



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias Químicas

Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

APLICACIÓN DE LUZ UV-C SOBRE RÁBANO (*Raphanus sativus*) Y
SU EFECTO SOBRE LA VIDA EN ANAQUEL Y COMPUESTOS
PROMOTORES DE LA SALUD

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA
p. Q. F. B. DIANA PAOLA MARTÍNEZ CRUZ

DIRECTOR DE TESIS
DR. CARLOS ENRIQUE OCHOA VELASCO

CO-DIRECTOR DE TESIS
DRA. PAOLA HERNÁNDEZ CARRANZA

H. PUEBLA DE Z.

NOVIEMBRE 2024





OFICIO C.Q./CT 028P/2024

C. Diana Paola Martínez Cruz
PRESENTE

Toda vez que se cuenta con la aprobación del Coordinador de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo, le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

“APLICACIÓN DE LUZ UV-C SOBRE RÁBANO (*Raphanus sativus*) Y SU EFECTO SOBRE LA VIDA EN ANAQUEL Y COMPUESTOS PROMOTORES DE LA SALUD”

ha sido autorizado, siendo:

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, Director de Tesis
Dra. Paola Hernández Carranz, Co-Directora de Tesis

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., 3 de mayo de 2024

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena digital: 1Aa*Sa/Ao%Sh+Pp.Ek"Xh/Wk\$Qt%Lq%Ik*Uk\$Ee/Ow,Tt/Pm*DI*Ru
Jo,Sf)Pm*Dt#Fm.Fl'Mj/Kz.Mp"Di*Ne&Ta.Wl"Sx,Dg#Sq!MMw.Zg*Oy-
Oi+Sf#Nn%Ca&Qv'lo/Xr(Co,Fh%Od.Sy#Bb(Sv.Wh(Sp,Zu*Bg*Am'Eq+Kw%Jr.Qa.Qv"Jc)Qe(Ql)Ma'Gi%Ah,Sd+Gg)Sn#Wt+Rg/Cy
"Zf&NI#Ub(Oo)No(Of#Vh)Ao)Xx'Wa,Qz%Fw\$En(Sz(Po%Be\$Xh/Hg'Gp'



OFICIO C.Q./CT 033CR/2024

Dra. Diana Milena Torres Cifuentes

Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Dra. Viridiana Vargas Castro

Con toda atención comunico a Ustedes que se les propone como integrantes de la Comisión Revisora del trabajo de Tesis que presenta la pasante de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Diana Paola Martínez Cruz

cuyo título es:

“APLICACIÓN DE LUZ UV-C SOBRE RÁBANO (*Raphanus sativus*) Y SU EFECTO SOBRE LA VIDA EN ANAQUEL Y COMPUESTOS PROMOTORES DE LA SALU”

Asimismo, les solicitamos que a la brevedad posible emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 17 de mayo de 2024

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena Digital 6Qz-

Kx(Xl'Uq/Oq#Pb)Fr+Is%Gr\$H'Fh.Nz/Br*Yr#Dy#Rv)Mn'Lo%Oj&Yj''Ga#Yz/Ia%Al)Wm\$Uy.Yw\$Yh)Eh+Qu!Ug.Sf'Hz#Xz#Ly\$Fd'Pb
(Tr'Ab-li#Wo'Wk&Ny&Fa#Ml!le/lz&ly#Xx\$Us,He(Px*Qz)Mc,Ke/Vr*Cu(Sq/Qq%Nm%Jg.Qa*Dz\$Ds
Zb/Dj+Hq%lu*Fj(la''Cc&Xp.Pj!Sr)Eb)Oo(Jf+No.Xz#Pq'In''Ku&Oz+Hs,Yf,Pc*FmãQb)Wn&Of*Bf%



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**



OFICIO C.Q./CT 046 A/2024

Dr. Henoc Flores Segura
Director Facultad de Ciencias Químicas
Presente.

OFICIO DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Título de la Tesis:

“Aplicación de luz UV-C sobre rábano (*Raphanus Sativus*) y su efecto sobre la vida en anaquel y compuestos promotores de la salud”

Comisión Revisora:

Presidente: **Dra. Diana Milena Torres Cifuentes**

Firma: 

Secretario: **Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio**

Firma: 

Vocal: **Dra. Viridiana Vargas Castro**

Firma: 

Los integrantes de la Comisión Revisora comunicamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de licenciatura de **Químico Farmacobiólogo** que presenta el estudiante **Diana Paola Martínez Cruz**, bajo la dirección del **Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco** y codirección de **Dra. Paola Hernández Carranza** por lo que estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el estudiante presente su defensa y examen, con número de matrícula **201751196**.

Atentamente

Comisión revisora

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. PuebladeZ., 18 de octubre de 2024

c.c.p. Archivo



AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa tan importante de mi vida, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que, de una forma u otra, han contribuido a la culminación de esta tesis. Sin su apoyo, orientación y amor este logro no habría sido posible.

En primer lugar, quisiera agradecer de manera especial a mi director de tesis, el Dr. Carlos Ochoa, cuya sabiduría paciencia y dedicación fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo. Gracias por creer en mí, por guiarme con firmeza, pero con comprensión, y por compartir su vasto conocimiento y experiencia. Sus enseñanzas han sido un faro que ha iluminado mi camino académico y profesional, y le estaré eternamente agradecida por ello.

También deseo extender mi más sincero agradecimiento a mi co-directora de tesis, la Dra. Paola Hernández. Su apoyo constante, sus valiosas sugerencias, su dedicación y pasión por la ciencia han sido una fuente inagotable de motivación para mí. Gracias por su tiempo, su esfuerzo, y por ser un modelo a seguir en mi vida académica.

A mis padres, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud. Ustedes han sido mi pilar y mi inspiración. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por estar a mi lado, animándome a seguir en los momentos difíciles. Su apoyo emocional y financiero ha sido crucial para la realización de este sueño, y esta tesis es tan suya como mía.

A mis amigos, Jason, Zuri, Adolfo y Elotes, gracias por ser mi segunda familia, su amistad ha sido un regalo invaluable, proporcionándome alegría, risas y compañía en este arduo camino. Gracias por escucharme y brindarme su apoyo. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón y en esta etapa de mi vida.

Finalmente quiero agradecer a David Gutiérrez, mi compañero, mi confidente, amor de vida y la mayor inspiración de este trabajo. Gracias por ser mi roca, mi motivación y mi alegría. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este camino. No podría haberlo hecho sin ti, este trabajo también es tuyo.

A todos ustedes, gracias de todo corazón. Esta tesis no solo es un reflejo de mi esfuerzo, sino también del amor, la guía y el apoyo que he recibido de cada uno de ustedes. Les estaré eternamente agradecida y les dedico este logro con todo mi amor y cariño.

RESUMEN

Los alimentos son fundamentales para el ser humano ya que proporcionan nutrientes y energía, lo que lleva a buscar productos frescos y de alta calidad. Sin embargo, conservar alimentos frescos es un reto en la industria alimentaria. Los productores de alimentos frescos buscan alargar la vida útil pero la falta de innovación en técnicas de conservación limita sus esfuerzos. Además, la mala calidad en los productos frescos y la presencia de microorganismos patógenos presentan un riesgo para la salud. Para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, se han explorado nuevas tecnologías como la irradiación con luz ultravioleta de onda corta (UV-C), que ha demostrado reducir la carga microbiana, desinfectar y prolongar la vida útil de los alimentos frescos. La presente tesis investiga el efecto de la luz UV-C en el rábano (*Raphanus sativus*), evaluando su vida útil en anaquel, la reducción de carga microbiana en su superficie y la preservación de compuestos bioactivos, enfrentando los desafíos de mantener su frescura y calidad durante el almacenamiento. Para ello, se realizaron varios experimentos donde se irradiaron rábanos con luz UV-C a diferentes tiempos, que luego se almacenaron bajo condiciones controladas durante 7 y 14 días. El efecto de la luz UV-C en el rábano se evaluó mediante la medición de los compuestos antioxidantes y las características fisicoquímicas, físicas y microbiológicas. Los resultados mostraron que los mejores tiempos de irradiación fueron 5 y 10 minutos porque presentaron los valores más altos de fenoles y antioxidantes y que la mejor temperatura de almacenamiento fue a 4°C porque se preservó en mayor tiempo la calidad del rábano. Por otra parte, la irradiación con luz UV-C mostró ser una estrategia eficaz para reducir la actividad microbiana de las BMA, ya que, conforme iba aumentando el tiempo de irradiación, las BMA disminuyeron significativamente, lo que convierte al tratamiento con luz UV-C en una alternativa viable y segura para la industria alimentaria. Se concluye que la aplicación de luz UV-C en rábanos preservó y aumentó los niveles de compuestos bioactivos contribuyendo así con sus propiedades antioxidantes. Este estudio sugiere la posibilidad de aplicar la luz UV-C en alimentos no solo para su desinfección, sino también para preservar los compuestos bioactivos por más tiempo, con el fin de mejorar la calidad de los alimentos.

Contenido

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
CAPÍTULO II	5
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1 Definición	5
4.2 Producción del rábano en México	6
4.3 Taxonomía del rábano.....	7
4.4 Características morfológicas del rábano.....	7
4.5 Antioxidantes	11
4.6 Fitoquímicos.....	13
4.7 Compuestos fenólicos	14
4.8 Flavonoides	15
4.9 Luz ultravioleta de onda corta (UV-C).....	17
4.10 Efecto de la radiación UV-C en la calidad postcosecha del rábano	19
CAPITULO III	21
5 DIAGRAMA DE TRABAJO	21

6	MATERIALES Y MÉTODOS	22
7	METODOLOGÍA	24
7.1	Aplicación de luz UV-C sobre rábano rojo.....	24
7.2	Preparación del extracto de rábano rojo	24
7.3	Evaluación de pH a extracto de rábano rojo	25
7.4	Evaluación de acidez titulable a extracto de rábano rojo.....	25
7.5	Evaluación de sólidos solubles a extracto de rábano rojo	26
7.6	Evaluación de compuestos fenólicos totales a extracto de rábano rojo	26
7.7	Evaluación de capacidad antioxidante a extracto de rábano rojo.....	26
7.8	Evaluación de flavonoides a extracto de rábano rojo.....	27
7.9	Análisis microbiológico a rábano rojo	27
7.10	Análisis estadístico	27
8	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
8.1	Selección de los tiempos de irradiación con luz UV-C	28
8.2	Evaluación de las características fisicoquímicas durante el almacenamiento de rábano irradiado con luz UV-C.....	29
8.3	Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el rábano irradiado por 5 y 10 minutos	
	33	
9.	CONCLUSIONES.....	40
10.	RECOMENDACIONES	41

11.	REFERENCIAS	41
-----	-------------------	----

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos juegan un papel esencial en la vida del ser humano debido a que proporcionan los nutrientes y la energía necesarios para llevar a cabo todas nuestras actividades diarias, de forma que los consumidores siempre se encuentran en búsqueda de productos frescos, saludables, seguros y de alta calidad. Sin embargo, en el campo de la industria alimentaria, la conservación de los alimentos frescos es un desafío constante.

Los productores y distribuidores de alimentos perecederos como frutas y verduras buscan satisfacer la demanda del mercado y reducir las pérdidas económicas, manteniendo la calidad y alargando la vida útil de los mismos. Sin embargo, la falta de actualización e innovación en las técnicas de conservación de alimentos restringen sus esfuerzos. Factores como el deterioro o la mala calidad de un alimento fresco provocan que una gran cantidad de alimentos se desperdicien, lo que representa un costo económico, social y ambiental muy alto. Aunado a esto, se observa un impacto poco beneficioso y/o negativo sobre la salud de las personas que consumen alimentos perecederos de baja calidad y con poca frescura, puesto que, en la mayoría de los casos estos alimentos también son portadores de microorganismos patógenos, dando como resultado un alto riesgo de padecer enfermedades asociadas a la ingesta de alimentos contaminados, situación que resulta alarmante porque según la OMS, en un año es posible que ocurran más de 600 millones de casos de enfermedades asociadas a la ingesta de alimentos contaminados y un aproximado de 420 000 muertes referentes a enfermedades transmitidas por alimentos (Organización Mundial de la Salud, 2022).

En la búsqueda constante de soluciones innovadoras para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, la aplicación de diferentes tecnologías se ha convertido en un tema de gran interés en la industria alimentaria. Entre esas tecnologías, la irradiación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) ha demostrado ser una herramienta efectiva en la reducción de microorganismos, en la desinfección, en el efecto positivo de las

propiedades nutrimentales y en la prolongación de la vida útil de diversos consumibles. En este contexto, el rábano (*Raphanus sativus*) se presenta como un alimento de interés debido a sus propiedades nutricionales y compuestos bioactivos asociados a la promoción de la salud. Sin embargo, existen desafíos en la conservación de su frescura y calidad durante el almacenamiento debido principalmente a la proliferación de microorganismos y el deterioro natural. Por lo tanto, esta investigación se centra en evaluar el efecto de la aplicación de luz UV-C sobre el rábano, tanto en términos de la vida útil, la desinfección y la preservación de sus compuestos promotores de la salud.

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años ha habido un creciente interés de la industria alimentaria sobre la aplicación de la luz ultravioleta de onda corta (UV-C) en la conservación de alimentos, dado que, posee un alto poder germinicida al afectar nocivamente el ADN de muchos microorganismos. Además, se ha planteado la hipótesis de que la radiación UV-C en alimentos puede tener un efecto beneficioso en la preservación de compuestos promotores de la salud.

Ahora bien, el rábano (*Raphanus sativus*) es un vegetal con gran consumo a nivel mundial y muy valorado por poseer una cantidad significativa de antioxidantes, fitoquímicos y vitaminas, que se ha demostrado tienen efectos positivos en la salud humana. Sin embargo, como muchos otros vegetales su vida en anaquel se ve severamente afectada por microorganismos y un evidente deterioro natural, lo que conlleva a una disminución de su contenido y potencial beneficio para la salud, derivando en un producto con una disminución en su calidad, su frescura y en pérdidas económicas.

Para solucionar esta problemática la presente investigación propone evaluar el efecto de la aplicación de luz UV-C sobre el rábano y su impacto en la vida de anaquel y los compuestos promotores de la salud presentes en este.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar luz UV-C sobre rábano para evaluar su efecto sobre la vida de anaquel y compuestos promotores de la salud.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Caracterizar el rábano en sus propiedades fisicoquímicas y de compuestos promotores de la salud como antioxidantes y fitoquímicos.

Evaluar el efecto de tiempo de radiación de luz UV-C sobre las características fisicoquímicas y de compuestos promotores de la salud del rábano.

Evaluar el efecto de almacenamiento (4°C y 22°C) sobre las características fisicoquímicas, compuestos promotores de la salud y comportamiento microbiológico del rábano irradiado.

CAPÍTULO II

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Definición

El rábano es una de las más importantes hortalizas que son consumidas y cultivadas en todo el mundo. El término *rábano* proviene de la palabra latina *radix* que significa *raíz*. El género *Raphanus* es una palabra griega que significa *aparición rápida* que se refiere a la rápida germinación y la naturaleza de rápido crecimiento de la planta. Además, la palabra *Raphanistrum* proviene de la palabra griega que significa *raíz*, un nombre antiguo utilizado para este género. El nombre de la especie, *sativus*, significa "cultivado" (Singh, 2021).

Singh et al. (2020) menciona que el rábano ha sido cultivado principalmente por su raíz primaria, la cual es comúnmente la parte comestible de esta hortaliza. Las raíces varían mucho en tamaño, forma y otras características externas. El color de la piel varía de blanquecino a rosado, rojizo, violáceo, verdoso y negruzco; sin embargo, el tejido carnoso permanece blanco o muestra varios tonos de escarlata. El color de esta raíz está controlado principalmente por pigmentos antocianínicos, es decir, las raíces obtienen pigmentos rojos de la antocianina pelargonidina y pigmentos morados de la cianidina.

La Figura 1 muestra la forma y colores presentes en el rábano.



Figura 1. Sección de raíz principal del rábano (Royal Botanic Gardens, 2023).

En general, el rábano es bajo en calorías y una buena fuente de calcio, magnesio, cobre, manganeso, potasio y vitamina B 6, vitamina C y folato (Gamba et al., 2021). Varios estudios mencionan que el rábano posee una actividad antidiabética que podría deberse a su capacidad para mejorar el mecanismo de defensa antioxidante y reducir el estrés oxidativo (Banihani, 2017).

4.2 Producción del rábano en México

El rábano es uno de los tipos más comunes y populares en México. Su sabor ligeramente picante y su color brillante lo hacen ideal para ensaladas, salsas y guarniciones. Se utiliza principalmente en platos como los tacos al pastor, donde su frescura equilibra los sabores intensos de la carne y las salsas picantes (Melo, 2023).

En México, la producción anual de rábano es de más de 73 mil toneladas. México es un país con una gran diversidad agrícola donde se cultivan varias variedades de rábano en diferentes regiones.

Puebla, Baja California y Jalisco son los líderes productores, pues en conjunto aportan el 80 por ciento del total nacional, es decir más de 58 mil toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

A continuación, se enlistan los tipos de rábano más destacados y relevantes en la alimentación mexicana (Melo, 2023).

- Rábano Rojo (*Raphanus sativus*)
- Rábano Blanco (*Raphanus sativus var. sativus*)
- Rábano Largo (*Raphanus sativus var. longipinnatus*)
- Rábano Sandía (*Raphanus sativus var. caudatus*)
- Rábano Criollo (*Raphanus sativus var. niger*)

4.3 Taxonomía del rábano

Yamagishi (2017) destaca que el género *Raphanus* pertenece a la tribu *Brassiceae*. Basado en la taxonomía clásica, *Raphanus* incluye seis especies silvestres y una especie cultivada. Las especies silvestres son *R. aucheri*, *R. rostratus*, *R. raphanistrum*, *R. microcarpus*, *R. maritimus* y *R. landra*, mientras que la especie cultivada es *R. sativus*.

La Tabla 1 representa la taxonomía botánica del rábano.

Tabla 1. *Taxonomía del rábano* (Schoch et al., 2020).

TAXONOMÍA	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Brassiceae</i>
Género	<i>Raphanus</i>
Especie	<i>R. sativus</i>
Nombre científico	
<i>Raphanus sativus</i> L.	

4.4 Características morfológicas del rábano

El rábano es una planta bienal, lo que significa que tarda dos años en completar su ciclo de vida. En el primer año, a la planta le crecen hojas y una raíz pivotante. En el segundo año, la planta florece y produce semillas (Plantvillage, 2023).

Las semillas pueden germinar en suelos o maceta, con una profundidad mínima de 10 cm; cuando se cultivan se recomienda hacerlo en pequeños surcos con una profundidad de 1 a 1.5 cm, dejando 8-12 cm entre ellos. Si lo plantas en un contenedor no necesita

ser trasplantado. Para que la siembra de rábano tenga éxito se debe conservar la humedad en el suelo en el que se planta (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La cosecha puede dar sus frutos en aproximadamente 25 días, ya que tienen un ciclo de crecimiento muy rápido, sobre todo si son variedades de primavera y verano, es importante que no se deben dejarse crecer por mucho tiempo debido a que se tornan duros, correosos y puede verse afectado su sabor (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

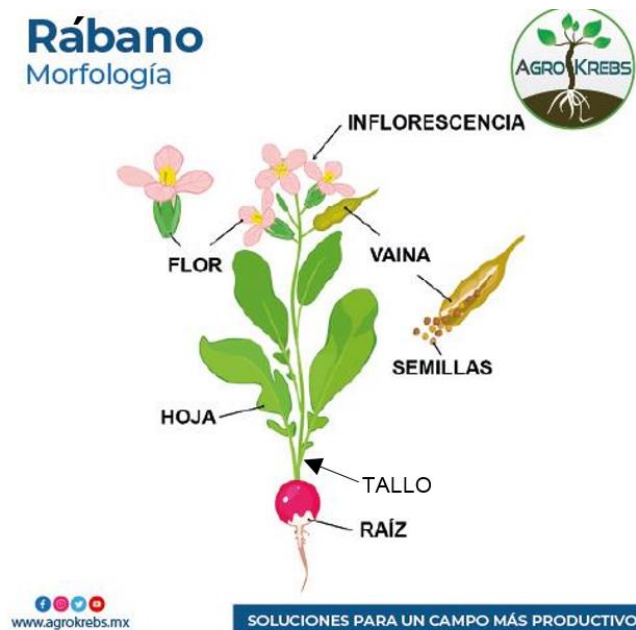


Figura 2. *Morfología del rábano* (Agrokrebs, 2021). *Nota:* Modificación por Diana Martínez para nombrar el tallo y corregir ortografía.

Raíz

La forma de la raíz varía de globular a cónica larga y cilíndrica. Las raíces de rábano tienen un diámetro largo o delgado, con una longitud de raíz que varía de 2,5 a 90 cm. Dependiendo del cultivar, la altura total de la planta varía de 30 a 120 cm, con un tallo ramificado erecto de 0,2 a 0,6 m de altura (Singh et al., 2020).

El color de la raíz del rábano puede variar del blanco en Asia al rojo en Europa pasando por el verde púrpura y el negro, mientras que su pulpa es blanca en la mayoría de los cultivos europeos y asiáticos. Ciertas características del rábano se deben a su contenido fitoquímico. Los pigmentos de antocianina proporcionan el color rojo de las raíces, mientras que un alto potencial para formar isotiocianatos contribuye al sabor picante y distintivo, que es muy popular en países como Japón y Filipinas (Gamba et al., 2021).

Tallo

Su tallo tiende a ser erecto, poco ramificado, obtiene un tamaño de 50 a 100 centímetros, la base del tallo es hispida, presenta un color verdoso y algo pubescente (Silva, 2017).

El tallo es breve antes de la floración, con una roseta de hojas. Posteriormente, cuando florece la planta, se alarga alcanzando una altura de 0,50 a 1 m, de color glauco y algo pubescente (Espinoza, 2011).

Durante la fase vegetativa suele ser corto, con hojas que forman una roseta o corona, luego se alarga llegando a medir entre 80 y 120 cm de altura, de forma variable ya sea cilíndrico o anguloso, de color verde y pubescente (Agrokrebs, 2021).

Hojas

Las hojas del rábano maduro se organizaron en un patrón de roseta, que están alienadas pinnadamente con un lóbulo terminal exagerado y lóbulos laterales menores. Las hojas del rábano son básicamente alternas, glabras a moderadamente hispidas y se clasifican en hojas inferiores o superiores. Las hojas inferiores miden de 5 a 30 cm de largo, tienen pecíolo de 3 a 5,5 mm de largo, calvas oblongas y lóbulos dentados, mientras que las hojas superiores son relativamente pequeñas con pecíolo más corto, sin dividir, subdentadas y subsésiles (Singh et al., 2020).

Las hojas de rábano son de un color verde brillante, aunque algunas pueden tener tonalidades más oscuras.

Flores

La inflorescencia del rábano es un típico racimo alargado, erecto y oblongo de las crucíferas. Las flores miden entre 1,5 y 2 cm de ancho, de color blanco a rosa y morado con venas moradas, tienen cuatro sépalos erectos y pétalos en forma de garra, seis estambres y un estilo de 3 a 4 cm de largo (Singh et al., 2020).

La floración se da entre mayo y junio sobre campos cultivados, jardines y huertos. La especie *Raphanus sativus* ha sido introducida en México, Bermudas, América del Sur, África, Islas Atlánticas y Australia (Warwick, 2009).

Los pétalos suelen ser de color púrpura o rosa, a veces blancos (las venas a menudo más oscuras), rara vez ligeramente constreñidos entre las semillas y generalmente no se rompen, no tienen nervaduras, pico estrecho a ampliamente cónico a lineal (Warwick, 2009).

Frutos

Los frutos del rábano son vainas alargadas que contienen las semillas. La cápsula de semillas, silicua o vaina de semillas mide 1,5 cm de ancho con una longitud que varía de 3 a 7 cm, tiene de 6 a 12 semillas/vaina con un pico cónico largo sin semillas. Las semillas de rábano son de forma globosa a ovoide, de 2,5 a 4 mm de diámetro. Al madurar el fruto, el color de las semillas es algo amarillo, que se torna marrón rojizo con la edad (Singh et al., 2020). Las semillas tardan entre 7 y 14 días en germinar en condiciones ambientales óptimas y permanecerán viables durante 5 años.

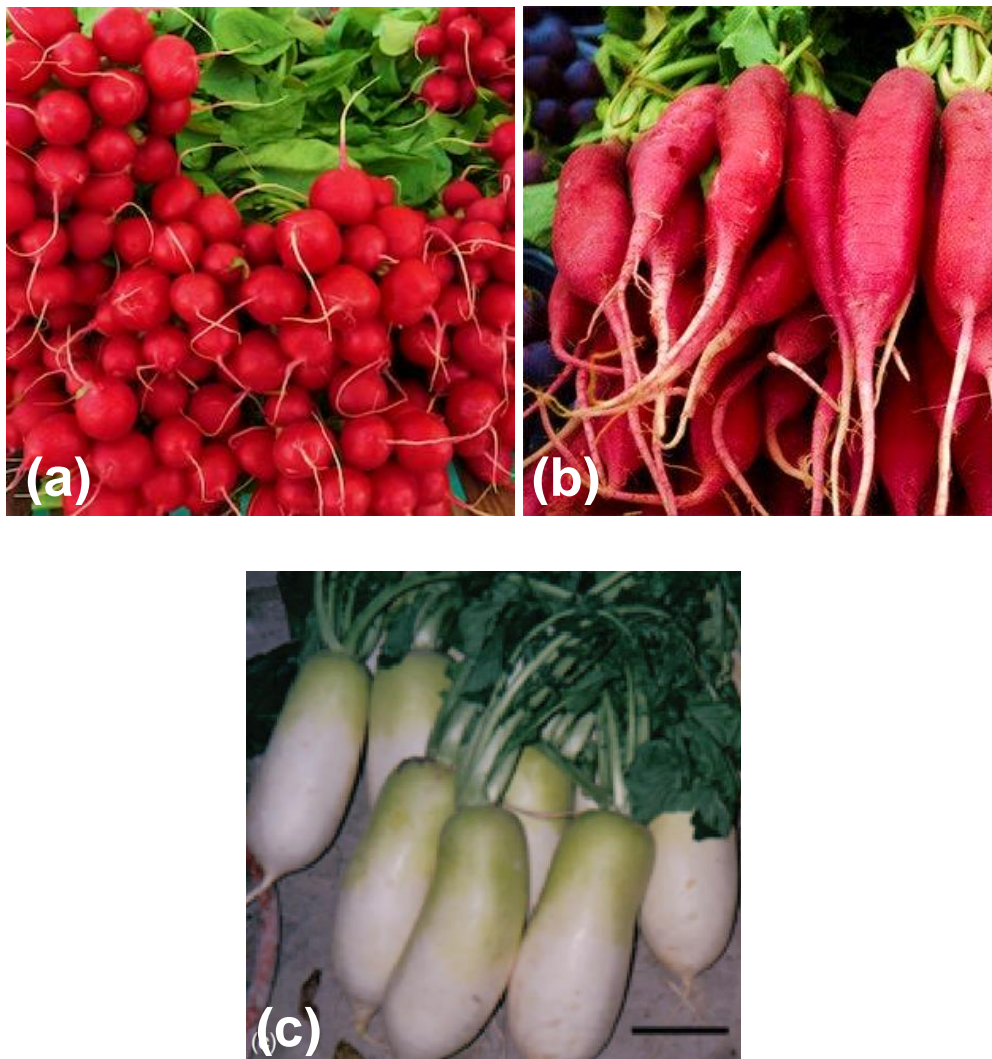


Figura 3. *Variedad de raíces de rábano.* Nota: La diversidad de raíces de rábano: (a) globo y (b) rábanos alargados de raíces pequeñas de México con piel roja; (c) el popular rábano de 3 meses de pulpa blanca cultivado en Corea (Curtis, 2008).

4.5 Antioxidantes

Los antioxidantes ayudan a proteger las células eliminando moléculas de radicales libres altamente reactivas (mediante la donación de electrones) antes de que causen daño a las células y a los tejidos. El cuerpo reacciona constantemente con el oxígeno como parte de los procesos de producción de energía de las células. Como consecuencia, se forman radicales libres y estos pueden verse incrementados por infecciones, contaminación,

humo de cigarrillo y alcohol. El cuerpo tiene un sistema endógeno (interno) de enzimas antioxidantes (como la glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa, quinona reductasa, catalasa) para contrarrestar los radicales libres. Sin embargo, la sobreproducción puede causar un desequilibrio, lo que lleva al estrés oxidativo, que puede dañar los lípidos, las proteínas y el ADN y está implicado en el desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedad de Alzheimer y otras enfermedades crónicas (Berros de agua, 2018).

Los antioxidantes endógenos producidos por el cuerpo y los antioxidantes exógenos de la dieta protegen contra los radicales libres a través de diversos mecanismos. Por ejemplo, los grupos funcionales en los flavonoides median los efectos antioxidantes al eliminar los radicales libres, lo que estabiliza las especies reactivas de oxígeno (ROS). Las ROS son radicales libres que interactúan fácilmente con moléculas y células cercanas, lo que puede dañar las membranas celulares y el ADN (Ma y Khachemoune, 2023).

Manivannan et al. (2019) refiere que las verduras crucíferas se componen de glucosinolatos, compuestos fenólicos, tocoferoles, carotenoides y ácido ascórbico, los cuales son considerados compuestos fitoquímicos por sus propiedades antioxidantes y otros efectos positivos en el cuerpo humano, señalando así los efectos beneficiosos para la salud con su consumo.

Los principales efectos antioxidantes de los fitoquímicos se manifiestan por la capacidad del compuesto para eliminar los radicales libres tóxicos o al impedir la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad. Goyeneche et al. (2015) mencionan que estudios previos sobre las actividades antioxidantes de *Raphanus sativus* han informado que contienen ésteres de ácido sinápico y flavonoides como principales componentes fenólicos, los cuales poseen capacidad antioxidante.

4.6 Fitoquímicos

Los fitoquímicos (fito significa *planta* en griego) son compuestos que se encuentran en vegetales que con anterioridad se consideraban componentes no esenciales de la dieta. No obstante, la evidencia actual propone que los fitoquímicos expanden los beneficios más allá de los nutrientes básicos y pueden ser un elemento clave de una dieta saludable. Los riesgos de estrés ambiental en las plantas desencadenados por varios factores como los ataques de insectos, enfermedades y radiación ultravioleta se ven reducidos gracias a la producción de fitoquímicos. Aunque no aportan energía ni nutrientes al cuerpo humano cuando son consumidos, desempeñan un papel positivo en la salud gracias a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y de regulación del metabolismo celular.

Blekkenhorst et al. (2018) menciona que se han identificado más de 20.000 fitoquímicos en alimentos vegetales, aunque un gran porcentaje sigue siendo desconocido o poco comprendido. Muchos de estos fitoquímicos se han aislado para comprender mejor los beneficios para la salud humana.

Los fitonutrientes o fitoquímicos son compuestos bioactivos derivados de las plantas, muchos de los cuales se clasifican como antioxidantes (Zespri International (Europe) N.V, 2020). Sin embargo, de los fitoquímicos con propiedades antioxidantes, el 35% proviene de los carotenoides y el 65% de los flavonoides (Singh, 2023).

La clasificación más común de los fitoquímicos puede encontrarse en función de su estructura química y las propiedades funcionales que también son las responsables del color, sabor y olor de las verduras, como el sabor amargo del brócoli y el olor acre del ajo. En la Tabla 2 se muestra la clasificación.

Tabla 2. *Clasificación de los fitoquímicos* (Viruega, 2023).

CLASIFICACIÓN	
Fenoles	<i>Flavonoides</i>
	<i>Ácidos fenólicos</i>
	<i>Polifenoles flavonoides</i> <i>no</i>
Terpenos	Carotenoides
	No carotenoides
Componentes organosulfurados	<i>Glucosinolatos</i>
	<i>Indoles</i>
	<i>Tioles</i>
Tocoferoles	Vitamina E

4.7 Compuestos fenólicos

El potencial de las verduras del género *Brassica* para mejorar la salud está parcialmente relacionado con su actividad antioxidante, siendo los compuestos fenólicos los principales responsables de esta propiedad en dichos cultivos (El-Beltagi et al., 2021). Se ha descubierto que la composición del rábano se basa principalmente en flavonoides, ácido fenólico y antocianinas (Rani et al., 2021).

Los compuestos fenólicos son un grupo diverso de micronutrientes vegetales, algunos de los cuales modulan las vías fisiológicas y moleculares involucradas en el metabolismo energético. Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, con diferentes estructuras y propiedades químicas y actividad biológica, englobando más de 8,000 compuestos distintos. Estos compuestos, sintetizados por las plantas, participan directa o indirectamente en el funcionamiento vital

de las plantas. Los polifenoles actúan como antioxidantes, ofreciendo protección a las células contra el daño provocado por la oxidación. Esta acción ayuda a reducir el riesgo de diversas enfermedades degenerativas que están vinculadas al estrés oxidativo inducido por los radicales libres.

Estudios recientes explican cómo los compuestos fenólicos afectan positivamente a ciertas enfermedades, como la obesidad, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la trombocitopenia o el síndrome metabólico (Alatorre-Cruz et al., 2023). Actúan por diferentes mecanismos, los más importantes son los que llevan a cabo actividades antiinflamatorias, antioxidantes y antialérgicas. Los compuestos fenólicos pueden dividirse ampliamente en derivados flavonoides y no flavonoides (Redan et al., 2016). Químicamente, los compuestos fenólicos son sustancias que poseen un anillo aromático, con uno o más grupos hidróxidos (Avella et al., 2008).

De acuerdo con Balasundram et al. (2006), la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos depende de la estructura, en particular del número y las posiciones de los grupos hidroxilo y de la naturaleza de las sustituciones en los anillos aromáticos. Por otro lado, Khanday et al. (2024) mencionan que las interacciones bioquímicas o cualquier condición de estrés en las plantas tienen una correlación directa con el contenido de fenol producido por las plantas. Según varios estudios, durante cualquier estrés biótico o abiótico de las plantas se ha observado que el contenido fenólico aumenta considerablemente.

4.8 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos fenólicos que se encuentran en todas las plantas, están localizados principalmente en las vacuolas de las células de la piel de frutas y hortalizas, aportando parte del sabor y del color. Se ha demostrado que los flavonoides actúan como antioxidantes (Ochoa-M y Ayala, 2011).

Los flavonoides han sido denominados antioxidantes naturales con mayor actividad debido a su capacidad para eliminar las especies reactivas de oxígeno (ROS) y los

radicales libres. La actividad antioxidante de los flavonoides depende de su estructura, principalmente de la disposición de los grupos funcionales. Contienen estructuras de anillos conjugados y grupos hidroxilo que tienen potencial antioxidante in vitro o en sistemas libres de células al eliminar oxígeno singlete, anión superóxido, radicales peroxi lipídicos y estabilizar los radicales libres involucrados en procesos oxidativos mediante hidrogenación o complejación con especies oxidantes (Ribeiro et al., 2023).

Los flavonoides han sido utilizados como tintes naturales, en cosméticos y productos para el cuidado de la piel, y en agentes antiarrugas. Sin embargo, las aplicaciones más destacadas de estos polifenoles se encuentran en el campo de la medicina. Los flavonoides se han utilizado ampliamente como agentes anticancerígenos, antimicrobianos, antivirales, antiangiogénicos, antipalúdicos, antioxidantes, neuroprotectores, antitumorales y antiproliferativos. También previenen los trastornos cardiometabólicos y muestran una mejor preservación del rendimiento cognitivo con el envejecimiento (Ullah et al., 2020).

Además, los flavonoides participan en muchas vías de señalización y en la expresión de genes inflamatorios: modulan las actividades de las enzimas que metabolizan el ácido araquidónico (fosfolipasa A2, ciclooxigenasa, lipoxigenasa). También inhiben la producción de citocinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-2, IL-6, IFN- γ o TNF- α), factor nuclear kappa B (NF-kB), proteínas quinasas activadas por mitógenos (ERK, p38, y JNK) y expresión de óxido nítrico sintasa (iNOS) (Ballard y Junior, 2019).

4.8.1 Antocianinas

El interés en los pigmentos antocianinos ha crecido de manera exponencial en los últimos años debido a su posible papel en la reducción del riesgo de enfermedad coronaria, cáncer y accidente cerebrovascular (Wrolstad, 2006).

Un subgrupo de los flavonoides son las antocianinas, estos pigmentos son responsables de proporcionar los colores rojo, morado y azul de muchas frutas, verduras y cereales. Además de brindar protección contra los efectos nocivos de la radiación ultravioleta y

actuar como atractores de insectos para la polinización y dispersión de semillas, proporcionan actividades antivirales y microbianas.

Las antocianinas representan los principales pigmentos solubles en agua visibles al ojo humano. Como señalan Aguilera et al. (2011), las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y su estructura básica es un núcleo de flavón, formado por dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos. Actualmente se conocen alrededor de 20 antocianinas de las cuales las más importantes son la pelargonidina, delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, estos nombres provienen de la planta de la que fueron aislados por primera vez, de las cuales las tres primeras son las antocianinas primarias presentes en el rábano (Hanlon y Barnes, 2011). Por otra parte, Gamba et al. (2021) menciona que el contenido total de antocianinas en raíces de rábano rojo varía entre 11,6 mg/100 g peso fresco (PF) hasta 160,7 mg/100 g PF.

Wu et al. (2016) resalta que, la inducción en la acumulación de antocianinas en los tejidos vegetativos a menudo se considera una respuesta de las plantas a condiciones de estrés biótico o abiótico, como deficiencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo), heridas, infección por patógenos, estrés hídrico, y la luz ultravioleta (UV).

4.9 Luz ultravioleta de onda corta (UV-C)

El estrés por irradiación es uno de los más comunes en las plantas, ya que la luz es fundamental para su desarrollo, en este sentido, se sabe que las plantas utilizan estrategias de fotoprotección para evitar los efectos dañinos de la absorción excesiva de luz visible y luz ultravioleta. Este tipo de irradiación puede afectar el ADN, las proteínas y las células vegetales. Esto podría afectar el desarrollo, la morfología y la fotosíntesis. Para contrarrestar estos efectos nocivos, las plantas utilizan sus mecanismos de defensa, principalmente la producción de metabolitos secundarios, entre los que destacan los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, taninos, ligninas y cumarinas). Estos son de gran interés por sus propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas, entre otras (Emus-Medina et al., 2023).

La luz UV es la radiación electromagnética con longitud de onda más corta que la luz visible y más larga que los rayos X (Millán-Villarroel et al., 2015). Jhahan et al. (2022) menciona que la clasificación se divide en UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) y UV-C (100–280 nm), considerando esta clasificación sobre el efecto de la radiación en la salud humana y el medio ambiente, a una longitud de onda de 100 a 400 nm. Todos los tipos de UV (A, B y C) presentan varias respuestas en las plantas, dependiendo de la intensidad y exposición, pueden ser fuente de estrés en las plantas lo que podría ocasionar una limitante en su crecimiento y desarrollo.

Emus et al. (2023) mencionan que la luz UV-C se ha utilizado como tratamiento postcosecha para retrasar la pérdida de calidad de la frutas y verduras, aplicándose también como tratamiento antimicrobiológico. También se ha descrito que en dosis bajas puede estimular respuestas beneficiosas como el aumento en la producción de fitoquímicos.

La radiación ultravioleta se considera una tecnología emergente en la industria alimentaria debido a su poder germicida al someter superficies de alimentos a ella. De acuerdo con Millán-Villarroel et al. (2015), la luz UV-C posee el mayor efecto germicida, específicamente entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm.

Gutiérrez et al. (2016), enfatiza que el tratamiento con luz UV-C ofrece varias ventajas a los procesadores de alimentos, ya que no deja residuos, no tiene restricciones legales, es fácil de usar y es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos, es decir, tiene poder germicida y puede ser eficaz para la descontaminación de la superficie de frutas y hortalizas.

La utilización de luz UV-C a dosis bajas en la desinfección de frutas y hortalizas ha tenido gran éxito debido a los grandes beneficios que aporta. Rivera et al. (2007) enlistan los siguientes beneficios que se atribuyen a irradiar con luz UV-C:

- Inducción de mecanismos de defensa (síntesis de fitoalexinas), los cuales se relacionan positivamente con la resistencia a diferentes patógenos y con la reducción de desórdenes fisiológicos que ocurren durante el almacenamiento en frío.
- Capacidad de mejorar las propiedades nutraceuticas, debido al incremento en los niveles de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.
- Inactivación de enzimas relacionadas con los procesos de maduración y senescencia.

Mientras tanto, Tchonkouang et al. (2023) mencionaron que el uso de luz UV-C en la industria alimentaria es un método no tóxico y no invasivo con numerosas ventajas que incluyen la ausencia de residuos químicos, no produce residuos, es rentable (bajo coste de instalación y mantenimiento), sencillo de implementar, ecológico, tiene bajo consumo energético, impacto mínimo en la calidad nutricional y los parámetros organolépticos, y buena percepción del consumidor.

4.10 Efecto de la radiación UV-C en la calidad postcosecha del rábano

La radiación UV-C sobre frutas y verduras puede tener varios efectos positivos como negativos, esto mismo depende de factores como la dosis de radiación aplicada, la sensibilidad del vegetal y las condiciones de almacenamiento. La radiación UV-C es capaz de reducir la carga microbiana inicial en la superficie del producto, lo que ayuda a mantener su calidad (Gutiérrez et al., 2016). Esto también ayuda a prolongar la vida útil del rábano al reducir la descomposición causada por microorganismos.

Por otro lado, Martínez-Zamora et al. (2021) explica que la luz UV es capaz de inducir la expresión de enzimas antioxidantes potenciando la acumulación de antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos, glucosinolatos e isocianatos presentes en las verduras crucíferas como el rábano. Además, en dosis adecuadas la radiación UV-C no solo induce, sino también preserva e incrementa los niveles de compuestos bioactivos, como los antioxidantes y fitoquímicos. Estos compuestos son importantes para la salud humana y también contribuyen a la calidad sensorial del producto. Sin embargo, dosis

excesivas de radiación UV-C pueden causar daño físico en el rábano, como decoloración, quemaduras o ablandamiento excesivo. Esto puede comprometer la calidad visual y la textura del vegetal.

CAPITULO III

5 DIAGRAMA DE TRABAJO

El siguiente diagrama de trabajo describe la realización de este proyecto de investigación.

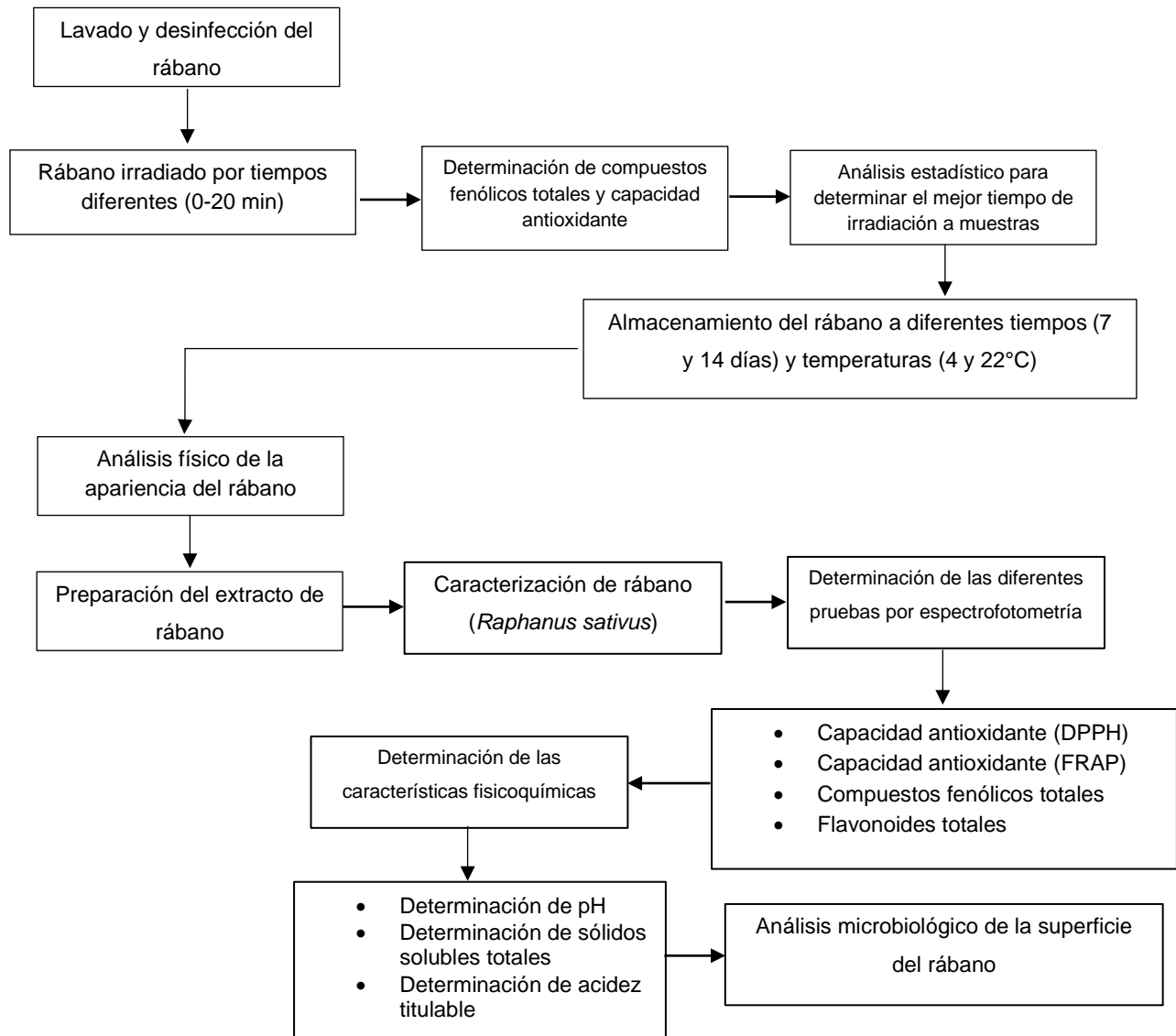


Figura 4. Diagrama de trabajo del presente proyecto de investigación

6 MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio: El necesario para realizar las técnicas.
- Reactivos: De grado analítico y alimenticio.
- Material biológico: Rábano rojo (*Raphanus sativus*).

Tabla 3. *Determinaciones y técnicas empleadas*

Determinación	Técnica	Referencia
pH	Potenciometría	NOM-F-317-S-1978
Capacidad antioxidante (DPPH)	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Compuestos fenólicos totales	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Flavonoides totales	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	

Poder Antioxidante del Fierro Reducido (FRAP)		Hernández-Carranza et al., 2016
Bacterias Mesofílicas aerobias	Vertido en placa	NOM-092-SSA1-1994
Mohos y levaduras	Vertido en placa	NOM- 092-SSA1-1994

Tabla 4. Equipos a utilizar

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	Ohaus®	P313
Licuadaora	Oster®	Profesional BPSTO2
Autoclave	CISA	AS-25
Contador de colonias	SOL-BAT	Q-20
Refractómetro	HANNA Instruments	HI96801
Incubadora	LUZUREN	DHP-500
Colorímetro		
Espectrofotómetro UV-visible	Spectronic 20 Genesys®	4001/4
Lámpara de luz UV-C		
Micropipeta (10-100 µL)	Brand	TP200H
Micropipeta (100-1000 µL)	Brand	TP342H
Parrilla de calentamiento-agitación	Fisher Scientific®	Isotep
Potenciómetro	Conductronic®	pH10
Vortex	IKAVortex 3®	140011124

7 METODOLOGÍA

7.1 Aplicación de luz UV-C sobre rábano rojo

Posterior a la compra, lavado y desinfección con hipoclorito de sodio (150 ppm), la pieza de cada rábano se dividió con una línea negra por la mitad de manera horizontal, la parte baja del rábano se cubrió y selló muy bien con aluminio, mientras que, la parte alta quedó descubierta con la finalidad de que esta última sea la muestra tratada con la lampara de luz UV-C y la parte tapada sea el control de cada pieza. Este procedimiento se realizó inicialmente por varios tiempos de irradiación empezando por cero minutos de irradiación (muestra no irradiada), siguiendo de 5, 10, 15 y 20 minutos. La Figura 5 ejemplifica el tratamiento con luz UV-C al que fueron sometidas las muestras de rábano.



Figura 5. *Tratamiento con luz UV-C sobre rábano.*

7.2 Preparación del extracto de rábano rojo

Posterior al tiempo de irradiación y almacenamiento determinado, se cortó el rábano por la línea horizontal marcada anteriormente y de cada parte (muestra irradiada y control) se obtuvo un trozo. El trozo se licuó en una licuadora Oster Profesional BPSTO2® con

100 mL de agua y un tiempo de licuado de 2 minutos, intentando obtener la muestra lo más molida posible, finalizando con la filtración del extracto que se muestra en la Figura 6.



Figura 6. *Filtrado de extracto de rábano tratado con luz UV-C.*

7.3 Evaluación de pH a extracto de rábano rojo

La evaluación de pH se llevó de acuerdo con la metodología propuesta por la NOM-F-317-S-1978. Se calibró el potenciómetro con buffer de 7.0, posteriormente se lavó con agua destilada y se calibró con buffer de 4.0, se volvió a lavar con agua destilada y se midió el pH del extracto de rábano.

7.4 Evaluación de acidez titulable a extracto de rábano rojo

La acidez titulable se evaluó mediante la titulación de la muestra con NaOH al 0.01 N. Se colocaron 5 mL de extracto de rábano rojo en un matraz Erlenmeyer y se agregaron 3 gotas de fenolftaleína a 0.1%.

7.5 Evaluación de sólidos solubles a extracto de rábano rojo

Los sólidos solubles se evaluaron por refractometría y se expresaron como g azúcar/100g. Se colocaron 0.2 mL de muestra en el refractómetro y se hizo la lectura de sólidos solubles en ausencia de luz. Este proceso se realizó por duplicado con agua destilada como blanco.

7.6 Evaluación de compuestos fenólicos totales a extracto de rábano rojo

La evaluación de compuestos fenólicos se llevó de acuerdo con la metodología propuesta por Hernández-Carranza et al. (2016). Se tomó 1 mL de muestra (extracto de rábano ya filtrado) y se le adicionó 1 mL del reactivo Folin-Ciocalteu al 0.1 M. Se dejó en reposo por 3 minutos en ausencia de luz y a temperatura ambiente, posteriormente se le agregó 1 mL de carbonato de sodio al 0.05% y nuevamente se dejó reposando, pero ahora por 30 minutos a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Posteriormente se midió la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm.

7.7 Evaluación de capacidad antioxidante a extracto de rábano rojo

La evaluación de capacidad antioxidante se llevó de acuerdo con la metodología propuesta por Hernández-Carranza et al. (2016). Para el método de DPPH, se tomó 1 mL de muestra y se le adicionó 1 mL de reactivo DPPH. Se mezcló y se dejó reposar por 30 min en ausencia de luz, posteriormente se midió la absorbancia de la muestra en el espectrofotómetro UV-visible Spectronic 20 Genesys® a una longitud de onda de 517 nm.

Para el método de FRAP, se tomó 0.75 mL de muestra y se le adicionó 1 mL de buffer fosfatos (0.2 M) de pH de 7.0 y 1 mL de hexacianoferrato de potasio al 0.1%. Se mezcló por 15 segundos en el vortex y se incubó a 50°C por 20 minutos a baño maría en total oscuridad, posteriormente se colocó en un baño de agua fría por 5 minutos. Luego de la reacción en el baño frío se le agregó 1 mL de solución de ácido tricloroacético al 10%, culminando en la primera reacción. Después se le adicionó 1 mL cloruro férrico al 0.01%

y se leyó la absorbancia a 700 nm. Este proceso se realizó por duplicado con agua destilada como blanco.

7.8 Evaluación de flavonoides a extracto de rábano rojo

La evaluación de flavonoides se llevó de acuerdo con la metodología propuesta por Hernández-Carranza et al. (2016). Se tomó 0.5 mL de muestra y se le adicionó 0.5 mL de nitrito de sodio a 1.5%, se mezcló y se le agregó 1 mL de cloruro de aluminio a 3%, la mezcla se dejó reposar por 1 min y posteriormente se le adicionó 1 mL de hidróxido de sodio a 1 N, se dejó reaccionar por 5 minutos a temperatura ambiente, pasado el tiempo la muestra se leyó a una longitud de onda de 490 nm. Este proceso se realizó por duplicado con agua destilada como blanco.

7.9 Análisis microbiológico a rábano rojo

El análisis microbiológico se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por la NOM-092-SSA1-1994. Se frotó 1 cm cuadrado de la superficie del rábano rojo con un hisopo estéril y se colocó en un tubo con 9 mL de agua peptonada. Se mezcló por 1 minuto. Posteriormente se tomó 1 mL de la muestra y se colocó en una caja Petri para realizar una siembra por el método de vertido en placa. Para BMA se usó agar nutritivo y para mohos-levaduras agar papa dextrosa. BMA se incubó a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Mohos y levaduras se incubó a $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas.

7.10 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza utilizando la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 0.05. El análisis se realizó con ayuda del programa Minitab 14.

8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Selección de los tiempos de irradiación con luz UV-C

En la Tabla 5 se muestran los niveles de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante en el rábano después de la irradiación con luz UV-C a diferentes tiempos. A medida que el tiempo de irradiación aumenta, se observa una variación en los niveles de estos componentes. Los compuestos fenólicos alcanzan su punto máximo a los 10 minutos (168.59 ± 0.61 mg GAE/100g) y luego disminuyen ligeramente, esto sugiere que la irradiación con luz UV-C sobre el rábano por un periodo de irradiación de 10 minutos incrementa la acumulación de compuestos fenólicos, lo que podría mejorar su valor nutricional y sus propiedades antioxidantes, ya que también se observa un aumento constante en la capacidad antioxidante. Sin embargo, después de los 10 minutos de irradiación, los beneficios adicionales parecer ser limitados o incluso pueden disminuir, como se observa en el tiempo de irradiación de 15 y 20 minutos. Al igual que con los compuestos fenólicos totales, se observa un aumento en la capacidad antioxidante con el aumento del tiempo de irradiación con luz UV-C; sin embargo, este aumento no es significativo ($p > 0.05$) más allá de 10 minutos de irradiación. La capacidad antioxidante alcanza su punto máximo a los 20 minutos de irradiación, sin embargo, este resultado no es significativo más allá de 10 minutos.

Estos resultados coinciden con los reportados por Frisón et al. (2021), donde se demostró un incremento de compuestos fenólicos en arándanos después del tratamiento con radiación UV-C por 10 minutos en comparación con muestras de arándanos no irradiados. Por otro lado, Andrade-Cuvi et al. (2017) en condiciones de irradiación muy similares a las utilizadas en este experimento, reportaron un incremento significativo de la capacidad antioxidante en uvilla que en la fruta control (no irradiada) inmediatamente después del tratamiento, lo que sugiere que la radiación UV-C provocó una acumulación de antioxidantes.

Tabla 5. *Compuestos bioactivos del rábano irradiado a 0-20 minutos**

Tiempo de Irradiación	Compuestos fenólicos totales (mg GAE/100g)	Capacidad antioxidante (mg Trolox/100g)
0	145.12 ± 4.06b	49.62 ± 1.75a
5	149.39 ± 1.89b	48.32 ± 0.98a
10	168.59 ± 0.61a	47.33 ± 1.10a
5	100.32 ± 2.88d	42.17 ± 1.74b
20	126.45 ± 1.51c	40.81 ± 1.17b

*Promedio (n=6) ± desviación estándar.

8.2. Evaluación de las características fisicoquímicas durante el almacenamiento de rábano irradiado con luz UV-C

En la Figura 7 se observa el aspecto físico de los rábanos irradiados por 5 y 10 minutos durante su almacenamiento por un lapso de 7 días a una temperatura de 22°C. Se eligieron estos tiempos de irradiación porque presentaron los valores más alto de compuestos fenólicos y antioxidantes. A medida que el tiempo de almacenamiento transcurría se notaron cambios físicos importantes en la raíz: la piel del rábano se volvió más suave y delgada, empezó a mostrar manchas oscuras como se observa en las fotografías y su textura cambio a una más suave, perdiendo firmeza, así que se decidió no estudiar ni analizar los compuestos bioactivos de estas muestras de rábano, por lo tanto, no se reportan resultados específicos para los rábanos almacenados a 22°C.

Por otra parte, las muestras de rábano irradiado por 5 y 10 minutos almacenadas durante 14 días a una temperatura de 4°C no tuvieron cambios físicos importantes, es decir, no presentaron suavidad en la piel ni manchas oscuras. Esta temperatura fue efectiva, ya que el almacenamiento en frío ralentiza las reacciones bioquímicas y enzimáticas responsables del deterioro de los tejidos vegetales, lo que permite mantener sus

características físicas por más tiempo. A bajas temperaturas, se reduce la tasa de respiración celular, lo cual es importante para prevenir la pérdida de firmeza y la aparición de manchas oscuras que suelen aparecer por la degradación de compuestos celulares y la actividad de enzimas oxidativas. Los resultados obtenidos coinciden con los de otros autores, por ejemplo, Martínez-Hernández et al. (2011) observaron que la vida útil del brócoli tratado con luz UV-C y almacenado a 5°C alcanzó los 19 días, lo que sugiere un alargamiento en su vida útil. Mientras que, Sgroppo y Sosa (2009) trabajaron muestras de calabazas tratadas con luz UV-C y almacenadas a 5°C, determinando así que dicho tratamiento fue efectivo para mantener una buena calidad sensorial y microbiológica, ya que retardó el crecimiento de microorganismos y extendió su vida útil (Gutiérrez et al., 2016).

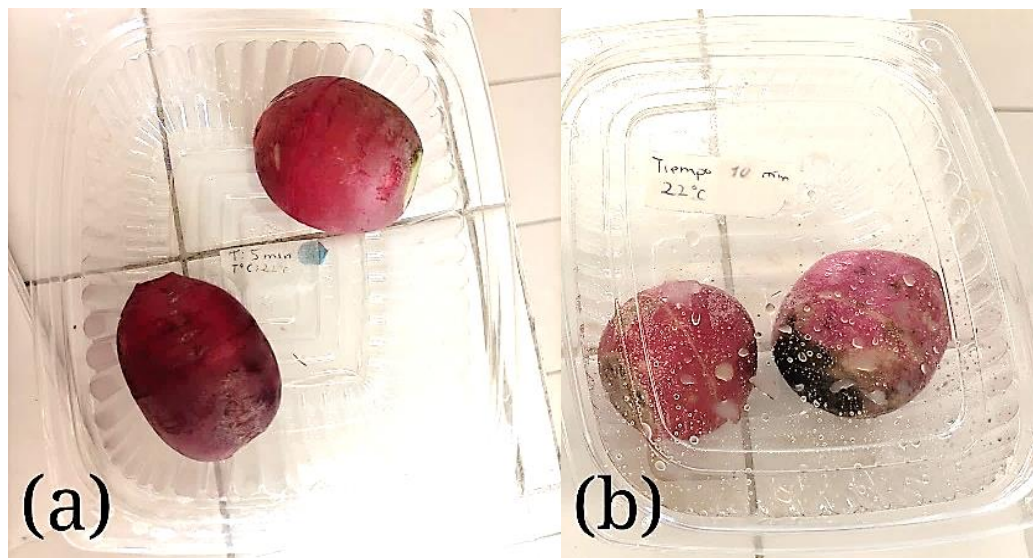


Figura 7. Apariencia del rábano almacenado a 22°C por 7 días. (a) Muestras de rábano irradiado por 5 min y (b) muestras de rábano irradiado por 10 minutos.

La Tabla 6 muestra las características fisicoquímicas del rábano irradiado con luz UV-C a diferentes intervalos de tiempo y almacenados durante 14 días a 4°C. A continuación,

se presentan y discuten los resultados obtenidos para pH, acidez titulable (% de ácido ascórbico) y sólidos solubles totales.

Al inicio del almacenamiento, los rábanos irradiados presentaron valores de pH en un rango de 6.29 - 6.33 para los tiempos de 5 y 10 minutos, no observándose diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tiempos de irradiación, el mismo caso ocurre con los rábanos almacenados por 7 días, donde el pH fue de 6.28 – 6.32 para los tiempos de 5 y 10 minutos respectivamente, observándose también diferencias no significativas ($p > 0.05$). Por otra parte, los resultados de pH para los rábanos almacenados por 14 días fueron 6.28 – 6.31 para 5 y 10 minutos de irradiación, sin embargo, no se observaron diferencias significativas.

Estos datos coinciden con los reportados por Beltrán (2010), quien no encontró efectos en el pH de fresas tratadas con radiación UV-C. Menciona también que otros autores muestran pocos o ningún cambio con el tiempo. Esto sugiere que la variación en el tiempo de irradiación y almacenamiento del rábano no afectaron de manera importante esta característica fisicoquímica.

Gamba et al. (2021) mencionaron que el rábano es rico en vitamina C (ácido ascórbico), por esta razón los resultados de acidez titulable se expresan en porcentaje de ácido ascórbico. En cuanto a la acidez titulable, se observa una variabilidad leve en función del tiempo de almacenamiento y del tiempo de irradiación. De manera general, parece que la acidez titulable puede aumentar con el tiempo de irradiación, esto se nota especialmente en las muestras irradiadas durante 10 minutos, aunque este efecto podría ser más lento debido a la baja temperatura de almacenamiento (4°C).

Al inicio del almacenamiento, la acidez titulable para el rábano irradiado durante 5 minutos fue de 0.014 ± 0.01 % (ácido ascórbico), mientras que para 10 minutos de irradiación fue de 0.020 ± 0.00 %. La acidez titulable es ligeramente mayor en los rábanos irradiados por 10 minutos en comparación con los irradiados por 5 minutos. Según menciona Reyes-Arcos (2016), el aumento en la acidez titulable es debido a la concentración de metabolitos, los cuales en su mayoría son ácidos orgánicos.

Por otra parte, para las muestras de rábano almacenadas por 7 días con un tiempo de irradiación de 5 minutos, la acidez titulable fue de 0.017 ± 0.00 % (ácido ascórbico), mientras que para 10 minutos de irradiación fue de 0.019 ± 0.00 %, respectivamente. La acidez titulable es similar entre los grupos irradiados por 5 minutos y 10 minutos. Sin embargo, para los rábanos almacenados durante 14 días con un tiempo de irradiación de 5 minutos, la acidez titulable fue de 0.018 ± 0.01 % (ácido ascórbico), mientras que para 10 minutos de irradiación fue de 0.012 ± 0.00 %.

De manera general, las diferencias entre las muestras irradiadas durante 5 y 10 minutos no son significativas ($p > 0.05$), lo cual coincide con los resultados obtenidos por Castro y Guerrero (2021), quienes analizaron el efecto de luz UV-C sobre las características fisicoquímicas de la salvia de agave salmiana durante el almacenamiento, dando como resultado cambios no significativos ($p > 0.05$) en la acidez titulable. Estos resultados se ven reforzados con los de otros autores que mencionan que el tratamiento lumínico con UV-C aplicado a jugos de frutas no afecta el pH y la acidez de los mismos (Ochoa-Velasco y Beltrán, 2013).

Al igual que en la acidez titulable, se observan diferencias notables en los sólidos solubles totales donde los valores tienden a disminuir con el tiempo de irradiación, particularmente en las muestras irradiadas durante 10 minutos.

Al inicio del tratamiento, los rábanos irradiados por 5 minutos tienen un contenido ligeramente mayor de sólidos solubles totales (0.433 ± 0.082) en comparación con los irradiados por 10 minutos (0.400 ± 0.063). Se evidenció que, para los 7 y 14 días de almacenamiento, los rábanos irradiados por 5 y 10 minutos no tuvieron una diferencia significativa ($p > 0.05$). Los resultados obtenidos sugieren que el tratamiento con luz UV-C afecta la concentración de compuestos solubles en el extracto de rábano. La duración de la irradiación y el período de almacenamiento influyen en los sólidos solubles totales, lo que podría afectar el sabor percibido en los rábanos.

Melo-Aldana y Urrutia (2014) mencionan los resultados de varios autores que determinaron los sólidos solubles totales en rebanadas de Carambola y rebanadas de

piña tratadas con luz UV-C, las cuales fueron almacenadas bajo condiciones de refrigeración, obteniendo una ligera disminución en el contenido de sólidos solubles totales.

Tabla 6. Características fisicoquímicas del rábano durante el almacenamiento en refrigeración*

Tiempo de Almacenamiento	Tiempo de Irradiación	pH	Acidez Titulable (% ácido ascórbico)	Sólidos Solubles Totales (g azúcar/100g)
Cero días	5 minutos	6.33 ± 0.04a	0.01 ± 0.01ab	0.43 ± 0.08a
	10 minutos	6.29 ± 0.03a	0.02 ± 0.00a	0.40 ± 0.06a
7 días	5 minutos	6.33 ± 0.08a	0.02 ± 0.00ab	0.40 ± 0.06a
	10 minutos	6.29 ± 0.02a	0.02 ± 0.00ab	0.37 ± 0.08a
14 días	5 minutos	6.32 ± 0.05a	0.02 ± 0.01ab	0.45 ± 0.06a
	10 minutos	6.28 ± 0.08a	0.01 ± 0.00b	0.38 ± 0.08a

*Promedio (n=6) ± desviación estándar.

8.3 Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el rábano irradiado por 5 y 10 minutos

La Figura 8 muestra la relación entre el almacenamiento (en días) y los compuestos fenólicos totales (mg GAE/100g) en rábanos sometidos a diferentes tipos de irradiación. Se observa que todos los rábanos (irradiados y sin irradiar) presentan un valor alto de compuestos fenólicos totales, pero durante el almacenamiento los del grupo control disminuyen significativamente ($p < 0.05$), esto podría deberse a la degradación natural de los compuestos fenólicos durante el almacenamiento. Los grupos 5 y 10 minutos de irradiación también muestran una disminución en los compuestos fenólicos, pero son más estables en comparación con el grupo control, lo que sugiere que la irradiación

podría tener un efecto protector o ralentizador en la degradación de los compuestos fenólicos.

La dosis de 5 minutos de irradiación podría estar en un rango adecuado para lograr un equilibrio entre la desinfección y la preservación de los compuestos fenólicos, ya que, durante este tiempo, la irradiación UV-C puede inactivar microorganismos sin causar una degradación significativa de dichos compuestos.

Rabelo et al. (2020) reportaron que dosis bajas de radiación UV-C a fruta acerola modularon la biosíntesis de compuestos fenólicos en comparación con las muestras no irradiadas, estos resultados sugieren que la luz UV-C ayuda a retener el contenido fenólico al acelerar el ácido ascórbico y el metabolito fenólico a través de un aumento en la actividad mitocondrial y un mecanismo mediado por ROS. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en el presente trabajo.

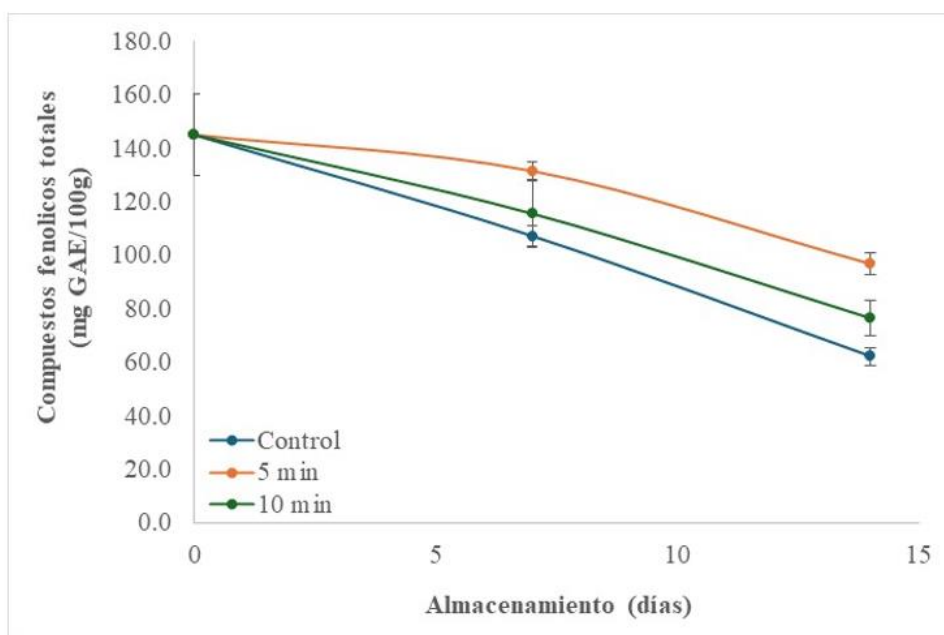


Figura 8. Efecto de la irradiación UV-C en los compuestos fenólicos totales del rábano durante el almacenamiento a 4°C.

El efecto de la irradiación UV-C y el almacenamiento a 4°C en los flavonoides totales del rábano se ilustra en la Figura 9. Los resultados muestran que el grupo control (no irradiado) tiene una disminución gradual en los niveles de flavonoides totales durante el periodo de almacenamiento. Mientras que, el grupo irradiado durante 5 minutos resulta en una disminución inicial en los niveles de flavonoides, pero luego aumenta después de 7 días de almacenamiento, esto se debe a que la exposición a UV-C causa estrés oxidativo en el rábano, generando especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales activan factores de transcripción específicos como los factores de la familia MYB y bHLH. Estos factores actúan como interruptores genéticos que controlan la expresión de genes responsables de la producción de flavonoides y otros compuestos fenólicos (de la Rosa et al., 2022). Por otra parte, el grupo irradiado durante 10 minutos muestra un patrón similar al control, pero con una mayor concentración inicial de flavonoides. La diferencia en los patrones observados entre los grupos irradiados durante 5 y 10 minutos podría deberse a la intensidad del estrés inducido. Una exposición prolongada (10 minutos) podría causar un daño inicial mayor, seguido de una respuesta defensiva más sostenida, mientras que una exposición más corta (5 minutos) podría inducir una respuesta más rápida y menos sostenida. Estos resultados se asemejan a los de González y Zavaleta (2007), quienes reportaron que el tratamiento con UV-C en mango por periodos de 5 y 10 minutos lograron incrementar el contenido de flavonoides en comparación a los frutos testigo. Mencionan también que las frutas tratadas con UV-C durante 5 minutos mostraron valores significativamente más bajos ($p < 0.05$) en comparación con los controles y con aquellas frutas expuestas durante 10 minutos.

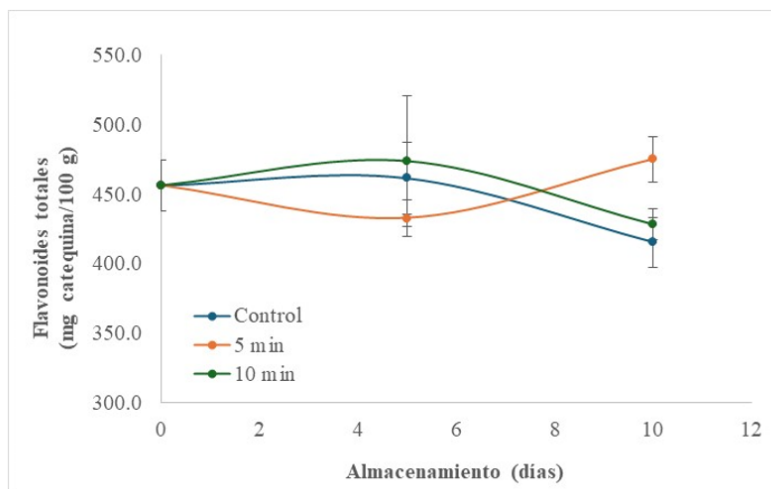


Figura 9. Efecto de la irradiación UV-C y el almacenamiento a 4°C en los flavonoides totales del rábano

La Figura 10 representa el efecto de la irradiación UV-C sobre la capacidad antioxidante en rábanos con varios días de almacenamiento aplicando el método DPPH. Se observa que la capacidad antioxidante del control (grupo que no fue sometido a la irradiación) presenta un aumento en la capacidad antioxidante durante los primeros 7 días. Esto sugiere que el propio proceso de almacenamiento a 4°C tiene un efecto positivo en la capacidad antioxidante del rábano. Sin embargo, se observa que disminuye drásticamente en el lapso de 7 a 14 días. Mientras tanto, la capacidad antioxidante de las muestras irradiadas por 5 minutos aumenta gradualmente durante los primeros 7 días, sin embargo, la pendiente de aumento es menos pronunciada que en el grupo expuesto a 10 minutos de irradiación. Posterior a los 7 días, la capacidad antioxidante disminuye lentamente hasta llegar al día 14. Este comportamiento sugiere un equilibrio en el aumento y degradación de la capacidad antioxidante del rábano irradiado durante 5 minutos. Por otro lado, tanto el grupo control como el grupo de 10 minutos presentan inicialmente una capacidad antioxidante similar, sin embargo, se observa un mayor aumento en el grupo de 10 minutos a los 7 días de almacenamiento y una disminución abrupta en los siguientes días, aun así, la capacidad antioxidante del grupo de 10 minutos se mantiene relativamente alta en comparación al grupo control.

El grupo irradiado por 5 minutos presenta un comportamiento similar al reportado por Kobashigawa et al. (2011). En este estudio se describe el efecto positivo de la radiación UV-C sobre la capacidad antioxidante de rábanos irradiados durante 5 minutos, reportando así, un mejoramiento en los compuestos fitoquímicos con el tratamiento óptimo con radiación UV-C

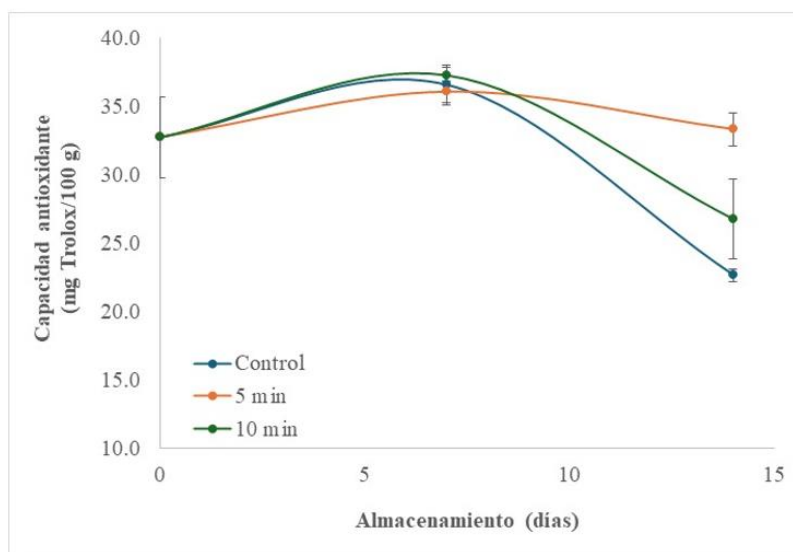


Figura 10. Efecto de la irradiación UV-C en la capacidad antioxidante del rábano durante el almacenamiento a 4°C.

La Figura 11 muestra el efecto de la irradiación UV-C y el almacenamiento a 4°C en la capacidad antioxidante del rábano, medida mediante el método FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power). Se evaluaron los niveles de capacidad antioxidante en rábanos sometidos a diferentes condiciones. La grafica presenta los resultados donde se comparan 3 grupos. El primer grupo (control) consiste en rábanos que no fueron irradiados con luz UV-C. El segundo grupo (5 min) consiste en rábanos que fueron sometidos durante 5 minutos a la irradiación con luz UV-C, mientras que el tercer grupo (10 min) fue sometido a la irradiación durante 10 minutos.

Se puede observar que, a lo largo de los 14 días de almacenamiento, el grupo control presenta un ligero aumento en la capacidad antioxidante. Esto podría deberse a

procesos naturales de maduración o cambios metabólicos durante el almacenamiento. Por otra parte, los rábanos irradiados durante 5 minutos muestran un aumento más pronunciado en la capacidad antioxidante en comparación con el grupo de control, este aumento es especialmente evidente entre los días 7 y 14 días de almacenamiento, lo que sugiere que la irradiación con luz UV-C podría haber estimulado respuestas antioxidantes en los rábanos, lo que resulta en una mayor capacidad para neutralizar los radicales libres. En cambio, los rábanos del grupo de 10 minutos también muestran un aumento en la capacidad antioxidante, aunque menos pronunciada que el grupo de 5 minutos, esto sugiere que existe un punto ideal de irradiación, y excederlo no necesariamente conduce a mayores beneficios antioxidantes.

Frisón et al. (2021) informaron que las muestras de arándano tratadas con irradiación UV-C durante 10 minutos aumentaron su capacidad antioxidante con respecto a las muestras sin tratar, lo que sugiere que el tratamiento con UV-C provoca la acumulación de antioxidantes.

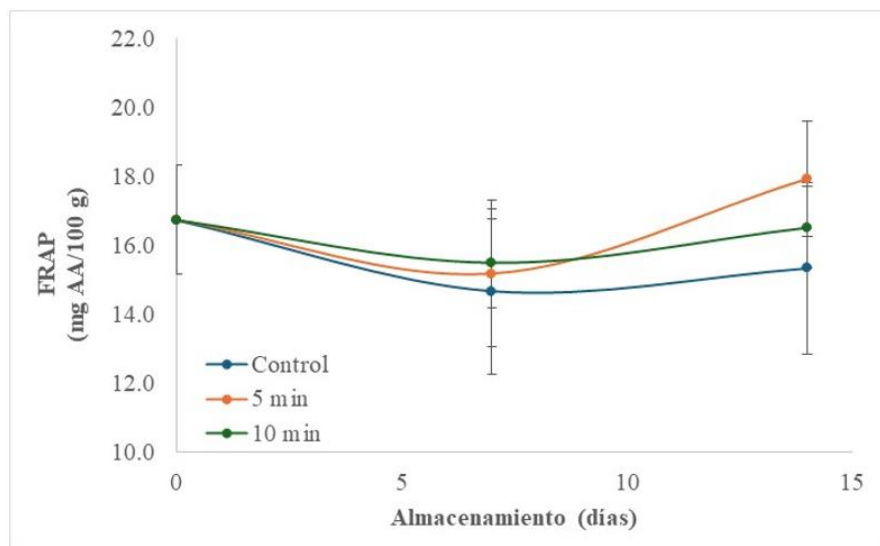


Figura 11. Efecto de la irradiación UV-C y el almacenamiento a 4°C en la capacidad antioxidante del rábano aplicando el método FRAP.

La actividad microbiológica de las bacterias mesofílicas aerobias (BMA) en el rábano en función del tiempo de irradiación con UV-C y el almacenamiento a 4°C se representa en la Figura 12. La grafica representa tres puntos de tiempo de irradiación. Aunque en el tratamiento la carga inicial del rábano es baja (1.0 log[N]), se observa que existe una reducción por el proceso de irradiación, disminuyendo con respecto al tiempo del proceso. Estos resultados indican que cuanto menor sea el valor de log[N], menor será la actividad microbiológica. A medida que aumenta el tiempo de irradiación, la BMA disminuye. Esto último es relevante para la conservación y seguridad alimentaria del rábano. Investigaciones actuales han demostrado que el tratamiento UV-C puede reducir la carga microbiana inicial en frutas y verduras en un rango de 0.6 a 1 log UFC por gramo en comparación con muestras no tratadas. Estos resultados presentan similitud con los reportados por Park y Kim (2015) quienes reportaron una diferencia significativa en las poblaciones microbianas en el ajo tratado con UV-C en comparación a los controles. Mientras que Fonseca y Rushing (2006) mencionan que si el tratamiento lumínico UV-C se implementa eficazmente sobre toda la superficie de frutas podría ser un tratamiento desinfectante satisfactorio para la sandía recién cortada sin causar deterioro de la calidad.

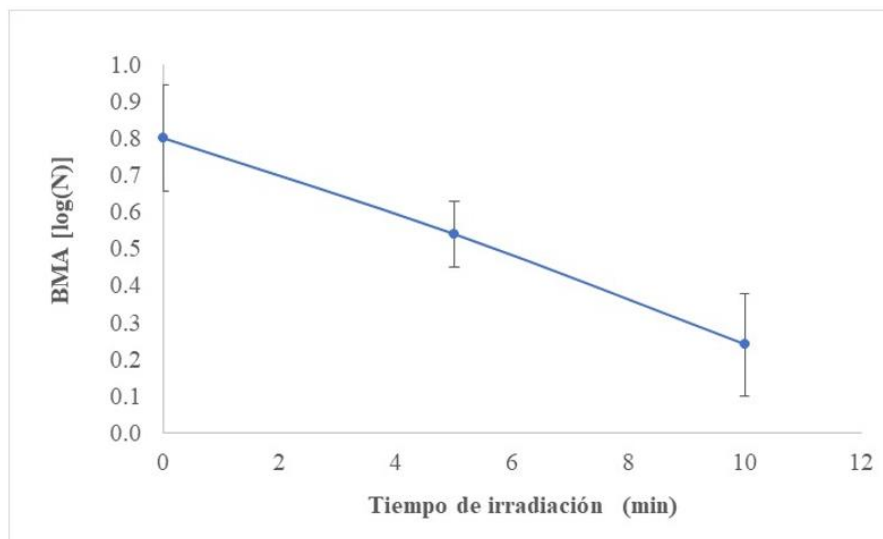


Figura 12. Efecto de la irradiación UV-C sobre la actividad microbiológica del rábano.

9. CONCLUSIONES

- A 22°C se observó un deterioro significativo en la apariencia de las muestras de rábano, con la piel volviéndose más suave y delgada, aparición de manchas oscuras, y una pérdida de firmeza. Debido a estos cambios, no se realizó el análisis de los compuestos bioactivos para las muestras almacenadas a esta temperatura. En contraste, los rábanos almacenados a 4°C mantuvieron mejor sus características físicas y, por ende, fueron objeto de un análisis más detallado.
- Los tiempos de irradiación de 5 y 10 minutos se presentaron como los mejores parámetros para aumentar la acumulación de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en rábanos.
- Prolongar la irradiación más allá de 10 minutos no ofreció beneficios adicionales a los obtenidos en los tiempos de irradiación de 5 y 10 minutos.
- Las características fisicoquímicas del rábano no fueron afectadas de manera importante, lo que sugiere que la variación en el tiempo de irradiación y almacenamiento no presentaron una diferencia significativa.
- La aplicación de luz UV-C en rábanos preservó y aumentó los niveles de compuestos bioactivos del rábano como los flavonoides, contribuyendo así con sus propiedades antioxidantes.
- La irradiación con luz UV-C mostró ser una estrategia eficaz para reducir la actividad microbiana de las BMA en rábanos almacenados a 4°C. A medida que aumenta el tiempo de irradiación, la BMA disminuye significativamente. En particular, el tratamiento de 10 minutos de irradiación con UV-C reduce notablemente la carga microbiana sin comprometer la calidad del rábano, lo que sugiere que este tiempo de exposición es ideal para mejorar su conservación, calidad y seguridad alimentaria.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar parámetros específicos de la luz UV-C como la intensidad y la distancia de la fuente, para maximizar tanto la vida en anaquel como la preservación de los compuestos bioactivos en el rábano.
- Es importante monitorear la resistencia microbiana para asegurar que el uso de luz UV-C no conduzca a la selección de cepas patógenas más resistentes.
- Se sugiere llevar a cabo evaluaciones sensoriales detalladas para asegurarse que la aplicación de luz UV-C no afecta negativamente las características sensoriales (sabor, textura, aroma) de los rábanos.
- Es recomendable realizar estudios de mercado para evaluar la aceptación de los consumidores de los rábanos tratados con UV-C y orientarlos sobre los beneficios de este método de conservación.
- Es importante revisar y considerar las normativas y regulaciones existentes sobre el uso de luz UV-C en alimentos, asegurando que los métodos desarrollados cumplan con los estándares de seguridad alimentaria y salud pública de México.

REFERENCIAS

1. Agrokrebs (2021). *Morfología del rábano*. <https://www.facebook.com/agrokrebs/posts/1077428236074961/>
2. Aguilera, M., Reza, M. C., Gerardo, R., Madinaveitia, C. y Meza, J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. https://www.researchgate.net/publication/283361581_Propiedades_funcionales_de_las_antocianinas
3. Alatorre-Cruz, J. M., Carreño-López, R., Alatorre-Cruz, G. C., Paredes-Esquivel, L. J., Santiago-Saenz, Y. O. y Nieva-Vázquez, A. (2023). *Traditional Mexican Food: Phenolic Content and Public Health Relationship*. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(6), 1233. doi: 10.3390/foods12061233.

4. Andrade-Cuvi, M. J., Moreno, C., Zaro, M. J., Vicente, A. R., y Concellón, A. (2017). *Improvement of the Antioxidant Properties and Postharvest Life of Three Exotic Andean Fruits by UV-C Treatment*. *Journal of Food Quality*, 2017(), 1–10. doi:10.1155/2017/4278795
5. Avella, D. M. G., García, C. A. O. y Cisneros, A. M. (2008). *Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal*. In *Memorias del simposio de metrología*. Universidad Autónoma De Querétaro. Centro Nacional De Querétaro. https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/m2/sm2008-m220-1108.pdf
6. Balasundram, N., Sundram, K. y Samman, S. (2006). *Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses*. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203. doi:10.1016/j.foodchem.2005.07.042
7. Ballard, C. R. y Junior, M. R. M. (2019). *Health benefits of flavonoids*. In *Bioactive compounds* (pp. 185-201). Woodhead Publishing.
8. Banihani, S. (2017). *Radish (Raphanus sativus) and Diabetes*. *Nutrients*, 9(9), 1014–. doi:10.3390/nu9091014
9. Beltrán-Alban, Á. J. (2010). *Estudio de la vida útil de fresas (fragaria vesca) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/858>
10. Blekkenhorst, L. C., Sim, M., Bondonno, C. P., Bondonno, N. P., Ward, N. C., Prince, R. L., ... y Hodgson, J. M. (2018). *Cardiovascular health benefits of specific vegetable types: a narrative review*. *Nutrients*, 10(5), 595. <https://www.mdpi.com/2072-6643/10/5/595>
11. Curtis, I. S. (2008). *Radish*. *Compendium of Transgenic Crop Plants: Transgenic Vegetables Crops*. (118). doi:10.1002/9781405181099.k0605
12. de la Rosa Reyna, X. F., León, I. G., Mendoza, J. H., Baquera, J. M., & Velásquez, J. D. C. Q. (2022). *Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas*. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 155-162.
13. El-Beltagi, H. S., Maraiei, R. W., Shalaby, T. A. y Aly, A. A. (2022). *Metabolites, nutritional quality and antioxidant activity of red radish roots affected by gamma rays*.

- Agronomy, 12(8), 1916. <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1916#B4-agronomy-12-01916>
14. Emus-Medina, A., Contreras-Angulo, L. A., Ambriz-Perez, D. L., Vazquez-Olivo, G. y Heredia, J. B. (2023). *UV light stress induces phenolic compounds in plants. In Plant phenolics in abiotic stress management* (pp. 415-440). Singapore: Springer Nature Singapore.
 15. Espinoza, L. (2011). *Huerto familiar orgánico bajo condiciones de campo abierto en el estado de Chiapas*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2301/LUIS%20ALBERTO%20ESPINOSA%20JUAREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 16. Fonseca, J. M. y Rushing, J. W. (2006). *Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon*. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 256-261.
 17. Frisón, L. N., Rivas, M. Z., Chiericatti, C. A. y Piagentini, A. M. (2021). *Efecto de la radiación UV-C sobre la calidad y la flora fúngica contaminante natural de arándanos (Vaccinium corymbosum L., variedad O’Neal)*. INNOTEC. <https://doi.org/10.26461/22.06>
 18. Gamba, M., Asllanaj, E., Raguindin, P., Glisic, M., Franco, O., Minder, B., Bussler, W., Metzger, B., Kern, H. y Muka, T. (2021). *Nutritional and phytochemical characterization of radish (Raphanus sativus): A systematic review*. *Trends in Food Science & Technology*, -. doi:10.1016/j.tifs.2021.04.045
 19. González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R. y Tiznado-Hernández, M. E. (2007). *Improving postharvest quality of mango ‘Haden’ by UV-C treatment*. *Postharvest biology and technology*, 45(1), 108-116.
 20. Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E. y Di Scala, K. (2015). *Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (Raphanus sativus L.) leaves and roots*. *Journal of Functional Foods*, 16, 256–264. doi:10.1016/j.jff.2015.04.049
 21. Gutiérrez, D., Ruiz, G., Sgroppo, S. y Rodríguez, S. (2016). *Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama*. Agrocienca (Uruguay),

- 20(2), 7-13. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200002&lng=es&tlng=es.
22. Hanlon, P. R. y Barnes, D. M. (2011). *Composición fitoquímica y actividad biológica de brotes y raíces pivotantes maduras de 8 variedades de rábano (Raphanus sativus L.)*. J Food Sci. 76(1):C185-92. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01972.x.
23. Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Guerrero-Beltrán, J. A., Navarro-Cruz, A. R., Corona-Jiménez, E., y Ochoa-Velasco, C. E. (2016). *Optimization of antioxidant compounds extraction from fruit by-products: Apple pomace, orange and banana peel*. Journal of Food Processing and Preservation, 40, 103–115.
24. Infoagro. (2010). *El cultivo del rábano*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
25. Jhahan, E., Bhattacharyya, S. y Chaudhuri, A. (2022). *Optimization and application of UVC irradiation for prevention of fungal biodeterioration of vegetable tanned and chrome tanned leather*. J Leather Sci Eng 4, 28. <https://doi.org/10.1186/s42825-022-00104-4>
26. Khanday, A.H., Badroo, I.A., Wagay, N.A. y Rafiq, S. (2024). *Role of Phenolic Compounds in Disease Resistance to Plants*. In: Lone, R., Khan, S., Mohammed Al-Sadi, A. (eds) Plant Phenolics in Biotic Stress Management. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3334-1_19
27. Ma, E. Z. y Khachemoune, A. (2023). *Flavonoids and their therapeutic applications in skin diseases*. Archives of dermatological research, 315(3), 321-331.
28. Manivannan, A., Kim, J. H., Kim, D. S., Lee, E. S. y Lee, H. E. (2019). *"Deciphering the Nutraceutical Potential of Raphanus sativus-A Comprehensive Overview"*, Nutrients. doi: 10.3390/nu11020402. PMID: 30769862; PMCID: PMC6412475.
29. Martínez-Hernández, G. B., Gómez, P. A., Pradas, I., Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2011). *Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi® broccoli*. Postharvest Biology and Technology, 62(3), 327–337. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.06.015
30. Martínez-Zamora, L., Castillejo, N., Gómez, P. A., Pedreño, J. L., Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2021). *Efecto de la radiación postcosecha UV-B y UV-C en la calidad*

- bioactiva de germinados de brócoli y rábano*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 22(2).
31. Melo-Aldana, F. A. y Urrutia-Manjarres, J. A. (2014). *Evaluación del efecto de la radiación UV-C, sobre parámetros de calidad y extensión de la vida útil de frutos de uchuva (Physalis Peruviana L.) bajo condiciones comerciales de almacenamiento*.
32. Melo, L. (2023). *El rábano y su versatilidad*. <https://greenants.com.mx/el-rabano-y-su-versatilidad/>
33. Millán-Villarroel, D., Romero-González, L., B., M. y Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). *Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas*. Saber, 27(3), 454-469. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&tlng=es.
34. NOM-092-SSA1-1994. (1994). NORMA OFICIAL MEXICANA. "Método para la cuenta de Bacterias Aerobias en Placa". Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.
35. NOM-F-317-S-1978. (1978). NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos" NOM-F-317-S-1978. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.
36. Ochoa-M., C y Ayala-A., A. (2011). *Los flavonoides: apuntes generales y su aplicación en la industria de alimentos*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b61e540-7d59-428b-b323-f149586706ba/content>
37. Ochoa-Velasco, C. E. y Beltrán, J. Á. G. (2013). *Short-wave ultraviolet-C light effect on pitaya (Stenocereus griseus) juice inoculated with Zygosaccharomyces bailii*. Journal of Food Engineering, 117(1), 34-41.
38. Organización Mundial de la salud. (2022). *Seguridad alimentaria*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
39. Park, M. H., y Kim, J. G. (2015). *Low-dose UV-C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (Allium sativum L.) during storage*. Postharvest Biology and Technology, 100, 109-112.
40. Plantvillage. (2023). *Radish*.

41. Rabelo, M.C., Bang, W.Y., Nair, V., Alves, R.E., Jacobo-Velázquez, D.A., Sreedharan, S., Alcântara de Miranda, M.R. y Cisneros-Zevallos, L., (2020). *UV-C light modulates vitamin C and phenolic biosynthesis in acerola fruit: role of increased mitochondria activity and ROS production*. Nat. Sci. Reports 10, 21972. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78948-1>
42. Rani, A., Arfat, Y., Aziz, R. S., Ali, L., Ahmed, H., Asim, S., ... y Hocart, C. H. (2021). *Enzymatically assisted extraction of antioxidant and anti-mutagenic compounds from radish (Raphanus sativus)*. Environmental Technology & Innovation, 23, 101620.
43. Redan, B. W., Buhman, K. K., Novotny, J. A. y Ferruzzi, M. G. (2016). *Altered Transport and Metabolism of Phenolic Compounds in Obesity and Diabetes: Implications for Functional Food Development and Assessment*. doi: 10.3945/an.116.013029. PMID: 28140326; PMCID: PMC5105043.
44. Reproducido de Royal Botanic Gardens; Plants of the World Online Kew Science, 2023. Todos los derechos reservados (2023).
45. Reyes-Arcos, E. A. (2016). *Evaluación de la luz ultravioleta de onda corta (UV-C) y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas en tejocote (Crataegus mexicana) durante el almacenamiento*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/da1b3d28-70f2-411b-bb31-f495ddeb646b/content>
46. Ribeiro, T.B., Melo, A., Vilas-Boas, A.A. y Pintado, M. (2023). *Flavonoids*. In: Carocho, M., Heleno, S.A., Barros, L. (eds) Natural Secondary Metabolites. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18587-8_4
47. Rivera, D., Gardea, A., Martínez, M., Rivera, M. y González, G. (2007). *Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación uv-c en frutas y hortalizas*. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 30 (4): 361 – 372.
48. Schoch, C., Ciufo, S., Domrachev, M., Hotton, C., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcveigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J., Sun, L., Turner, S. y Karsch-Mizrachi, I. (2020). *Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools*. Database Oxford. doi: 10.1093/database/baaa062. PMID: 32761142; PMCID: PMC7408187.

49. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *El rábano ¿qué sabes de esta hortaliza?*
50. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Fresco, picante y algo amargo, es el rábano.* <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/fresco-picante-y-algo-amargo-es-el-rabano>
51. Sgroppo, S. C., y Sosa, C. A. (2009). *Zapallo anco (Cucurbita moschata, D.) Fresco cortado tratado con luz UV-C.* *Facena*, 25, 7-19. <https://doi.org/10.30972/fac.2505474>
52. Silva, M. V. (2017). *Tecnología de IV GAMA para optimizar la calidad microbiológica del rábano (Raphanus sativa) cultivado en la parroquia de Panzoleo.* Ambato: UNIVERSIDAD REGIONAL AUTÓNOMA DE LOS ANDES.
53. Singh, A., Sharma, S. y Dolly. (2020). *Radish.* In: Nayik, G.A., Gull, A. (eds) *Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2_11
54. Singh, B.K. (2021). *Radish (Raphanus sativus L.): Breeding for Higher Yield, Better Quality and Wider Adaptability.* In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_7
55. Singh, J. (2023). *Bioactive Nutrients in Vegetables for Human Nutrition and Health.* In: Singh, B., Kalia, P. (eds) *Vegetables for Nutrition and Entrepreneurship.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9016-8_3
56. Tchonkouang, R.D., Lima, A.R., Quintino, A.C., Cristofoli, N.L. y Vieira, M.C. (2023). *"UV-C Light: A Promising Preservation Technology for Vegetable-Based Nonsolid Food Products"*. *Foods* 12, no. 17: 3227. <https://doi.org/10.3390/foods12173227>
57. Ullah, A., Munir, S., Badshah, S. L., Khan, N., Ghani, L., Poulson, B. G., ... y Jaremko, M. (2020). *Flavonoides importantes y su papel como agente terapéutico.* *Moléculas*, 25(22), 5243.
58. Viruega, S. (2023). *¿Qué son los fitoquímicos?* <https://mejorconsalud.as.com/que-son-los-fitoquimicos/>
59. Warwick, S. I. (2009). *Raphanus Linnaeus, Sp. Pl.* 2: 669. 1753; *Gen. Pl.* ed. 5, 300. 1754. In *Flora of North America Editorial Committee (Eds.) Flora of North America*

North of Mexico, Vol. 7: Magnoliophyta: Salicaceae to Brassicaceae. New York and Oxford.

60. Wrolstad R.E. (2006). *Pigmentos de antocianina: bioactividad y propiedades colorantes*. 69(5), 0–0. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10709.x
61. Wu, Q., Su, N., Zhang, X., Liu, Y., Cui, J. y Liang, Y. (2016). *El peróxido de hidrógeno, el óxido nítrico y el LOCUS8 DE RESISTENCIA A LA LUZ UV interactúan para mediar la biosíntesis de antocianina inducida por UV-B en brotes de rábano*. Scientific reports, 6(1), 29164. doi: 10.1038/srep29164. PMID: 27404993; PMCID: PMC4941517
62. Yamagishi, H. (2017). *Especiación y diversificación del rábano*. In: Nishio, T., Kitashiba, H. (eds) El genoma del rábano. Compendio de genomas vegetales. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59253-4_2
63. Zespri International (Europe) N.V. (2020). *Antioxidantes y fitonutrientes*. <https://profesionales-salud.zespri.com/nutricion-salud/composicion-nutricional/antioxidantes-y-fitonutrientes>