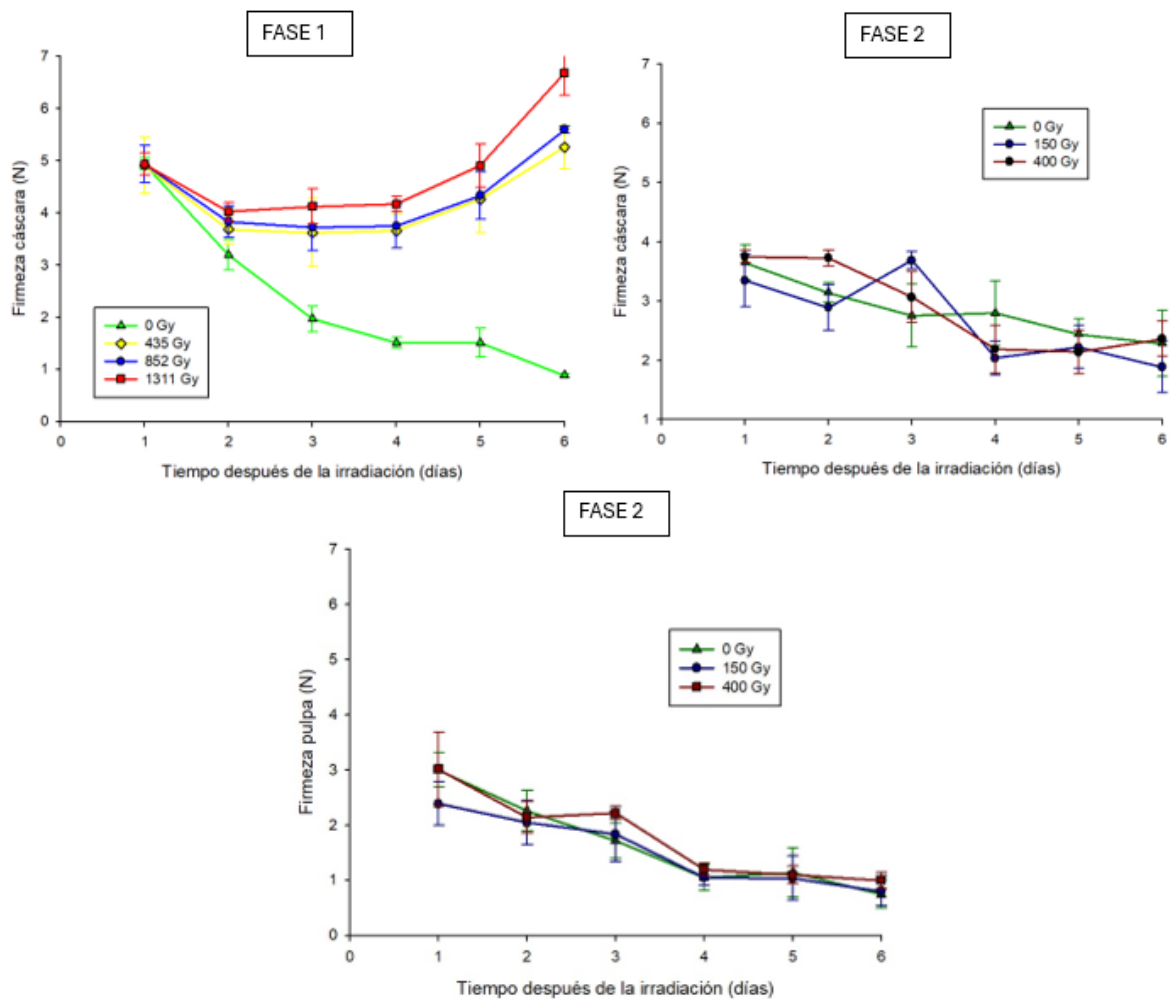


Figura 13. Firmeza en cáscara y pulpa en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Patrón respiratorio

El patrón respiratorio resultante de los frutos en la primera fase obtuvo un promedio de $161.89 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con un mínimo de $132.85 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la dosis de 1311 Gy y un máximo de $177.41 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la dosis de 435 Gy en la fase dos obtuvieron un promedio de $109.56 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con un mínimo de $82.24 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la dosis de 400 Gy y un máximo de $82.22 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 0 Gy (Figura 14).

Babaji y Fadzelly, (2018) reportaron que la guanábana bien madurada tiene una respiración climatérica bifásica, que produce de 100 a $350 \text{ mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a una temperatura de 25 a 30 °C.

Los frutos de guanábana son climatéricos, aún no es posible establecer periodos de almacenamiento prolongados, esto debido al ablandamiento acelerado, aunado a su actividad metabólica Jiménez et al., (2017). Los frutos climatéricos presentan un punto máximo de respiración, que para estos frutos de guanábana para ambas fases coincidieron que iniciaron una curva de respiración iniciando el día cuatro alcanzando su punto más alto el día cinco, sin embargo, fue la guanábana no irradiada la que mostró mayores valores de CO_2 en ambas fases y la dosis más alta mostró menos índices de CO_2 .

La irradiación puede disminuir la respiración en frutas cítricas y tropicales como la guayaba y el mango. Singh y Pal, (2009) detectaron que frutos de guayaba tratadas con dosis de irradiación de 250, 500 y 1000 Gy presentaron una inhibición de la producción de CO_2 . La tendencia de las guanábanas presentó una inhibición de la producción de CO_2 es decir a mayor dosis de irradiación menor CO_2 en ambas fases.

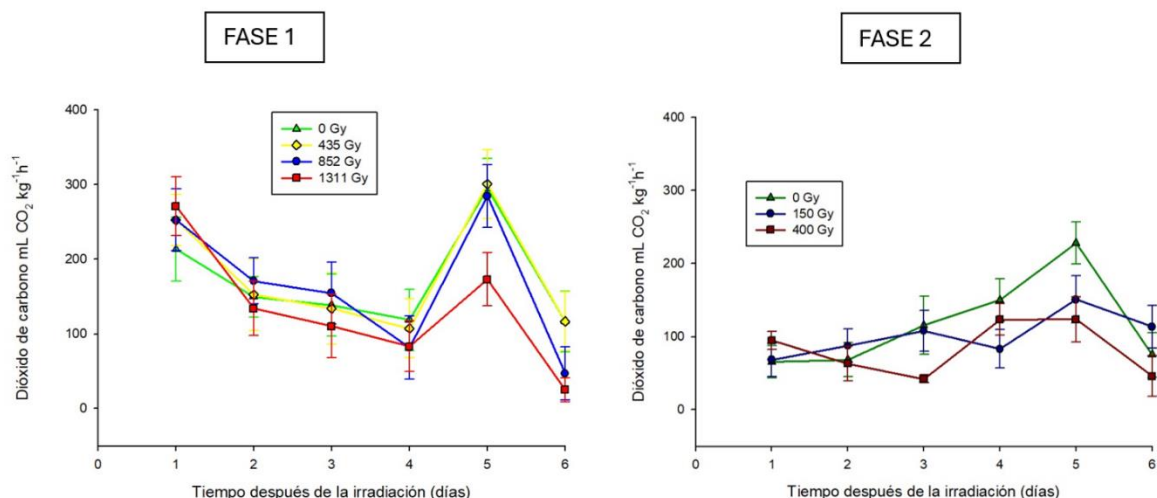


Figura 14. Patrón respiratorio en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Etileno

El etileno resultante de los frutos en la primera fase obtuvo un promedio de $32.80 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con un mínimo de $23.84 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la dosis de 852 Gy y un máximo de $42.44 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. en la dosis de 1311 Gy en la fase dos obtuvieron un promedio de $69.74 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. con un mínimo de $58.30 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la dosis de 150 Gy y un máximo de $77.89 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 0 Gy (Figura 15).

Cardozo, (2009) reportó que en la producción de etileno tuvo se observó un comportamiento creciente, esto durante la poscosecha de guanábana encontrando un pico sobresaliente en el día cuatro y principalmente el día seis, presentando $83,2 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. En estos resultados se observa para ambas fases el incremento de $\mu\text{LC}_2\text{H}_4$ en el día tres, en la primera fase se ve mayor producción de C_2H_4 en la mayor dosis de 1311 Gy, sin embargo, en la segunda fase la mayor producción de $\mu\text{LC}_2\text{H}_4$ es a 0 Gy, aunque los resultados arrojan que no hay diferencia significativa en los tratamientos de la segunda fase, en general comparando con la literatura los niveles de C_2H_4 fueron bajos a los reportados en otras investigaciones.

Sunil et al., (2010) estudiaron la fisiología poscosecha en frutos de *Annona*, concluyendo que, al ser frutos climatéricos caracterizados por su elevada respiración y producción de etileno, son altamente sensibles a muy bajas temperaturas.

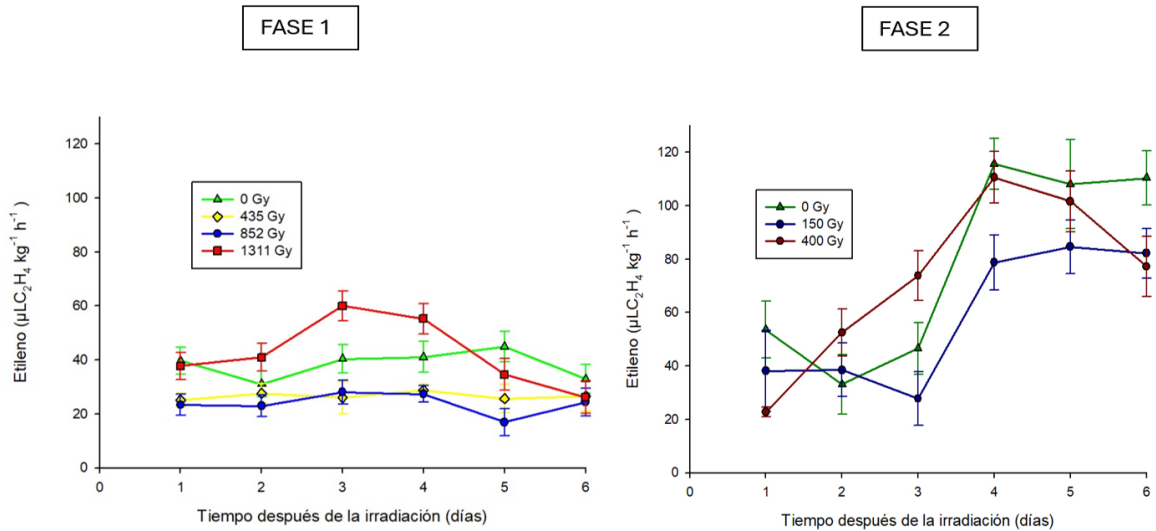


Figura 15. Etileno en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Color

En los efectos que tuvieron las dosis de irradiación en color se encontró que para la primera fase hubo significancia ($P < 0.05$) para luminosidad e índice de saturación (Cuadro 15) sin embargo, en ángulo de tono no se encontró significancia ($P > 0.05$).

Cuadro 15. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en las primera fase a los seis días de almacenamiento.

Variables	0 Gy	435 Gy	852 Gy	1311 Gy
Luminosidad (%)	29.22 ± 5.71 a	23.54 ± 4.63 b	27.21 ± 3.68 a	27.25 ± 5.33 a
Índice de saturación	20.95 ± 4.31 a	16.51 ± 4.53 b	17.95 ± 3.22 b	18.15 ± 4.74 b
Ángulo de tono (°)	96.81 ± 5.86 a	94.76 ± 6.22 a	96.28 ± 4.91 a	96.87 ± 6.30 a

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la segunda fase (Cuadro 16) se encontró significancia ($P < 0.05$) en ángulo de tono y no hubo significancia ($P > 0.05$) para luminosidad e índice de saturación

Cuadro 16. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la segunda fase a los seis días de almacenamiento.

Variables	0 Gy	150 Gy	400 Gy
Luminosidad (%)	26.14 ± 4.05 a	27.12 ± 3.79 a	26.21 ± 5.36 a
Índice de saturación	20.70 ± 3.32 a	20.79 ± 4.78 a	21.23 ± 4.01 a
Ángulo de tono (°)	101.34 ± 2.21 ab	102.09 ± 2.58 a	100.55 ± 2.80 b

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En los resultados de los días (Cuadro 17) para color en la primera fase se encontró significancia ($P < 0.05$) en luminosidad, índice de saturación y ángulo de tono.

Cuadro 17. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la primera fase a los seis días de almacenamiento.

Días	Luminosidad (%)	Índice de saturación	Ángulo de tono (°)
Día 1	24.91 ± 3.63 c	17.72 ± 1.99 b	103.51 ± 2.17 a
Día 2	26.96 ± 5.36 abc	22.34 ± 4.46 a	99.49 ± 3.41 b
Día 3	25.30 ± 7.45 c	15.18 ± 5.26 c	95.32 ± 6.45 c
Día 4	26.08 ± 5.25 bc	18.95 ± 4.71 b	94.98 ± 4.02 c
Día 5	28.50 ± 3.75 ab	18.16 ± 3.13 b	91.65 ± 2.88 d
Día 6	29.07 ± 4.34 a	18.00 ± 3.81 b	92.19 ± 4.74 d

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En la fase dos (Cuadro 18) de la evaluación por día para color se encontró significancia ($P < 0.05$) en las variables índice de saturación y ángulo de tono a excepción de luminosidad que no mostró significancia ($P > 0.05$).

Cuadro 18. Efecto en color de las diferentes dosis de irradiación en la segunda fase a los seis días de almacenamiento.

Días	Luminosidad (%)	Índice de saturación	Ángulo de tono (°)
Día 1	27.52 ± 1.91 a	19.18 ± 1.48 b	104.18 ± 1.32 a
Día 2	28.78 ± 3.11 a	20.38 ± 1.67 b	102.46 ± 1.78 ab
Día 3	26.80 ± 3.21 a	20.50 ± 1.46 b	100.71 ± 2.08 b
Día 4	25.60 ± 4.66 a	27.48 ± 2.16 a	98.74 ± 1.02 c
Día 5	24.56 ± 3.82 a	19.11 ± 2.63 b	101.04 ± 2.01 b
Día 6	25.68 ± 7.41 a	18.80 ± 5.18 b	100.84 ± 3.27 b

Valores de medias ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna (a, b, c) indican que difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Luminosidad

La luminosidad resultante en la primera fase tuvo un promedio de 26.80 % con un mínimo de 23.54 % en la dosis de 435 Gy y un máximo de 29.22 % a 0 Gy; en la fase dos se obtuvo un promedio de 26.49 % con un mínimo de 26.14 % a 0 Gy y un máximo de 27.12 % a una dosis de 150 Gy. Estos valores coinciden con Alcántara, (2021) donde reportó que la luminosidad de los frutos de guanábana testigo aumentaron la luminosidad en cáscara de (L^*) = 33.86 en el primer día de evaluación se reportó (L^*) = 43.10 al día siete. Los resultados reflejaron

disminución al paso de los días, no existiendo diferencias entre dosis en ambas fases, a excepción de la dosis a 435 Gy de la primera fase.

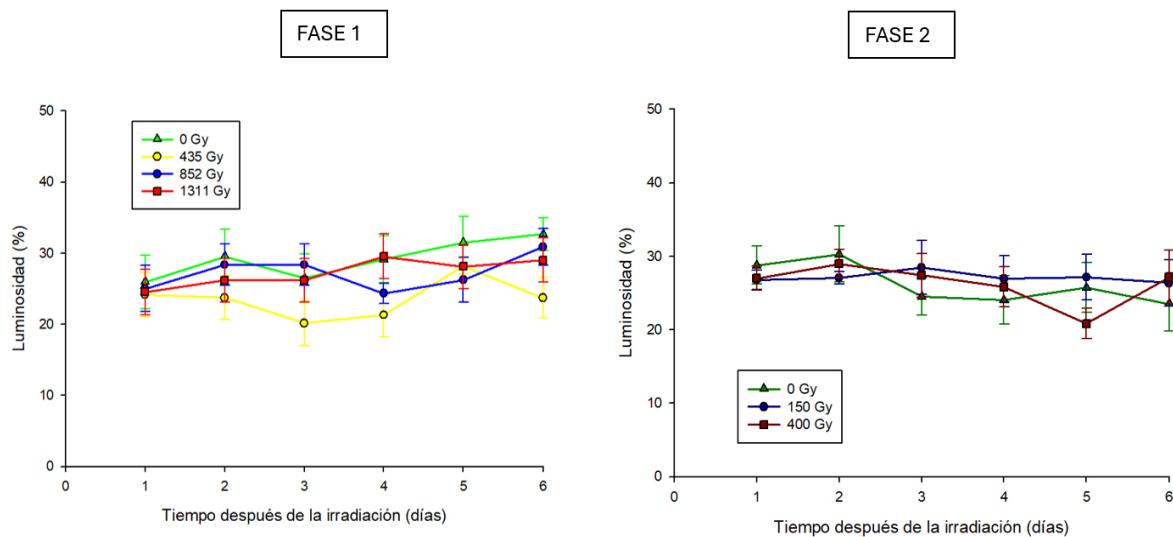


Figura 16. Luminosidad en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Índice de saturación de color

El índice de saturación de color resultante en la primera fase tuvo un promedio de 18.39, con un mínimo de 16.51 en la dosis de 435 Gy y un máximo de 20.95 a 0 Gy; en la fase dos se obtuvo un promedio de 20.90 con un mínimo de 20.70 a 0 Gy y un máximo de 21.23 a una dosis de 400 Gy. Los resultados reflejaron una ligera disminución al paso de los días, no existiendo diferencias entre dosis en ambas fases a excepción de la primera fase a 0 Gy donde el Índice de saturación fue ligeramente mayor.

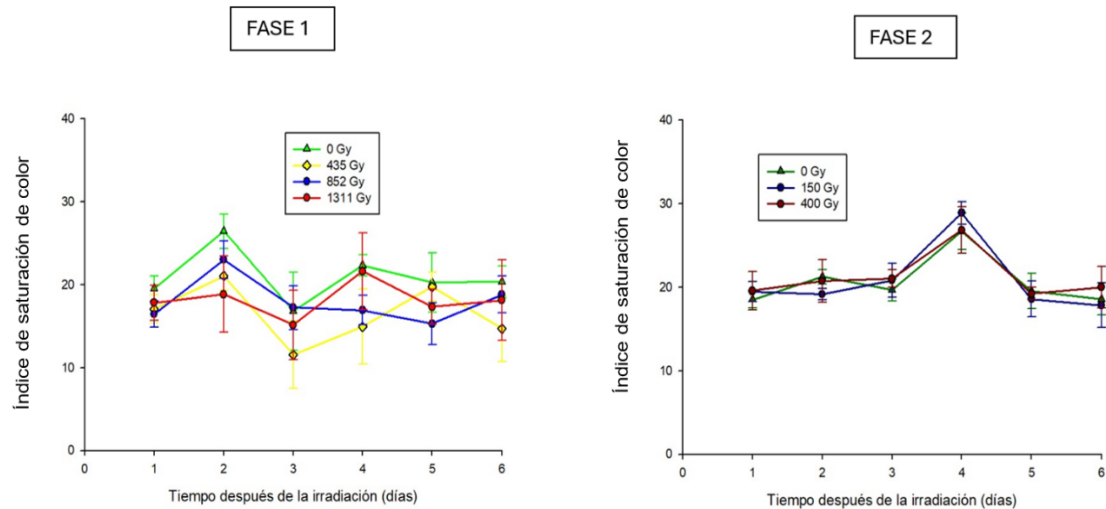


Figura 17. Índice de saturación en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

Ángulo de tono (°)

El ángulo de tono resultante en la primera fase obtuvo un promedio de 96.18° con un mínimo de 94.76° en la dosis de 435 Gy y un máximo de 96.87° a 1311 Gy; en la fase se obtuvo un promedio de 101.32° con un mínimo de 100.55° a 400 Gy y un máximo de 102.09° a una dosis de 150 Gy. El ángulo de tono disminuyó en ambas fases a través del tiempo. El cambio de tono en el fruto se atribuye a la degradación de clorofila en combinación con la síntesis de los carotenoides Wills & Golding, (2016). Los resultados reflejaron una disminución al paso de los días no existiendo diferencias entre dosis en la primera fase.

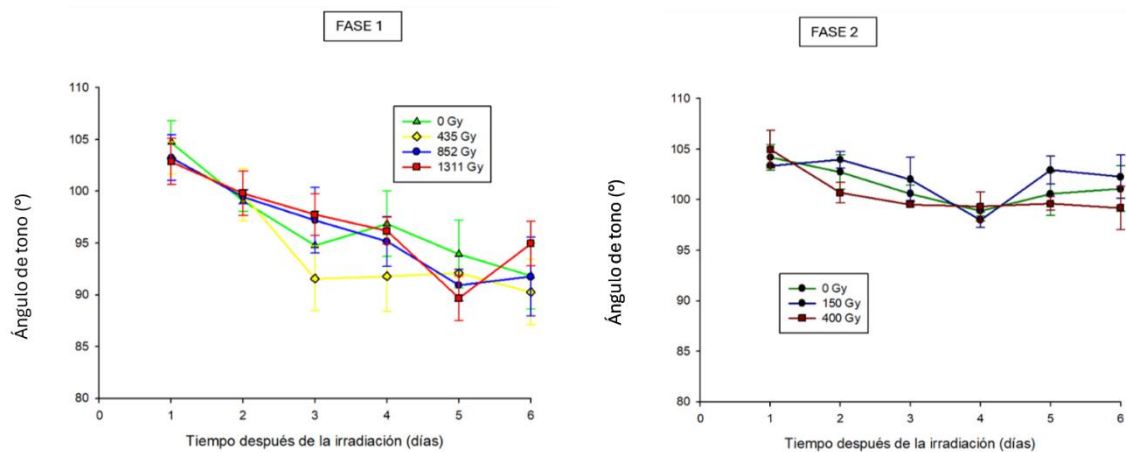


Figura 18. Ángulo de tono (°) en guanábana irradiada después de seis días de almacenamiento.

El color en general mostró los siguientes promedios para la primer y segunda fase respectivamente (Luminosidad = 26.80- 26.49 %), (El índice de saturación = 18.39-20.90) y (Ángulo de tono = 96.18- 101.32°), estos resultados se aproximan a lo que reportó Terán et al., (2019), donde mostró tendencia entre el naranja y verde (Ángulo de tono = 60.3 y 109.89) con una baja luminosidad (L^* = entre 28.95 y 59.12) y finalmente opacos Figura 19 y 20.

Durante el proceso de almacenamiento de la maduración de ellos frutos de guanábana, tienden a perder su brillo y el color de la epidermis generalmente cambia de un verde oscuro a un verde claro; este cambio se atribuye a una disminución en el contenido de clorofilas a y b durante su maduración (Benkeblia y Emanuel, 2014). Según Lem et al., (2017) reportan que los valores de la luminosidad en la epidermis de los frutos de guanábana se incrementan de 40.17 % a 49.21 %, cuando los frutos son cosechados entre 16 y 20 semanas después de antesis. Dependiendo el estado de madurez se puede detectar que algunas guanábanas cambian drásticamente no solo la cromaticidad, sino también el color verde a un ligero amarillo.

Castro et al., (2008) reportaron que en las anonáceas durante su proceso de maduración manifiestan una disminución del ángulo del color verde, la coloración

de su cáscara se va transformando de verde oscuro a un color verde amarillento, indicando así que la clorofila ha ido perdiendo los carotenoides.

El color en los frutos sometidos a diferentes tratamientos de irradiación depende del tipo de fruto y de la dosis, Ornelas-Paz et al., (2017) reportaron que, en muchas variedades de cítricos, la irradiación fitosanitaria, incluso a dosis bajas, puede provocar pérdida de firmeza o fitotoxicidad que suele manifestarse como decoloraciones de la cáscara o de la pulpa.

Algunos trastornos comúnmente observados incluyen decoloraciones, pardeamientos vasculares y de lenticelas, se ha observado que se induce una lesión física en la piel o en la cáscara y se expresa como picaduras (Wall, 2008). Esto puede estar muy extendido en algunos productos como los cítricos, donde la incidencia y la gravedad de la respuesta dependen de la dosis, el cultivar y una serie de factores previos y posteriores a la cosecha.

Día 1



Día 6



Figura 19. Cambio de color en guanábana después de ser irradiada diferentes dosis primera fase.

DÍA 1

DÍA 6



Figura 20. Cambio de color en guanábana después de ser irradiada diferentes dosis segunda fase.

La guanábana es atacada principalmente por barrenadores, avispa y moscas de la fruta, que, aunque esta última no hay certeza de que estén presentes en los cultivos, para su correcta exportación debe cumplir con las certificaciones que indiquen que los huertos y las frutas estén libres de estas plagas, en esta investigación se observó que la guanábana tratada a dosis mayores de 435 Gy no se encontraron ningún tipo de larvas o insectos en las guanábanas.



Figura 21. Guanábana tratada a 150, 400 y 852 Gy.

3.3 Conclusiones

Los frutos de guanábana analizadas a los seis días de almacenamiento a una temperatura de 24 ± 2 °C y 85 % de humedad relativa irradiados a mayor dosis (1311 Gy) mostraron mayor pérdida de peso, mayor firmeza en cáscara y pulpa, y presentaron menor acidez titulable. A menor dosis (150- 435 Gy) presentaron mayor acidez titulable y mayor respiración, sin embargo, presentaron menor pérdida de peso. Las dosis de irradiación no afectaron significativamente los sólidos solubles totales y el ácido ascórbico en ambas fases.

En general las dosis de 150, 435 y 852 Gy no afectaron las variables fisicoquímicas de la guanábana y en la parte fisiológica, las dosis de irradiación favorecieron el mantenimiento de la firmeza en cáscara y pulpa, a mayores dosis de irradiación aumentó la producción de etileno.

3.4 Literatura citada

- ALCÁNTARA, G. A. S. (2021). Evaluación de películas de quitosano con aceite esencial de canela en la poscosecha de guanábana *Annona muricata* L.
- Alonso AJ, Villarreal ML, Salazar LA, Gomez M, Dominguez F, Garcia A. 2010. Mexican medicinal plants used for cancer treatment: pharmacological, phytochemical and ethnobotanical studies. *J Ethnopharmacol* 133: 945 - 972.
- AOAC 942.15. Método de Acidez Titulable en Frutos.
- AOAC 967.21. Vitamina C en alimentos.
- AOAC 985.14: Determinación de la masa en frutas y productos derivados.
- AOAC 985.17-2012. Determinación de Sólidos Solubles en Frutas y Jugo.
- AOAC.2000. Official Methods of Analysis 14a editios. Asociation of Oficial Analitical Chemists.
- Arrazola-Paternina, G. S., Barrera-Violeth, J. L., & Villalba-Cadavid, M. I. (2013). Determinación física y bromatológica de la guanábana cimarrona (*Annona glabra* L.) del departamento de Córdoba. *Orinoquia*, 17(2), 159-166.
- Babaji, S. S. & Fadzelly, A. B. M. (2018). "Soursop *Annona muricata*": Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Johor, Malaysia. Rodrigues, S., de Oliveira, S. E., Sousa de Brito, E. (Eds.), *Exotic Fruits Reference Guide*. (pp.391- 395). Ceara', Brazil: Academic Press.
- Bazán García, D. Y., & Anaya Montesinos, T. E. (2018). Colación nutraceutica de oca (*Oxalis tuberosa*), agua de decocción de hojas y pulpa de guanabana (*Annona muricata*), como antioxidante para la alimentación del adulto mayor.
- Benichou, M., Ayour, J., Sagar, M., Alahyane, A., Elateri, I., & Aitoubahou, A. (2018). Postharvest technologies for shelf life enhancement of temperate fruits. In S.A. Mir, M.A. Shah & M.M. Mir (Eds.), *Postharvest biology and technology of temperate fruits* (pp. 77-100). Switzerland: Springer.
- Benkeblia, N., and M.A. Emanuel. 2014 Variation of reducing and total sugars, total phenols and chlorophylls in soursop (*Annona muricata*) during three "On Tree" ripening stages. *Acta Horticulturae* 1047: 153-158.

- Bermejo, A.; Figadère, B.; Zafra-Polo, M.-C.; Barrachina, I.; Estornell, E.; Cortés, D. Acetogeninas de Annonaceae: Avances recientes en aislamiento, síntesis y mecanismos de acción. *Nat. Prod. Rep.* 2005, 22, 269–303.
- Brummell, D. A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33(2), 103-119.
- Cardozo, C. J. M. (2009). Caracterización fisiológica, fisicoquímica, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia (UNAL)).
- Carlos, J., MÁRQUEZ, C., Aleyda, M., JIMÉNEZ., Coralía, OSORIO., José, R., CARTAGENA, V. (2011). 2. VOLATILE COMPOUNDS DURING THE RIPENING OF COLOMBIAN SOURSOP (< i> Annona muricata< /i> L. cv. Elita). *Vitae*, doi: 10.17533/udea.vitae.10647
- Castro, B. M.; Jerz, G.; Winterhalter, P. y Restrepo, P. 2008. Degradación de la clorofila en la corteza del baby banano (*Musa acuminata*) durante diferentes estados de maduración. In: Memorias. Red-Alfa Labrothech Comunidad Europea, Cartagena, Colombia. 202 p.
- Díaz-Pérez, J. L. (2019). Transpiration. In E. M. Yahia & A. Carrillo-López (Eds.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 154-174). United Kingdom: Woodhead Publishing
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., y Bugaud, C. 2013. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*. 64, 1451–1469.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, 52, 99-119, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00106.
- Golding, J. B., Uthairatanakij, A., de Jesús Ornelas-Paz, J., & Prakash, A. (2024). Phytosanitary irradiation effects on fresh produce quality—A review. *Postharvest Biology and Technology*, 211, 112855.
- Golding, J. B., Uthairatanakij, A., de Jesús Ornelas-Paz, J., & Prakash, A. (2024). Phytosanitary irradiation effects on fresh produce quality—A review. *Postharvest Biology and Technology*, 211, 112855.
- Golding, J.B., Blades, B.L., Satyan, S., Jessup, A.J., Spohr, L.J., Harris, A.M., Banos, C., Davies, J.B., 2014. Low dose gamma irradiation does not affect the quality, proximate or nutritional profile of 'Brigitta' blueberry and

'Maravilla' raspberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 96, 49–52.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.002>.

Hernández, L. M. F.; Nolasco, G. Y. y Cruz, G. E. J. 2017. Selección y caracterización de guanábana y recomendaciones para su manejo agronómico. INIFAP-Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. Folleto técnico núm. 34. 57 p

Hernández-Fuentes, L. M., Andrés-Agustín, J., Espíndola-Barquera, M. D. C., Castañeda-Vildózola, A., Ballesteros-Patrón, G., y Vera-Sánchez, K. S. (2016). Recursos Genéticos de Anonáceas (Annonaceae) en México: Situación Actual y Perspectivas. *Agroproductividad*, 9(4), 3-8.
<http://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view>

ISO (2008). 6675:2008: Frutas y verduras - Determinación de la firmeza.

Jiménez Z., J. O., R. Balois M., I. Alia T., P. Juárez L., M. T. Su maya M., y J. E. Bello L. 2017. Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 7: 1261-1270.

Jimenez, L., Alarcon, ´ E., Trevithick-Sutton, C., Gandhi, N., Scaiano, J.C., 2011. Effect of γ -radiation on green onion DNA integrity: Role of ascorbic acid and polyphenols against nucleic acid damage. *Food Chem.* 128 (3), 735–741.

Jiménez, Z. J. O., Balois, M. B., Alia, T. A., Sáncelz, H. L. M., Jiménez, R. E. I., Bello, L.J. E., García, P. J. D., & Juárez, L. P. (2017). Cold storage pf two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 9. 1-9.

Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Sumaya-Martínez, M. T., & Bello-Lara, J. E. (2016). Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1261-1270.

Jiménez-Zurita, José Orlando, Balois-Morales, Rosendo, Alia-Tejacal, Irán, Juárez-López, Porfirio, Sumaya-Martínez, María Teresa, & Bello-Lara, Juan Esteban. (2016). Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1261-1270. Recuperado en 25 de octubre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601261&lng=es&tlng=es.

- Lem, M.S., Mahmud, T.M.M & Ding, P. (2017). Optimum harvest maturity in relation to its physicochemical quality of pollinated soursop (*Annona muricata* L.) fruit. 1179: 10-23.
- López Morán, I. (2022). Actividad antifúngica de extractos alcaloidales de *Annona macrophyllata* Donn. Sm.
- Lu, Z., Yu, Z., Gao, X., Lu, F., Zhang, L., 2005. Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. *J. Food Eng.* 67 (3), 347–351. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.038>.
- Márquez, C. C. J., Villacorta, L. V., Betancur, D. P. P., Ciro, V. H. J. & Cartagena, V. J. R. (2012). Physiological and physicochemical characterization of the soursop (*Annona muricata* L. cv. Elita). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía* (65) 6477-6486.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>.
- Meirelles de Azevedo, R., & Melges, J. M. (2004). Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. *Scientia Agricola*, 61(2), 146-150, doi: 10.1590/S0103-90162004000200004.
- Mitchell, G.E., McLauchlan, R.L., Isaacs, A.R., Williams, D.J., Nottingham, S.M., 1992. Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 5 (4), 291–311. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\) 90063-P](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92) 90063-P).
- Nolasco-González, Y., García-Magaña, M. de L., León-Fernández, A. E., Monribot-Villanueva, J. L., Guerrero-Analco, J. A., & Montalvo González, E. (2023). Formulación y análisis fitoquímico de una bebida potencialmente funcional obtenida de la combinación de un extracto de hojas y pulpa de *Annona muricata* (Annonaceae). *Acta Botanica mexicana*, (130). <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2185>.
- Nolasco-González, Y., Hernández-Fuentes, L. M., & Montalvo-González, E. (2019). Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de accesiones de guanábanas seleccionadas en Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 223-237. doi: 10.29312/remexca. v0i23.2023.
- NOM-F-317-NORMEX-2013. Determinación de pH en alimentos.
- Ojeda G, Coronado J, Nava R, Sulbarán B, Araujo D, Cabrera L. 2007. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de la guanábana (*Annona Muricata*) cultivada en el Occidente de Venezuela. *Bol Centro Invest Biol* 41(2): 151 – 160

- Omoifo, C. O. 2004. Biochemical composition of soursop fruit, *Annoma muricata* L., as affected by two harvest seasons. *Tropical Agricultural Research and Extension*. 7, 1-8.
- Ornelas-Paz, J.J., Meza, M.B., Obenland, D., Rodríguez, K., Jain, A., Thornton, S., Prakash, A., 2017. Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of Seedless Kishu mandarins (*Citrus kinokuni mukakukishu*). *Food Chem.* 230, 712–720. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.125>.
- Ornelas-Paz, J.J., Meza, M.B., Obenland, D., Rodríguez, K., Jain, A., Thornton, S., Prakash, A., 2017. Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of Seedless Kishu mandarins (*Citrus kinokuni mukakukishu*). *Food Chem.* 230, 712–720. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.125>
- Pareek, S., Yahia, E. M., Pareek, O. P., y Kaushik, R. A. 2011. Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. *Food Research International*. 44(7), 1741-1751.
- Paull, R. E., Deputy, J. C., y Chen, N. J. 1983. Changes in organic acids, sugars and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.). *Journal of American Society Horticulture Science*, 108, 931–934.
- Rodriguez, K.C., Ornelas-Paz, J.D.J., Ibarra-Junquera, V., Toto, M.C., Jain, A., Prakash, A., 2018. Effects of fruit position in standard place pack cartons and gamma irradiation on the postharvest quality of ‘Barnfield’ navel oranges. *Food Bioprocess Technol.* 11, 2153–2163
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México. (2020). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-2017, Productos de origen vegetal irradiados.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [Links]
- Singh, S. P., & Pal R. (2009). Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and maintain quality of fresh guava fruit. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 135-140, doi: 10.1016/j.radphyschem.2008.09.007.
- Sunil, C., Somashekar, R. K., Nagaraja, B. C. (2010). Riparian vegetation assessment of Cauvery river basin of South India. *Environment Monitoring Assessment*, 170(1), 545-553
- Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-Lopez, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química y morfológica de frutos de guanábana

(*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 531-544.

Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-Lopez, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 531-544.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (2022). Irradiation of Fresh Fruits and Vegetables.

Wall, M.M., 2008. Quality of postharvest horticultural crops after irradiation treatment. *Stewart Postharvest Rev.* (2), 1. <https://doi.org/10.2212/spr.2008.2.1>.

Wills, R. B. H., & Golding, J. B. (2016). *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables* (6th ed.). United Kingdom: CABI.