

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



*"En la Universidad de Guanajuato, todas y todos, nos comprometemos a
garantizar el derecho de las mujeres a vivir libres de violencia."*

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA.

C.
DR. JOSÉ MARIO MENDOZA CARRILLO,
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA
CAMPUS IRAPUATO – SALAMANCA,
P R E S E N T E.

En relación al trabajo de titulación de la C. **TERESA FLORES LÓPEZ**, nos permitimos comunicar a Usted que el trabajo de Tesis: "PROPIEDADES DIELECTRICAS DE FRAMBUESAS (*Rubus idaeus* L.) Y SU CALIDAD DESPUÉS DE TRATAMIENTOS HODROTÉRMICOS ASISTIDOS CON MICROONDAS", que fue desarrollado bajo la Dirección de la Dra. María Elena Sosa Morales, profesora de la División, ha sido terminado, escrito y revisado por el Dr. Julián Andrés Gómez Salazar y la Dra. Gabriela Rodríguez Hernández, profesores de la División de Ciencias de la Vida, se ha autorizado la impresión del mismo.

Así mismo nos permitimos proponer la integración del Jurado a los señores:

DR. JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ SALAZAR	PRESIDENTE
DRA. GABRIELA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ	SECRETARIO
DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES	VOCAL

ATENTAMENTE
Irapuato, Gto., 2 de Octubre de 2020.

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES
DIRECTOR

REVISOR

DR. JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ SALAZAR

REVISOR

DRA. GABRIELA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

Ex Hacienda El Copal, Km. 9 Carretera Irapuato-Silao,
C.P. 36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México
Tel. y Fax: 01 4651 624 18 89.

www.iraputosalamanca.ugto.mx



"En la Universidad de Guanajuato, todos y todas, nos comprometemos a garantizar el derecho de las mujeres a vivir libres de violencia."

DIRECCIÓN,

Asunto: AUTORIZACION CO-DIRECTOR,

C.
TERESA FLORES LOPEZ,
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS,
P R E S E N T E.

Por medio del presente y una vez examinada por la Comisión de Titulación, en sesión del 7 de Octubre del presente, su solicitud para autorización de la CO-DIRECCION del DR. ABEL CERÓN GARCÍA, en el Trabajo de Tesis: PROPIEDADES DIELECTRICAS DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) Y SU CALIDAD DESPUÉS DE TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS ASISTIDOS CON MICROONDAS", por unanimidad de votos se aprueba la Co-Dirección del Dr. Abel Cerón García.

Sin otro asunto y enviándole un cordial saludo, se despide.

ATENTAMENTE
"LA VERDAD OS HARA LIBRES"
Irapuato, Gto., 12 de Octubre de 2020.
EL DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA

DR. JOSÉ MARIO MENDOZA CARRILLO



Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Equivalente al Canal 11 - Avenida 500
DIRECCIÓN

C.c.p. Consecutivo.



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**PROPIEDADES DIELECTRICAS DE FRAMBUESAS
(*Rubus idaeus* L.) Y SU CALIDAD DESPUÉS DE
TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS ASISTIDOS CON
MICROONDAS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

TERESA FLORES LÓPEZ

DIRECTORA

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES

CO-DIRECTOR

DR. ABEL CERÓN GARCÍA

OCTUBRE 2020

IRAPUATO, GTO.

DEDICATORIA

A mi familia, a mi hermanita, a mis papás por ser un pilar fundamental en todo lo que soy como persona, por su apoyo incondicional brindado durante todo este tiempo.

A Carlos por ser un gran ejemplo de perseverancia y constancia que me ha fomentado siempre, por brindarme día a día palabras de apoyo y motivación, por no dejarme ningún momento sola y sobre todo por siempre creer en mí.

A mi mamá por apoyarme en cualquier circunstancia a la que me enfrenté y por todo el amor que me ha brindado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque gracias a él he podido realizar todos mis sueños, gracias Dios por brindarme salud, amor y paz en mi corazón.

A mis papás y a mi hermanita, por brindar mucho amor en el hogar, por ser ejemplo de perseverancia, por sus buenos consejos para ser mejor persona día a día, por fomentar en mí el perdón, por apoyarme con muchos sacrificios para realizar mis sueños, por brindarme palabras de aliento durante cualquier circunstancia, simplemente los amo.

Quiero agradecer sinceramente de todo corazón a la Dra. María Elena Sosa Morales, por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación con ella, por compartir sus conocimientos conmigo, por siempre estar dispuesta a darme asesorías. Gracias por su paciencia y dedicación. Ha sido un gran privilegio poder contar con su guía durante todo este camino.

Agradezco sinceramente a una personita sumamente especial en mi vida, que de una manera u otra ha sido un pilar fundamental en mi vida personal y profesional, mil gracias por tu amistad y por todo el amor que me brindas día a día por estar conmigo en todo momento de mi vida, por ayudarme a construir mis sueños, simplemente eres un gran ejemplo a seguir: Carlos.

RESUMEN

A nivel internacional, la baya (“berry” en inglés) de mayor producción y comercio es la frambuesa, siendo la participación de México prácticamente marginal. En México casi el 50% de sus exportaciones se realiza en la época en que estos productos alcanzan los precios más elevados (octubre-enero). En el mercado estadounidense el kilogramo de esta fruta alcanza entre 4 y 5 dólares (Portal Frutícola, 2020). Sin embargo, las frambuesas pueden ser atacadas por el moho *Botrytis cinerea*, el cual crece incluso en condiciones de refrigeración. La aplicación de tratamientos asistidos con microondas a estos frutos puede evitar la presencia del moho, por lo que es importante determinar previamente sus propiedades dieléctricas para proponer tratamientos efectivos. En este trabajo se determinaron las propiedades dieléctricas de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y se diseñaron tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas, con el fin de evitar el decaimiento por podredumbre gris causado por *Botrytis cinerea*. Las propiedades dieléctricas (constante dieléctrica y factor de pérdida) se determinaron por el método de la sonda coaxial a diferentes temperaturas en el rango de microondas. Para los tratamientos propuestos, se emplearon cuatro lotes de 100 g de frambuesa. Uno de estos lotes fue dejado sin tratamiento para considerarse como testigo, en los otros tres se agregó agua (100 g de frambuesas en 200 g de agua), y cada uno fue tratado en un horno de microondas a potencias de 269, 379 y 473 W (potencia baja, media y alta, respectivamente). Las frambuesas inmersas en agua fueron calentadas hasta alcanzar una temperatura en el centro de 48°C y mantenidas por 1.7 min. Después

del calentamiento, se retiró el agua caliente y las frambuesas fueron enfriadas en agua a 4°C y almacenadas en refrigeración a 7°C en bandejas con tapa y ranuras. Durante el almacenamiento a 7°C, se analizaron pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, firmeza, color, así como los contenidos de antocianinas, compuestos fenólicos y flavonoides. Después de 14 días de almacenamiento refrigerado, las frambuesas tratadas con microondas no presentaron presencia de mohos. El tratamiento que se recomienda es a 269 W, el cual no provocó cambios en las propiedades fisicoquímicas y biocomponentes de frambuesas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Las frutas	3
2.2. Características generales de las frutas.....	3
2.3. Fisiología de la Frambuesa.....	4
2.4. Manejo poscosecha	4
2.5. Variedades tradicionales de los frutos de frambuesa	6
2.6. Principales enfermedades presentes en los frutos de frambuesa	8
2.7. Microondas	11
2.7.1.Efecto del tamaño del alimento	12
2.7.2. Generación de las microondas	13

2.7.3. Espectro electromagnético del microondas	14
2.7.4. Mecanismo de calentamiento por microondas	14
2.7.5. Tratamientos hidrotérmicos aplicados en frutos y cereales	15
2.8. Propiedades dieléctricas.	16
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. HIPÓTESIS	21
V. OBJETIVOS	21
5.1. Objetivo General	21
5.2. Objetivos Específicos.....	21
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1. Materia prima.....	22
6.2. Métodos.....	22
6.2.1. Selección de frutas.....	22
6.2.2. Mediciones y cálculos de propiedades dieléctricas.....	23
6.2.3. Determinación de las condiciones de los tratamientos.....	24
6.2.3.1. Calibración del horno de microondas.....	24
6.2.3.2. Tiempo de calentamiento y enfriamiento.....	25
6.2.3.3. Calentamiento por microondas.....	25

6.2.4.Determinación de parámetros de calidad después de aplicado el tratamiento.....	27
6.2.4.1. Peso.....	27
6.2.4.2. Determinación del tamaño.....	27
6.2.4.3. Firmeza.....	27
6.2.4.4. Evaluación de color.....	28
6.2.4.5. Evaluación del pH.....	28
6.2.4.6.Determinación de la acidez titulable (% de ácido cítrico).....	28
6.2.4.7.Sólidos Solubles Totales (SST).....	29
6.2.5.Determinación de compuestos Bioactivos	30
6.2.5.1. Determinación del contenido de Antocianinas	30
6.2.5.2.Determinación del contenido de Compuestos Fenólicos Totales (CFT).....	31
6.2.5.3. Determinación del contenido de Flavonoides.....	32
6.2.6. Almacenamiento.....	32
6.2.7. Análisis estadístico.....	33
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
7.1. Propiedades dieléctricas.....	35
7.1.1. Constante dieléctrica.....	35
7.1.2. Factor de pérdida	37
7.1.3. Profundidad de penetración.....	39

7.2. Diseño de los tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas.....	40
7.2.1. Calibración del horno de microondas.....	40
7.2.2. Tiempo de calentamiento y enfriamiento empleados en los tratamientos.....	41
7.3. Calidad poscosecha de las frambuesas tratadas con microondas	42
7.3.1. Sólidos Solubles Totales (SST).....	42
7.3.2. Firmeza.....	43
7.3.3. Peso.....	43
7.3.4. Tamaño.....	43
7.3.5. Acidez titulable.....	45
7.3.6. pH.....	45
7.3.7. Color obtenido del puré de los frutos (L^* , a^* , b^*).....	47
7.4. Contenido de antocianinas	48
7.5. Contenido de CFT	49
7.6. Concentración de Flavonoides.....	50
7.7 Calidad de los frutos después de 14 días de almacenamiento.....	51
VIII. CONCLUSIONES.....	53
IX. LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Propiedades dieléctricas y profundidad de penetración en puré de frambuesas.....	40
Cuadro II. Propiedades fisicoquímicas en los lotes empleados.....	44
Cuadro III. Colorimetría obtenida en los lotes empleados.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fruto de frambuesa de la variedad Heritage.....	7
Figura 2. Fruto de frambuesa de la variedad Meeker.....	7
Figura 3. Póstulas amarillas presente en el fruto de frambuesa.....	9
Figura 4. Frutos maduros con pudrición blanda y cambio de color.....	11
Figura 5. Elementos de un horno de microondas.....	12
Figura 6. Ilustración esquemática de un magnetrón.....	13
Figura 7. Espectro electromagnético.....	14
Figura 8. Frutos de frambuesa empleados en los tratamientos térmicos.....	22
Figura 9. Representación esquemática de la medición de las propiedades dieléctricas.....	24
Figura 10. Representación esquemática del proceso de calentamiento y enfriamiento de los frutos de frambuesa.....	26
Figura 11. Texturómetro (Texture Analyzer TA-TX2) empleado para la medición de la textura de los frutos de frambuesa.....	28
Figura 12. Frutos de frambuesa almacenados por 14 días en cajas ranuradas.....	33

Figura 13. Constante dieléctrica de frambuesa a 20, 40 y 60 °C.....	37
Figura 14. Factor de pèrdia de frambuesa a 20, 40 y 60 °C.....	38
Figura 15. Calibraciòn del horno de microondas.....	41
Figura 16. Tiempo de calentamiento y enfriamiento de los tratamientos empleados.....	42
Figura 17. Contenido de àcido cìtrico y pH de los frutos de frambuesa durante los días 1, 7 y 14 de almacenado, despuès de aplicado el tratamiento.....	47
Figura 18. Contenido de antocianinas en frambuesas tratatas.....	49
Figura 19. Contenido de Compuestos Fenólicos Totales en frambuesas tratadas.....	50
Figura 20. Concentraciòn de Flavonoides en frambuesas tratadas.....	51
Figura 21. Frutos de frambuesa a los 14 días de almacenamiento.....	52

I. INTRODUCCIÓN

Rubus idaeus L., de nombre común frambueso, botánicamente pertenece a la familia de las Rosáceas y su fruto corresponde a una polidrupa. Es una planta nativa de Europa y norte de Asia. Su fruto es no climatérico, por lo tanto, debe ser cosechado cercano a madurez de consumo. Además, posee una alta tasa respiratoria y es altamente perecedero. Las principales causas de deterioro son deshidratación, pérdida de firmeza, pérdida de apariencia y pérdida de calidad (Undurraga *et al.*, 2013).

Entre 2015 y 2016 la producción de frambuesa "Hecho en México" creció en 38.5% al pasar de 53,101 toneladas a las más de 73,500 toneladas obtenidas el año pasado, lo que representa un volumen adicional de 20,455 toneladas. Esta frutilla es producida en ocho entidades federativas del país, Baja California, Colima, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán y Puebla. Los tres principales estados productores de frambuesa son Jalisco, Baja California y Michoacán; en su conjunto estas entidades aportan el 99.8 % de la producción nacional. Jalisco produjo 56,013 toneladas en el año 2019; Baja California 9,965 toneladas y Michoacán 7,437 toneladas. En 2019, las exportaciones de frambuesa fresca fue comercializada a 17 destinos, lo que generó ingresos por 485 millones (369,000 dólares) lo que generó un crecimiento a tasa anual de 32 %; debido a que esta frutilla fue comercializada en Estados Unidos, Arabia Saudita, Reino Unido, Hong Kong, Canadá, Emiratos Árabes Unidos, Belice, Países Bajos, Brasil, Rusia,

Qatar, Irlanda, Kuwait, Singapur, Kazakstán, China, Japón, Bélgica, España, (SAGARPA, 2020).

El calentamiento por microondas es una tecnología emergente en el procesamiento de alimentos, se lleva a cabo por efecto de polarización de moléculas sujetas a radiación electromagnética generando calor dentro de un material. Presenta ventajas importantes sobre los métodos convencionales como la reducción de tiempos de proceso, alta eficiencia y mejora de la calidad del alimento (Salazar *et al.*, 2012). Previo a la aplicación de esta tecnología, es necesario conocer las propiedades dieléctricas del alimento.

La región de microondas del espectro electromagnético es de 300 MHz a 300 GHz, ubicándose entre la región de infrarrojos y radio FM y que está cerca de rango de la radiofrecuencia (Tang *et al.*, 2007). Un uso común de las microondas en alimentos son el calentamiento y la cocción doméstica; pero esta tecnología tiene un potencial enorme en otras áreas no solamente científicas, sino también tecnológicas y de uso comunitario práctico (Díaz, 2011).

En este trabajo se propuso conocer las propiedades dieléctricas de frambuesa y diseñar tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas para prolongar la vida de anaquel de la fruta, así como determinar sus propiedades físicoquímicas y contenido de compuestos bioactivos.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Las frutas

Las frutas constituyen un grupo de alimentos indispensable para el equilibrio de la dieta humana, especialmente por su aporte de fibra y vitaminas. La gran diversidad de especies vegetales asociadas con las frutas con sus distintas propiedades organolépticas y la distinta forma de prepararlas, hacen de ellas productos de gran aceptación por parte de los consumidores (Astiasarán y Martínez, 2000).

2.1. Características generales de las frutas

Se entiende por frutas todos aquellos frutos comestibles de plantas perennes. El concepto fruto comprende también frutos compuestos, inflorescencias y núcleos de semillas (Tscheuschner, 2001). Se distinguen los siguientes grupos:

- *Frutas de pepita:* frutos de diversas plantas rosáceas. Los frutos propiamente dichos se encuentran en el interior del cuerpo de la flor convertido en pulpa carnosa. Ejemplos: pera, manzana y membrillo.
- *Frutas de hueso:* la semilla se encuentra contenida en un hueso duro que está revestido por una envoltura carnosa formada a expensas de la porción exterior de la pared del fruto. Ejemplos: cereza, ciruela, albaricoque y melocotón, mango y mamey.
- *Frutas en baya:* el tejido carnoso del fruto forma una baya verdadera, como en el arándano, grosella, uva, etc.

- *Frutas tropicales*: concepto que abarca especies de fruta de pepita, de hueso, bayas y otras de regiones tropicales y subtropicales, como los plátanos, piñas, dátiles, higos y cítricos (Tscheuschner, 2001).

2.3 Fisiología de la Frambuesa

Las frambuesas tienen una de las tasas de respiración más altas que cualquier fruta. Esto, junto con su piel delgada y su interior azucarado, los convierte en una de las frutas más perecederas. La fruta en el arbusto madurará durante un período de varias semanas. La cosecha de la misma plantación con frecuencia (una vez cada dos días) es fundamental. La fruta cosechada antes de que esté completamente madura tendrá una vida útil mucho más larga que la fruta completamente madura o demasiado madura, pero será más baja en azúcar y antocianinas. La etapa de madurez óptima para la frambuesa ocurre cuando la baya se vuelve completamente roja, pero antes de que se desarrollen matices más oscuros (Pritts, 2013).

2.4 Manejo poscosecha

El objetivo del manejo poscosecha de las frambuesas es disminuir la respiración y la tasa de transpiración de la fruta. La respiración y la transpiración producen encogimiento y dulzura reducida. Las condiciones que ralentizan el proceso de respiración son bajas temperaturas, altos niveles de dióxido de carbono y bajo nivel de oxígeno en la cámara de almacenamiento. La transpiración se desacelera por la alta humedad (Pritts, 2013).

La temperatura es la variable ambiental más fácil de modificar para el almacenamiento prolongado de frambuesas. Una reducción de 5°C en la temperatura reduce la tasa de respiración en aproximadamente un 50% a 0°C, la tasa de respiración es de 24 mg de dióxido de carbono por kg de frambuesa por hora; a 5, 10, 15 y 20°C, la tasa es 55, 92, 135 y 200 mg de dióxido de carbono por kg de frambuesa por hora, respectivamente. El movimiento rápido de aire frío y húmedo a través de las bayas es esencial durante las primeras horas después de la cosecha para disminuir la respiración y evitar el deterioro. Los grandes productores pueden tener una instalación de preenfriamiento específicamente diseñada para eliminar el calor del campo y un enfriador de almacenamiento adicional. Por cada hora de retraso en el enfriamiento, la vida útil puede reducirse en un día. Los productores aprovechan el enfriamiento nocturno natural recolectando la fruta lo más temprano posible en la mañana. La recolección mecánica a menudo se realiza por la noche (Pritts, 2013).

Una atmósfera con alto contenido de dióxido de carbono (15-20%) y/o bajo contenido de oxígeno (5-10%) reducirá la respiración y el crecimiento de mohos. Mohos de los géneros *Botrytis*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Penicillium* y *Cladosporium* pueden causar podredumbres después de poscosecha, dependiendo de la temperatura de almacenamiento y del nivel de dióxido de carbono. Las atmósferas modificadas se utilizan con frecuencia cuando las frambuesas se transportan a largas distancias. En ocasiones, los expedidores utilizan envolturas especiales semipermeables para crear una atmósfera modificada (bajo nivel de oxígeno, alto

contenido de dióxido de carbono) dentro de contenedores individuales. Las atmósferas con poco oxígeno prolongarán la vida útil de las frambuesas, pero los aldehídos y alcoholes de mal sabor pueden acumularse en la frambuesa cuando el oxígeno está limitado por un período prolongado. Los sabores desagradables y el pardeamiento también se desarrollan cuando las frambuesas se mantienen bajo niveles elevados de dióxido de carbono durante un período prolongado. Se considera que las frambuesas tienen un riesgo moderado de lesiones fisiológicas por el alto contenido de dióxido de carbono o las atmósferas con poco oxígeno (Pritts, 2013).

2.5 Variedades tradicionales de frutos de frambuesa

- Heritage. Es la variedad más cultivada en el mundo, la cual es cosechada dos veces durante la temporada (Figura 1). Produce fruta de tamaño mediano, de buen color y sabor. Tiene buena firmeza y se adapta para congelado. La planta es erecta, de cañas firmes que no se doblan o penden como otras variedades por lo que es fácil de conducir con sistemas de tutorado simple. Es resistente a muchas enfermedades, lo que la hace rústica y preferida por agricultores a otras variedades más delicadas (Undurraga, 2013).



Figura 1 Fruto de frambuesa de la variedad Heritage.

- Meeker. Es de fruto grande, firme y de color rojo brillante. Su característica más sobresaliente es su adaptación para congelado (Figura 2). La calidad del congelado rápido o Individual Quick Frozen (IQF) es insuperable, ya que luego de ser sometida a este proceso y ser descongelada la fruta no colapsa como otras variedades, conservando en mejor forma la textura y apariencia, sin liberación de jugo, lo que la hace inmejorable para ser utilizada en repostería o en procesos donde se requiere que la fruta conserve su forma (Undurraga, 2013).



Figura 2 Fruto de frambuesa de la variedad Meeker.

2.6 Principales enfermedades presentes en los frutos de frambuesa

Las enfermedades de la frambuesa se pueden clasificar de acuerdo al órgano que afectan, separándose en aquellas que dañan las raíces, tallos, follaje, flores y fruto (Undurraga, 2013).

- Rolla o polvillo colorado (*Pucciniastrum americanum*). Los síntomas aparecen en las hojas maduras como numerosas pústulas pequeñas, de color amarillo que se encuentran llenas de esporas. En frutos maduros se observan pústulas amarillas a anaranjadas sobre los drupeolos (Figura 3), las que pueden llegar a ser muy abundantes produciendo deshidratación del fruto. Las plantas enfermas producen menor cantidad, frutos más pequeños y tienden a ser ácidos. La roya predomina en climas con veranos secos y calurosos. Esta enfermedad aparece normalmente a mediados de verano, causando su mayor daño en la fruta de variedades remontantes, donde afecta su apariencia y posibilidades de exportación. Se deben realizar monitoreos periódicos de las hojas basales, desde mitad del verano en adelante, para determinar cuándo iniciar los controles. Con los primeros síntomas la mejor medida es la defoliación del tercio inferior de la caña, con lo cual se eliminan las hojas más susceptibles (Undurraga, 2013).



Figura 3 Pústulas amarillas presentes en el fruto de frambuesa.

- Pudrición gris (*Botryotinia fuckeliana* (fase asexuada: *Botrytis cinerea*)). Esta enfermedad puede afectar toda la parte aérea de la planta, pero suele encontrarse en flores y frutos. Al madurar los frutos y aumentar el nivel de azúcar en éstos el hongo se activa y coloniza la fruta, siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitan. En la fruta se produce una pudrición blanda, acompañada de ligeros cambios de color en los drupeolos infectados, los que se tornan de color rojo opaco, y liberación de pequeñas gotas de líquido sobre la superficie. Los frutos enfermos se deshidratan y terminan por cubrirse con una masa de micelio y conidias de color plomo oscuro (Figura 4). Los frutos maduros son muy susceptibles a la pudrición gris y fácilmente contaminados. El hongo puede crecer desde 0 °C, por lo que durante la poscosecha la presencia de un fruto enfermo puede terminar pudriendo todos los frutos adyacentes, formándose verdaderos nidos de micelio y esporas en los envases con fruta. El hongo hiberna como esclerocios, restos de micelio y esporas en residuos infectados de frambueso u otras especies. En primavera el esclerocio germina y forma numerosas

estructuras reproductivas (conidióforos) sobre las cuales se producen las conidias, luego éstas son diseminadas por el viento hasta los tejidos susceptibles. La primera inoculación ocurre en los estigmas de las flores abiertas, donde las conidias germinan y las hifas crecen dentro de los estilos hasta alcanzar los ovarios, luego el hongo permanece dormante hasta que el contenido de azúcar en el fruto aumenta, y se desarrollan los síntomas que caracterizan la enfermedad. El hongo también puede afectar pétalos o restos de flores senescentes, así como frutos maduros. Mantener un huerto limpio es importante para disminuir el inóculo, los residuos de poda sanitaria no deben dejarse en la plantación, los restos de frutas deben retirarse o facilitar que se descompongan durante el invierno, de lo contrario se generan esclerocios que son muy resistentes y difíciles de destruir. Las dosis altas de nitrógeno favorecen el desarrollo de *Botrytis*, ya que producen tejidos más succulentos, mientras que las aplicaciones de calcio mejoran la resistencia de la fruta, ya que el hongo encuentra mayores dificultades para avanzar en células con alto nivel de este elemento (Undurraga, 2013).



Figura 4 Frutos maduros con pudrición blanda y cambio de color (izquierda) y fruto cubierto de micelio y conidias grises (derecha).

2.7 Microondas

Un horno de microondas (MW, siglas de la palabra inglesa microwave) es un aparato eléctrico que genera ondas dentro de un espacio cerrado, donde se calientan generalmente alimentos o líquidos. Estas ondas excitan a las moléculas de agua, para que con su movimiento generen calor de las sustancias orgánicas que las contengan. Dependiendo del tiempo de exposición, el alimento absorbe cierta cantidad de energía, que lo puede descongelar, calentar y hasta cocer o quemar (Paredes, 2003).

Las microondas son una clase de radiación electromagnética cuya frecuencia (de 1000 a 300,000 MHz) y longitud de onda (de 30 a 0.1 cm respectivamente) están entre las frecuencias y longitudes de onda de las ondas cortas de radio y las de radiación infrarroja (Paredes, 2003).

El procesamiento de alimentos por microondas usa las frecuencias de 2450 y 950 MHz (Schlegel,1992). De estas dos frecuencias, la de 2450 MHz es usada en hornos domésticos (Figura 5) y ambas son usadas en el calentamiento a nivel industrial (Michael *et al.*, 1997). Sin embargo, aun cuando la frecuencia de 2450 MHz es la más usada, la absorción de energía y el calentamiento de los alimentos son más efectivos a bajas frecuencias (Olveira y Franca; 2002).

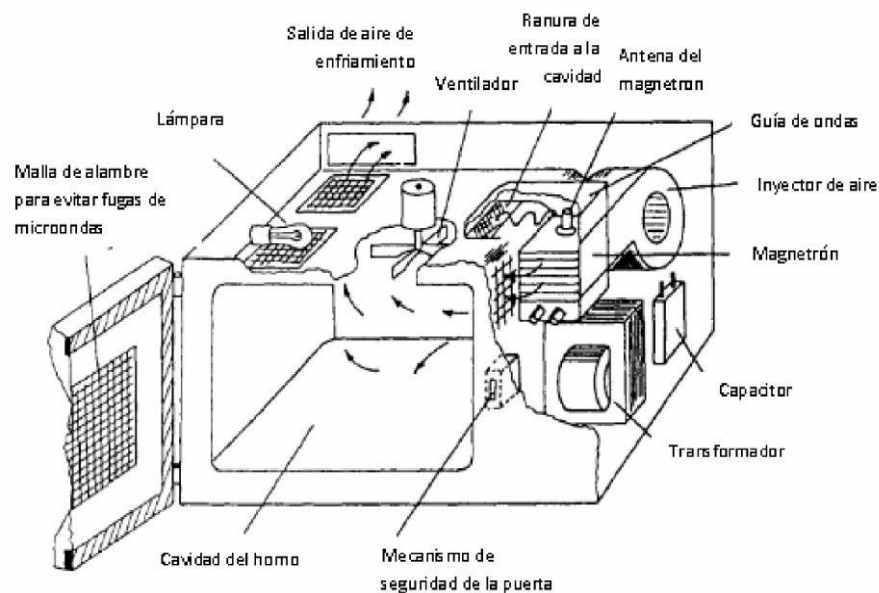


Figura 5 Elementos de un horno de microondas doméstico (Michael *et al.*, 1997).

2.7.1 Efecto del tamaño del alimento

La velocidad del calentamiento está en función del tamaño y forma del alimento, las formas irregulares y pequeñas permiten una mayor disipación de energía electromagnética en forma de calor (Olveira y Franca, 2002). En productos de grandes dimensiones, el calentamiento ocurre principalmente de la superficie hacia

el centro, mientras que en productos pequeños el calentamiento es significativo en las partes internas (Cano, 2008).

2.7.2 Generación de las microondas

Las microondas se generan en un pequeño dispositivo cilíndrico denominado magnetrón, de apenas 10 cm de largo. El cilindro central, que es el cátodo, se calienta y genera electrones. Dos imanes en los extremos proporcionan un campo magnético axial. El ánodo está diseñado para acelerar los electrones y mantener la radiación emitida dentro de una cavidad resonante de microondas estacionarias (Figura 6). Los electrones pueden salir sólo por un extremo, hacia el interior del horno (Paredes, 2003).

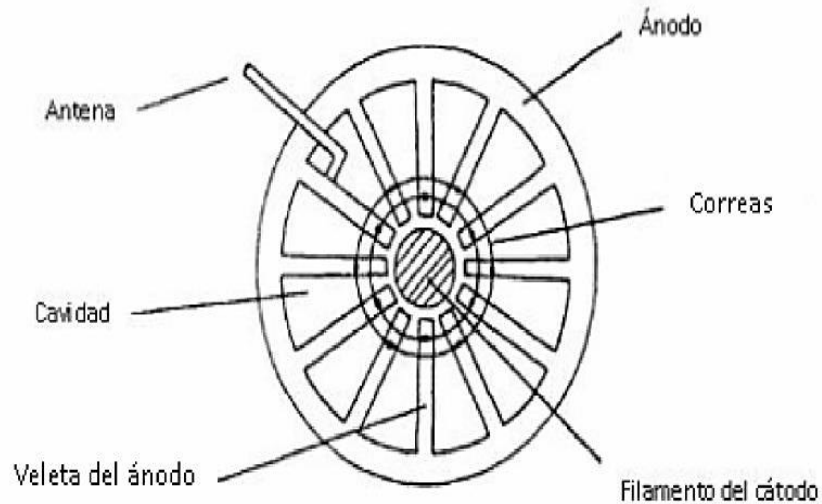


Figura 6 Ilustración esquemática de un magnetrón (Michael *et al.*, 1997).

2.7.3 Espectro electromagnético del microondas

La región de microondas del espectro electromagnético (Figura 7) se encuentra entre la radiación infra-roja y las frecuencias de radio y corresponde a longitudes de onda de 1cm a 1 metro. Las longitudes de onda entre 1 y 25 cm son ampliamente usadas para la transmisión vía RADAR y el intervalo de longitudes de onda restantes es usado para telecomunicaciones. Con la finalidad de no interferir en estos usos, los calentadores de microondas domésticos e industriales están programados para operar a 12.2 cm (2450 MHz) o 33.2 cm (950 MHz) (Michael *et al.*, 1997).

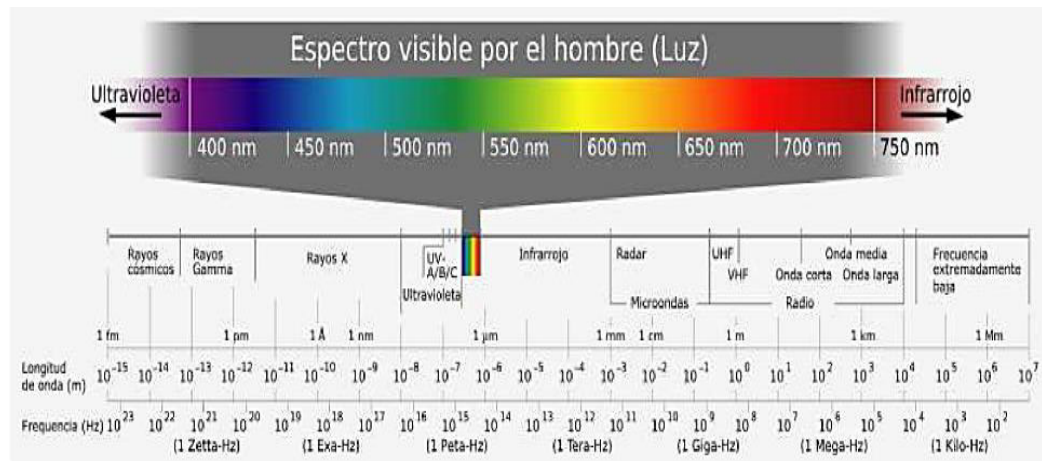


Figura 7 Espectro electromagnético (Michael *et al.*, 1997).

2.7.4 Mecanismo del calentamiento por microondas

El calentamiento con microondas involucra principalmente dos mecanismos: dieléctrico e iónico. El agua en el alimento es la principal responsable del calentamiento dieléctrico. Debido a su naturaleza dipolar, las moléculas de agua tratan de acoplarse y seguir el campo electromagnético asociado con la radiación

electromagnética conforme oscila a frecuencias muy altas. Estas oscilaciones de las moléculas de agua producen calor. El segundo mecanismo de calentamiento es a través de la migración oscilatoria de iones en el alimento que genera calor bajo la influencia del campo eléctrico oscilatorio (Schlegel, W. 1992; Heddleson *et al.*, 1994; Oliveira y Franca; 2002; Datta y Davison, 2003).

La aplicación de microondas genera calor del interior del alimento al exterior a través de las vibraciones moleculares. Cuando el alimento es sometido a irradiación por microondas, el calor es producido dentro del alimento debido a la vibración de las moléculas de agua originada por la absorción de energía. Las moléculas actúan como barras magnéticas tratando de orientarse o polarizarse ellas mismas bajo la acción del campo electromagnético generando fricción interna (Velásquez Valderrama y Sánchez Arenas, 2008).

La capacidad que tiene un alimento para absorber las microondas viene determinada por sus propiedades dieléctricas y su capacidad de disipar el calor en función del calor específico y de los coeficientes de conductividad térmica (Repizzo Rada, 2010).

2.7.5 Tratamientos hidrotérmicos aplicados en frutos y cereales

El tratamiento de inmersión en agua caliente también llamado tratamiento hidrotérmico usa el agua caliente para elevar el producto a una temperatura requerida por un periodo de tiempo especificado, este tratamiento es usado para

ciertas frutas que son hospedantes de la plaga de las moscas de la fruta, pero también pueden ser usadas en plantas de vivero (Senasica 2020).

Villa Rojas (2010) llevó a cabo diseños de tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas en fresas (*Fragaria x ananassa*) utilizando potencias de (514 W) y (763 W), en el cual los frutos empleados en tratamientos hidrotérmicos reportaron la menor población de mohos, comparado con los frutos a los que no les fue sometido tratamiento.

Para la desinfestación poscosecha del gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*), Patlán (2016) caracterizó maíz blanco, morado y azul para someterlos a tratamiento térmico asistido con microondas empleando tres diferentes potencias (275, 380 y 490 W) en los cuales no se presentaron cambios significativos en el color, dureza, densidad, humedad y actividad de agua y logrando 100% de la mortalidad de los insectos a 60°C.

2.8 Propiedades dieléctricas

Las propiedades dieléctricas son parámetros que determinan el acoplamiento y la distribución de la energía electromagnética durante la exposición de un material a microondas u ondas de radiofrecuencia. La permeabilidad (ϵ) es un valor complejo que describe las propiedades dieléctricas, la cual se representa con la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon'' \quad (\text{ec.1})$$

Donde ϵ' es la constante dieléctrica, que determina la capacidad del material de almacenar energía, j ($j = \sqrt{-1}$) es la densidad de corriente eléctrica y ϵ'' es el factor de pérdida, que indica la capacidad de disipar energía en forma de calor como respuesta al campo eléctrico aplicado. Las propiedades dieléctricas se ven afectadas por el contenido de humedad, la temperatura y la frecuencia (Sosa-Morales *et al.*, 2010).

La profundidad de penetración (d_p) se define como la distancia (m) dentro del material en el cual el nivel de potencia microondas ha disminuido e^{-1} (e es la constante de Euler igual a 2.718), es decir, el 36.8% de su valor transmitido (Decareau, 1992; Yam y Lai, 2006; Sosa-Morales y cols., 2009). El d_p puede ser calculado en base a las propiedades dieléctricas por la expresión (von Hippel 1954):

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right]}} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 m / s), y f es la frecuencia (Hz).

La velocidad y el efecto volumétrico de la calefacción por microondas se deben a la penetración de microondas en la comida, y las propiedades dieléctricas se pueden utilizar para determinar la extensión de la penetración. Cuando las microondas pasan por la superficie de un alimento, llegan con un cierto nivel de potencia inicial.

Como las microondas penetran en la comida, su poder es atenuado ya que parte de su energía es absorbida por el material alimenticio (Yam y Lai, 2006).

La medición de las propiedades dieléctricas es necesaria para la exitosa simulación, aplicación y comprensión de calentamiento con microondas (Wang y Wang, 2009). Las técnicas utilizadas para determinar las propiedades dieléctricas de alimentos, incluyen una sonda coaxial abierta, transmisión línea, y métodos de la cavidad de resonancia. En general, la sonda abierta es la técnica utilizada más a menudo debido a su bajo costo y fácil preparación de muestras (Sosa-Morales *et al.*, 2010). Respecto a mediciones en línea, la técnica de transmisión en espacio libre es un método adecuado para Monitoreo y control continuo en aplicaciones industriales (Venkatesh y Raghavan, 2005).

Los fenómenos de orientación se producen a frecuencias características comprendidas entre Hz y GHz, estos fenómenos identifican junto con la conductividad el comportamiento dieléctrico de los sistemas biológicos. Las especies químicas afectadas a frecuencias de Hz y GHz son moléculas dipolares (agua), macromoléculas con cargas (proteínas), electrolitos (iones) y, en general, moléculas cargadas o polares (McGrum *et al.*, 1991).

Funebo y Ohlsson (1999) midieron las propiedades dieléctricas de la fresa a 2800 MHz, utilizando una cavidad de perturbación, encontrando valores de $\epsilon' = 73$ y $\epsilon'' = 15$ para las bayas con 10.1 kg de agua / sólidos brutos (o 91% de contenido de humedad, w.b.) a 20 ° C.

Sosa-Morales *et al.*, (2017) determinó propiedades dieléctricas en berries (fresa, zarzamora y frambuesa). La presente tesis forma parte de los estudios realizados en frambuesa.

III. JUSTIFICACIÓN

La principal enfermedad que ataca a las “berries” es la pudrición gris causada por el moho *Botrytis cinerea*, la cual se desarrolla en ambientes con humedad muy elevada e incluso a temperaturas de refrigeración. Los síntomas comienzan con un micelio de color gris, posteriormente, en este tejido se forma una estructura llamada conidióforo que contiene esporas, la cual comienza a desarrollarse en todo el fruto hasta su completo decaimiento (Villa-Rojas *et al.*, 2011). Se estima del 20 al 25% de pérdidas por causa de este moho (Fuentes López, 2013). Diferentes tecnologías se han aplicado para evitar enfermedades poscosecha, entre ellos el calentamiento por microondas.

En comparación con otros métodos tradicionales, las principales ventajas del uso de microondas son la penetración de calor inmediata, la reducción del tiempo de calentamiento y el ahorro de energía (López Mata *et al.*, 2013). Para diseñar tratamientos efectivos, es importante conocer las propiedades dieléctricas del alimento a calentar con microondas.

IV. HIPÓTESIS

Los tratamientos con microondas, diseñados con base en sus propiedades dieléctricas, evitan el decaimiento en frambuesas sin dañar sus propiedades fisicoquímicas ni el contenido de sus biocomponentes.

V. OBJETIVOS

5.1.1 Objetivo General

Determinar las propiedades dieléctricas de frambuesas y su calidad poscosecha después de ser sometidas a tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas, con el fin de observar el comportamiento de compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas.

5.2. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades dieléctricas de la frambuesa a diferentes frecuencias y temperaturas en el rango de 0.1 a 20 GHz
- Diseñar tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas para frambuesas a diferentes niveles de potencias, sin dañar sus biocomponentes y propiedades fisicoquímicas.
- Evaluar la calidad poscosecha de las frambuesas tratadas con microondas durante su almacenamiento en refrigeración por 14 días.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Material vegetal

En esta investigación se emplearon como material vegetal frambuesas (*Rubus idaeus* L.) de la variedad roja, cosechadas (octubre- enero) en Ex-Hacienda Buenavista, San Carlos, Salamanca, Gto., México, las cuales fueron transportadas al laboratorio y previamente seleccionadas.

6.2 Métodos

6.2.1 Selección de frutas

La selección de frutas de frambuesa se efectuó siguiendo Buenas Prácticas de Manufactura (NOM-251-SSA1-2009). Las frutas fueron seleccionadas acorde a un estado de inmadurez, tamaño uniforme, libre de daños mecánicos y defectos y se eliminaron aquéllas que presentaron signos de sobre madurez (Figura 8).



Figura 8 Frutos de frambuesa empleados en los tratamientos térmicos.

6.2.2 Mediciones y cálculos de propiedades dieléctricas

Para la medición de propiedades dieléctricas se utilizó un analizador de red vectorial, VNA (Keysight Technologies, N9918A FieldFox) y un kit de sonda coaxial abierta (85070E, Agilent Technologies, California). Una hora antes de las mediciones, se encendió el VNA, se calibró con aire y agua destilada a una temperatura de 25°C. Las muestras de fruta se hicieron puré en una licuadora eléctrica y se tomaron 200 ml de muestra para las mediciones en un vaso de vidrio (5 cm de diámetro), evitando burbujas de aire para evitar errores. La temperatura se mantuvo a 20°C, manteniendo el vaso de precipitado en un baño de agua a esta temperatura. Con la sonda sumergida, diez mediciones fueron adquiridas por el software. Posteriormente, la muestra se calentó en baño maría en una parrilla a 40°C y se obtuvieron nuevas medidas. Finalmente, la muestra se calentó a 60°C y se midieron las propiedades dieléctricas (Figura 9). La profundidad de penetración expresada en cm, se calculó después de obtener las propiedades dieléctricas de las tres temperaturas empleadas (20, 40 y 60 °C) y de las frecuencias de 915, 2450 y 5800 MHz, que son los valores asignados por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU.) para la industria, ciencia y fines médicos.

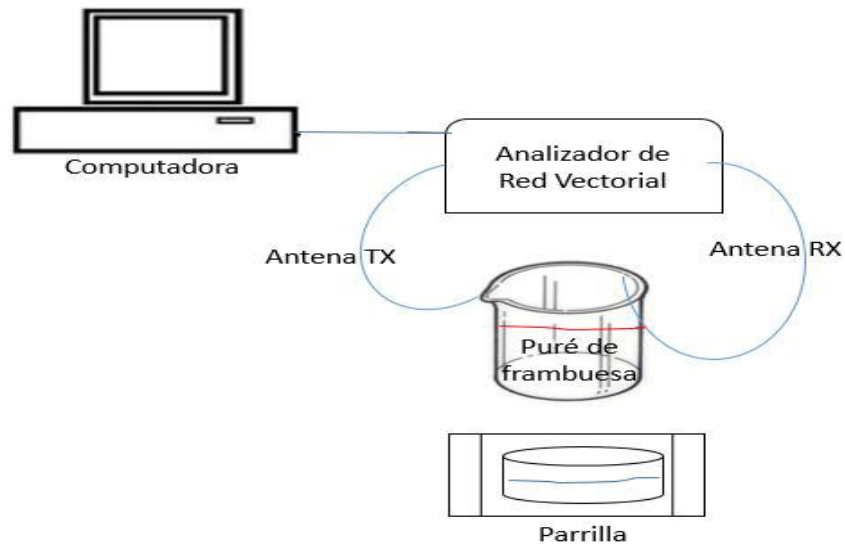


Figura 9 Representación esquemática de la medición de las propiedades dieléctricas.

6.2.3 Determinación de las condiciones de los tratamientos

6.2.3.1 Calibración del horno de microondas

Para conocer la potencia a aplicar se realizó la calibración del horno de microondas (modelo Ms-0745vs, LG, México, D.F.) empleando el método IEC 90750 (Martin, 2008). La potencia del equipo se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{m Cp\Delta T}{t} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

P = potencia (W)

m = masa de la muestra (kg)

C_p = Calor específico (Kcal/Kg °C)

T_f = Temperatura final (°C)

T_i = Temperatura inicial (°C)

t = Tiempo (s)

6.2.3.2 Tiempo de calentamiento y enfriamiento

Para el calentamiento, el objetivo fue llegar a 48°C (temperatura de calentamiento reportada por Villa-Rojas *et al.*, 2011 en puré de fresa, también de la familia de las “berries”) se colocaron 100 g de frambuesas en un recipiente circular de plástico con 200 g de agua. Se inició el calentamiento hasta alcanzar una temperatura interna de 48°C y se mantuvo por 1.7 min, la cual fue medida al terminar el tratamiento con microondas, introduciendo un termopar en el centro de una frambuesa y monitoreándose la temperatura cada 10 s, una vez terminado el tiempo de retención, las frambuesas fueron colocadas en un recipiente de plástico con 200 g de agua a 4 °C y se monitoreó el tiempo (cada 10 s) en que la temperatura interna de la frambuesa llegaba a 25 °C. La determinación se realizó por triplicado.

6.2.3.3 Calentamiento por microondas

El tratamiento hidrotérmico se llevó a cabo por calentamiento de un sistema de microondas convencional (Ms-0745vs, LG, México, D.F). Para el calentamiento, se emplearon cuatro lotes de frambuesas: a tres de ellos se les aplicó el tratamiento correspondiente, un lote de frambuesas fue dejado sin tratamiento como testigo. Se pesaron en una báscula granataria 100 g de frambuesa previamente seleccionadas,

se depositaron en un recipiente circular de plástico y se les añadieron 200 g de agua a temperatura ambiente (25 °C). La muestra fue situada en el centro de la cavidad del horno de microondas y se inició el calentamiento. Partiendo de una temperatura inicial en las frambuesas de 24 ± 1 °C, las muestras se calentaron a 48 °C a 269 W, 379 W y 473 W (potencia baja, media y alta, respectivamente) por 90, 75 y 60 segundos y mantenidas por 1.7 min (tiempo de retención). Al finalizar el calentamiento se retiró el agua caliente y las frutas fueron sumergidas en un baño de hielo a 4 °C en donde se monitoreó la temperatura mediante un termopar (DigiSence, ThermoFisher Scientific, EE.UU.) colocado en el centro de las muestras (Figura 10). Los tratamientos por microondas se llevaron a cabo por triplicado. A las muestras tratadas con 269 W, 379 W y 473 W se les denominó MW-269, MW-379, MW-473 y a la muestra sin tratamiento C (control).

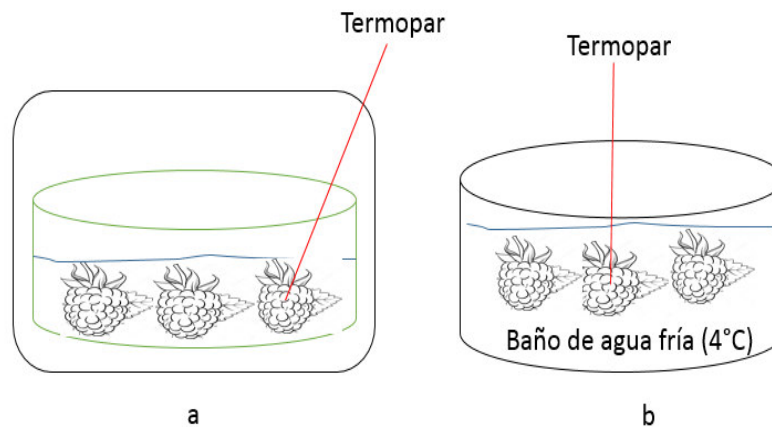


Figura 10 Representación esquemática del proceso de calentamiento y enfriamiento de los frutos de frambuesa (a) calentamiento en agua de los frutos en microondas y (b) enfriamiento de los frutos en agua fría.

6.2.4 Determinación de parámetros de calidad después de aplicado el tratamiento

6.2.4.1 Peso

Se pesaron individualmente cinco réplicas de las frutas utilizando una balanza digital. Los resultados del peso de los frutos se expresaron en gramos (g) (Goldin *et al.*, 2014).

6.2.4.2 Determinación del tamaño

Se tomaron cinco réplicas de la fruta y se les midió el diámetro ecuatorial, utilizando un Vernier, esto conforme a la Norma Mexicana NMX-FF-009-1982.

6.2.4.3 Firmeza

Se determinó la firmeza de los frutos por medio de un texturómetro (Texture Analyzer TA-XT2, Reino Unido) (Figura 11) utilizando un puntal de 2 mm de diámetro con una velocidad de 2 mm/s y distancia de penetración de 6 mm después del contacto (Goldin *et al.*, 2014). Las unidades de firmeza fueron expresadas en Newtons (N). La medición se realizó por duplicado para cada tratamiento.



Figura 11 Texturoméetro (Texture Analyzer TA-XT2) empleado para la medición de la textura de los frutos de frambuesa.

6.2.4.4 Evaluación del color

La medición de los parámetros colorimétricos se llevó a cabo en un colorímetro (HunterLab Color Flex EZ) empleando el modo de reflectancia de acuerdo con la metodología recomendada por el fabricante. Para la determinación, se calibró el equipo con una placa negra y una placa blanca. En una caja Petri de vidrio se colocó la fruta, se colocó sobre el puerto de medición del refractómetro y se determinaron las coordenadas colorimétricas correspondientes a la escala CIELAB: L* (luminosidad), a* (variación verde a rojo) y b* (variación azul a amarillo). Las mediciones de color se llevaron a cabo por triplicado (Goldin *et al.*, 2014).

6.2.4.5 Evaluación del pH

El valor de pH se obtuvo usando un potenciómetro Conductronic (México, D.F.). Las mediciones se realizaron por duplicado para cada una de las muestras las cuales fueron trituradas con agua destilada. (Goldin *et al.*, 2014).

6.2.4.6 Determinación de la acidez titulable (% de ácido cítrico)

Se obtuvo por medio del método estándar de la AOAC (1984). Para la preparación de las muestras se licuaron 20 g de pulpa de frambuesa en 100 mL de agua destilada hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, la mezcla se tituló

con NaOH 0.1 N, hasta obtener un pH final de 8.2 el cual fue medido con un potenciómetro Conductronic (México, D.F.). Las mediciones se realizaron por duplicado para cada una de las muestras.

Para calcular el porcentaje de ácido cítrico se utilizó la fórmula que se muestra a continuación:

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{V * N * Meq}{M} * 100 \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

V= volumen gastado de la solución utilizada para titular

N= normalidad de la solución utilizada para titular (0.1N)

Meq= Miliequivalentes del ácido cítrico (0.0064)

M= peso de la muestra (g)

6.2.4.7 Sólidos Solubles Totales (SST)

Para la determinación de los Sólidos Solubles Totales se utilizó un refractómetro digital (modelo HI 96801, Hanna Instruments, Rumania) con capacidad de medición de 0 a 85° Brix, previamente calibrado, utilizando el jugo que fue extraído de la pulpa de los frutos. Los resultados se expresaron en °Brix. Los sólidos solubles totales incluyen azúcares y ácidos orgánicos, los cuales pueden ser medidos con refractómetro (Egan *et al.*, 1981).

Las mediciones se realizaron por duplicado (Goldin *et al.*, 2014).

6.2.5. Determinación de Compuestos Bioactivos

6.2.5.1 Contenido de Antocianinas

El contenido de antocianinas se determinó empleando buffer de borato de sodio a pH diferencial pH 1 y pH 4.5. En un mortero se molió 1 g de tejido fresco y 5 mL de acetona fría (4°C), una vez molida la muestra fue transferida a un tubo con punta cónico para centrifuga (marca Falcon) de 1.5 mL para centrifugarse a 10,000 rpm/10min. Del sobrante obtenido de la centrifugación, se tomaron alícuotas de 200 µL las cuales fueron depositadas en tubos de vidrio seguida de 2 mL de borato de sodio a pH 1 y pH 4.5, se agitó ligeramente en vortex y se determinaron los valores de absorbancia a 515 y 700 nm para cada muestra captada en un espectrofotómetro UV-visible (Lambda, Perkin Elmer, Estados Unidos), se empleó un blanco como valor de referencia (Cheng y Breen, 1991). Las muestras se realizaron por duplicado.

Para calcular el contenido de antocianinas totales se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas} = (\text{Abs}_{515} - \text{Abs}_{700})_{\text{pH}1.0} - (\text{Abs}_{515} - \text{Abs}_{700})_{\text{pH}4.5} \quad (\text{ec.5})$$

Empleando el coeficiente de extinción molar ($\epsilon = 29,600$ para cianidina 3-glucósido).

El resultado fue reportado en antocianinas totales en mg equivalentes de cianidina 3-glucósido por 100 gPF (gramos de peso fresco).

6.2.5.2 Determinación del contenido de Compuestos Fenólicos

Totales (CFT)

Los compuestos CFT se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu (Slinkard *et al.*, 1977) usando ácido gálico como estándar, en un mortero fue molido 1 g de tejido fresco y 5 mL de metanol al 80%, una vez molida la muestra fue transferida a un tubo falcon de 1.5 mL y agitado en vortex por 30 s, seguido de una agitación lenta durante 1 h en oscuridad, para centrifugarse a 12,500 rpm/15min, se colectaron 200 μ L del sobrenadante en tubos de vidrio seguido por adición de 200 μ l de reactivo Folin-Ciocalteu (1:4) y 2 mL de carbonato al 5%, se agitó ligeramente en vortex y se mantuvo en la oscuridad durante 1 h para después determinar los valores de absorbancia a 765 nm para cada muestra en un espectrofotómetro UV-visible (Lambda, Perkin Elmer, Estados Unidos), se empleó un blanco como valor de referencia. Las muestras se realizaron por duplicado.

Para calcular el contenido de CFT, se realizó una curva estándar de ácido gálico, usando concentraciones del estándar de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg/mL y se midió a 765 nm. Con los resultados, se obtuvo la regresión lineal de la Ec. 7, que se usó para calcular los CFT en las muestras:

$$X = 0.1141Y - 0.1237 \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

Y= Absorbancia

x= concentración

El resultado fue reportado en mg por gPF (gramos de Peso Fresco) de ác. Gálico.

6.2.5.3 Determinación del contenido de Flavonoides

El contenido de flavonoides totales fue determinado usando el reactivo de AlCl_3 (Arvouet-Grand *et al.*, 1994) en metanol, se pesó 1 g de la muestra fresca en un mortero, seguido de 10 mL de metanol, una vez molida la muestra se transportó a un tubo de vidrio con tapa en cual fue puesto en baño maría mantenido a ebullición durante 1 h, después la muestra fue enfriada a chorro de agua, por siguiente la muestra fue decantada en microtubos y centrifugada a 12,000 rpm/ 15 min. Una vez centrifugado se tomaron alícuotas de 200 μL del sobrenadante seguido de 50 μL de AlCl_3 (10%), 50 μL de acetato de K (1M) y 800 μL de H_2O . Las muestras se realizaron por duplicado y medidas a 415 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Lambda, Perkin Elmer, Estados Unidos).

Para calcular el contenido de Flavonoides totales, se construyó una curva de calibración del estándar de quercetina de 0 a 1 mg/mL (de 0.2 en 0.2) con lo que se obtuvo la regresión lineal mostrada en la Ec. 8, la cual se usó para los cálculos de FT:

$$X = 0.083Y + 0.004 \quad (\text{ec. 8})$$

donde:

Y= Absorbancia

m= 0.083 (pendiente)

x= concentración

El resultado fue reportado en mg equivalentes de Quercetina por gPF (gramos de Peso Fresco).

6.2.5 Almacenamiento

Las muestras a las que les fue aplicado tratamiento hidrotérmico, así como una muestra testigo (sin tratamiento) se colocaron en bandejas de plástico con tapa ranurada (Figura 12) (para evitar condensación de la transpiración) y fueron almacenadas en refrigeración a 7°C (temperatura a la que se mantenía el frigorífico empleado) durante 14 días.



Figura 12 Frutos de frambuesa almacenados por 14 días en cajas ranuradas.

6.2.6 Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico Minitab 17, el diseño fue completamente al azar a través del análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey, estableciendo diferencias estadísticamente significativas con una α de 0.05. Para cada determinación se consideró una $n= 5$ frutos (Firmeza, peso, color) o su peso equivalente (cuando la muestra debía ser molida: pH, % AT, °Bx, Antocianinas, CFT y FT), mientras que los tratamientos involucraban las tres potencias experimentales

evaluadas (269, 379 y 473 W: potencia baja, media y alta, respectivamente). Todos los análisis se realizaron por duplicado (excepto el color que se realizó por triplicado).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Propiedades dieléctricas

Las propiedades dieléctricas de la mayoría de los materiales varían considerablemente con la frecuencia de los campos eléctricos aplicados. Por tanto, un importante fenómeno que contribuye a la dependencia de la frecuencia de las propiedades dieléctricas es la polarización de moléculas que surgen de la orientación con el campo eléctrico impuesto, que generan momentos dipolares permanentes (Venkatesh & Raghavan, 2004). A bajas frecuencias (<200 MHz), la conductividad iónica juega un papel importante, mientras que tanto la conductividad iónica como la rotación dipolar del agua es importante en las frecuencias de microondas. Por ejemplo, la conducción iónica fue el mecanismo dominante para la dispersión dieléctrica en huevos a frecuencias inferiores a 200 MHz (Ragni, Al-Shami, Mikhaylenko y Tang, 2007), mientras que la conducción iónica dominaba hasta 300 MHz en mangos (Sosa-Morales *et al.*, 2009). Los líquidos con moléculas polares, como alcoholes o agua, la dispersión polar domina las características de frecuencia de las propiedades dieléctricas y el modelo de Debye se puede utilizar para describir el comportamiento de la frecuencia de los líquidos puros (Decareau, 1985).

7.1.1 Constante dieléctrica (ϵ')

Realizando la evaluación de la constante dieléctrica (ϵ') a diferentes frecuencias (915, 2450 y 5800 MHz) y diferentes temperaturas (20, 40 y 60 °C) en la Figura 13

y Cuadro I se observa que para la temperatura empleada de 20 °C la constante dieléctrica fué disminuyendo conforme se incrementaba la frecuencia (MHz). Para una frecuencia de 915 MHz se obtuvo un valor de $\epsilon' = 74.36$, $\epsilon'' = 70.86$ a 2450 MHz y un resultado de $\epsilon' = 63.18$ a 5800 MHz. Esta misma disminución de la constante dieléctrica se presentó tanto para temperatura de 40 °C y para 60 °C. Los valores obtenidos para 40 °C fueron $\epsilon' = 73.49$ (915 MHz) y $\epsilon'' = 63.03$ (5800 MHz). Para la temperatura de 60 °C la $\epsilon' = 74.13$ (915 MHz) y $\epsilon'' = 65.14$ (5800 MHz). Con respecto a la temperatura no se observó diferencia significativa de la ϵ' entre valores 20 y 40 ° C para frambuesas ($p > 0.05$) y a 60°C se obtuvieron valores más altos a 2450 y 5800 MHz comparado con temperatura de 20 y 40°C.

Sosa-Morales *et al.*, (2017) encontró valores en fresas más altos para la constante dieléctrica a una temperatura de 40 ° C, a frecuencias de 915, 2450 y 5800 MHz ($p < 0.05$) comparado con las medidas a 20 y 60 °C. En zarzamoras, estos mismos autores obtuvieron valores más altos a temperatura de 20 °C. Así mismo, comparando los resultados de frambuesa con zarzamora los valores obtenidos de la ϵ' a temperatura de 20 °C son los más altos.

La influencia de la temperatura en las propiedades dieléctricas de los alimentos depende de muchos factores, incluida la composición de los alimentos, especialmente el contenido de humedad y sal, y las frecuencias involucradas (Tang, 2005). Por lo tanto, la dependencia de la temperatura de la constante dieléctrica es bastante compleja y puede aumentar o disminuir con temperatura dependiendo del

material. La temperatura de un material tiene un efecto significativo sobre las propiedades dieléctricas.

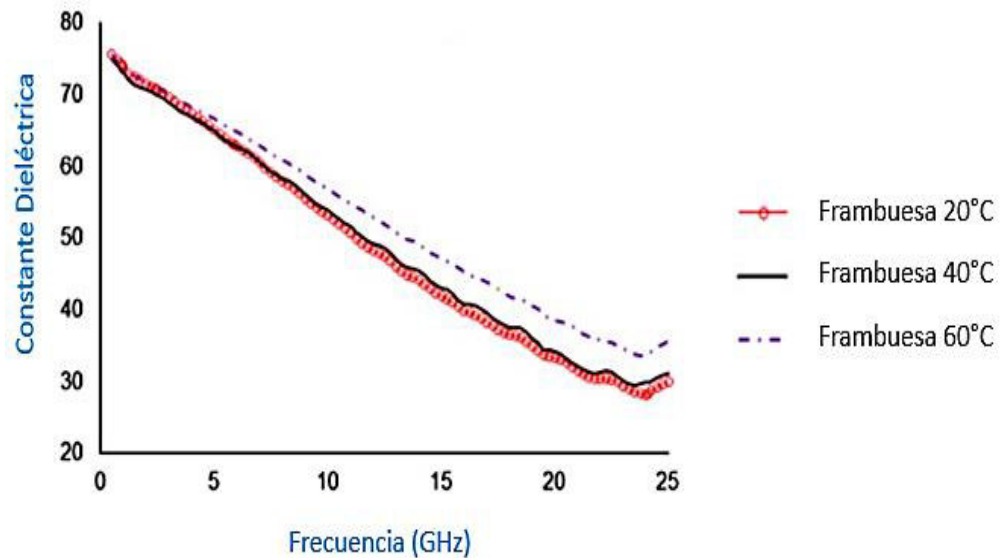


Figura 13 Medición de la constante dieléctrica en puré de frambuesa a 20, 40 y 60 °C emperando el método de sonda coaxial abierta.

7.1.3 Factor de pérdida (ϵ'')

El factor de pérdida (ϵ'') de los frutos incrementó de **16.39** (915 MHz) a **23.73** (5800 MHz) a temperatura de 20 °C. A temperatura de 40 °C se observa un incremento de $\epsilon'' = 16.90$ (915 MHz) a $\epsilon'' = 22.59$ (5800 MHz) al igual para temperatura de 60 °C de $\epsilon'' = 16.75$ (915 MHz) a $\epsilon'' = 21.22$ (5800 MHz). Por lo que el mayor incremento de ϵ'' es a temperatura de 20 °C a una frecuencia de 5800 MHz (Figura 14). El factor de pérdida no se vio afectado por la temperatura en el rango de 0,5 a 2 GHz ($p > 0.05$), pero disminuyó al aumentar la temperatura de 5 a 20 GHz ($p < 0.05$).

Sosa-Morales *et al.*, (2017) encontró valores más altos de $\epsilon''=24.80$ a 5800 MHz a una temperatura de 40 °C, al igual que en la medición de la zarzamora, donde el valor más alto de $\epsilon''=23.59$ a 5800 MHz a una temperatura de 20 °C. En puré de fresa encontró valores más altos que la zarzamora a temperatura de 40 °C de $\epsilon''=234.80$ a 5800 MHz.

Generalmente, el factor de pérdida aumenta al aumentar la temperatura a bajas frecuencias debido a la conductancia iónica (Guan *et al.*, 2004) y disminuye al aumentar la temperatura a fuego alto.

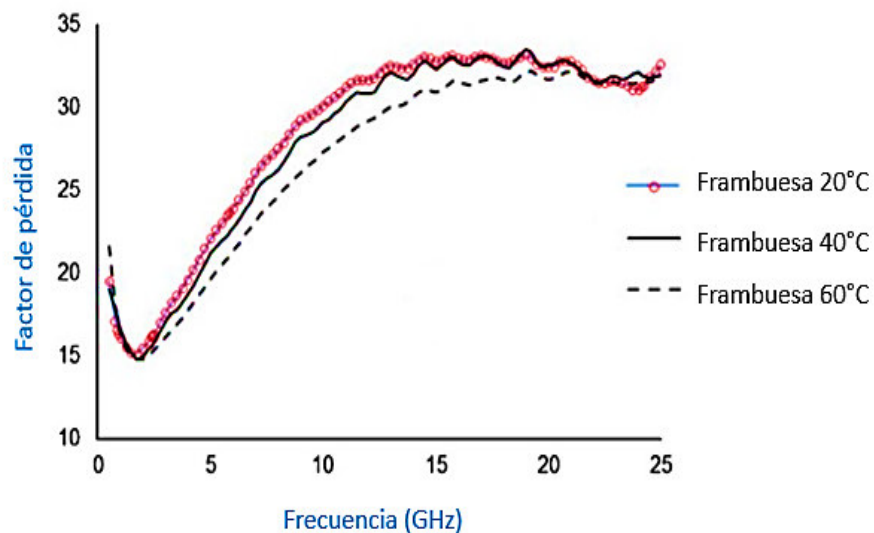


Figura 14 Medición del factor de pérdida en puré de frambuesa a 20, 40 y 60 °C empleando el método de sonda coaxial abierta.

7.1.3 Profundidad de penetración (d_p).

Los valores de profundidad de penetración calculados (cm) para bayas a diferentes temperaturas se presentan en el Cuadro I. La profundidad de penetración disminuyó con frecuencia creciente. Los valores de d_p más altos se encuentran a frecuencia más baja (915 MHz) en las tres temperaturas empleadas (20,40 y 60 °C).

La profundidad de penetración más alta es para la temperatura de 20°C con un valor de **2.70 cm** a 915 MHz y la d_p más baja es a temperatura de 20°C a frecuencia de 5800 MHz con un valor de **0.28 cm**. No hubo efecto de la temperatura en d_p para las frutas en el rango estudiado ($p > 0.05$).

Sosa *et al.*, (2017) reporta valores de d_p para zarzamora **2.7-2.56 cm** a frecuencia de 915 MHz siendo menores ($p < 0,05$) que el exhibido para fresa a la misma frecuencia y temperatura de **3.56–3.21 cm**.

Estos resultados de profundidad de penetración muestran que las frecuencias de 915 y 2450 MHz son útiles para procesos de desinfestación y secado. Por ejemplo, a 2450 MHz, un lecho de secado no debe ser superior a 1 cm para berries, para asegurar la penetración de las olas y provocar la evaporación de la humedad en las berries. Otro caso sería la pasteurización continua por microondas de purés de bayas a 915 MHz (Sosa-Morales *et al.*, 2017).

Otras aplicaciones, como evitar la descomposición provocada por los mohos, podrían llevarse a cabo, como los mohos crecen en la superficie de las bayas, las

microondas penetrarán fácilmente en la superficie de las bayas a alta temperaturas (40-60 °C) para inactivar el microorganismo (Sosa-Morales *et al.*, 2017).

Cuadro I Propiedades dieléctricas (ϵ' y ϵ'') y profundidad de penetración (d_p) en puré de frambuesa a 20, 40 y 60°C, frecuencias asignadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, EE. UU.).

Temperatura (°C)	Propiedades dieléctricas / d_p (cm)	Frecuencia (MHz)		
		915	2450	5800
20	ϵ'	74.36 ^a	70.86 ^b	63.18 ^c
	ϵ''	16.39 ^a	16.28 ^a	23.73 ^b
	d_p	2.7 ^a	1.02 ^b	0.28 ^c
40	ϵ'	73.49 ^a	70.11 ^b	63.03 ^c
	ϵ''	16.9 ^a	15.78 ^a	22.59 ^b
	d_p	2.59 ^a	1.04 ^b	0.29 ^c
60	ϵ'	74.13 ^a	71.21 ^b	65.14 ^c
	ϵ''	16.75 ^a	15.39 ^b	21.22 ^c
	d_p	2.63 ^a	1.07 ^b	0.31 ^c

Medias con misma letra indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre frecuencias – por fila - ($p > 0.05$).

7.2. Diseño de los tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas

7.2.1 Calibración del horno de microondas

Se determinó que las potencias para trabajar serían 40, 60 y 80% de la potencia máxima del horno (Figura 15), por mantener una tendencia lineal, por su baja desviación estándar y para tener potencias baja, media y alta. Estos niveles de potencia corresponden a 269, 379 y 473 W, respectivamente.

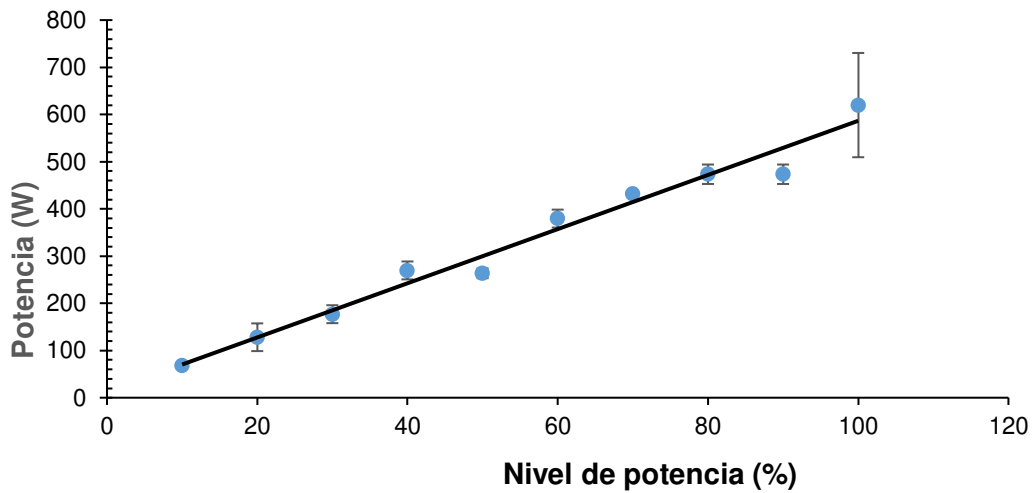


Figura 15 Calibración de potencia del horno de microondas. Las barras indican la desviación estándar.

7.2.2 Tiempo de calentamiento y enfriamiento empleados en los tratamientos

Para alcanzar la temperatura objetivo de 48°C en los lotes, se obtuvo un tiempo de 90 s para potencia de 269 W, 75 s para potencia de 379 W y 60 s para potencia de 473 W y un tiempo de enfriamiento de 30 s (Figura 16), esto hasta alcanzar la temperatura objetivo del centro del fruto (25°C), para cada una de las potencias, esto para frambuesas de un diámetro de 1.5-1.8 cm.

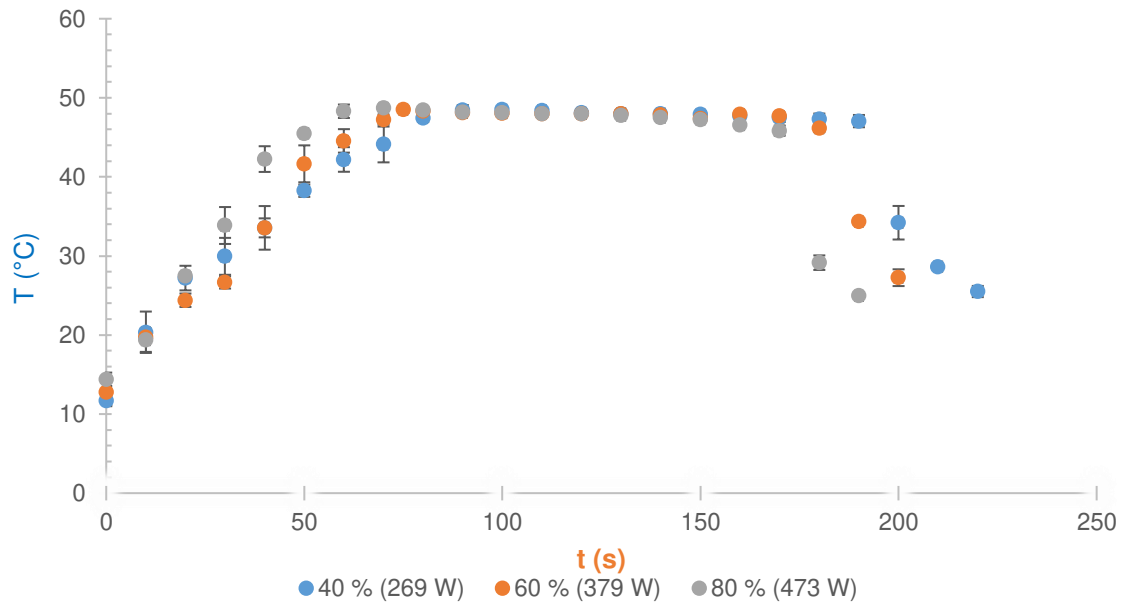


Figura 16 Tiempo de calentamiento y enfriamiento de los tratamientos empleados: 269 W (potencia baja: 40%), 379 W (potencia media: 60%) y 473 W (potencia alta: 80% de la potencia nominal) y enfriamiento en agua a 4°C, hasta llegar a 25°C.

7.3 Calidad poscosecha de las frambuesas tratadas con microondas

Una vez aplicados los tratamientos a los frutos se obtuvieron las propiedades fisicoquímicas mencionadas en el Cuadro II.

7.3.1 Sólidos Solubles Totales (SST)

El contenido de °Brix presentes en los frutos de frambuesa, después de aplicado en tratamiento fueron incrementando conforme pasaban los días, en el cual el tratamiento MW-379 obtuvo un contenido inicial y final más alto desde el día 1 al día 14 de 10.20 ± 0.62 a 18.41 ± 2.02 °Bx comparado con el Control (C), en el cual el contenido fue relativamente bajo de 10.28 ± 1.30 a 14.26 ± 2.17 °Bx, por lo que conforme transcurren los días de almacenamiento el fruto adquiere mayor

concentración de sólidos solubles, alcanzando un valor de **18.41 ± 2.08** en el tratamiento de MW-379 en el día 14.

La calidad de los frutos de frambuesa estudiados es similar a lo reportado por Golding *et al.*,2014, quienes reportaron valores de 9.8 °Bx para frambuesas "Maravilla" de Australia.

7.3.2 Firmeza

La firmeza de los frutos para el tratamiento MW-379 fue disminuyendo de **0.78 ± 0.29** a **0.67 ± 0.45 N**, comparado con el C (Control) en el cual la firmeza de los frutos inicialmente fue de **1.26 ± 0.34** y final de **0.57 ± 0.28 N**, esto hace que el mejor tratamiento empleado de acorde a los resultados de firmeza sea el tratamiento MW-379, esto porque conforme pasaban los días la firmeza del pericarpio se volvía más tenaz, por lo que esto hace que el fruto sea más resistente a algún daño mecánico comparándolo con el Control (Cuadro II).

7.3.3 Peso

En cuanto al peso de los frutos, fue disminuyendo conforme pasaban los días de almacenamiento, en el control disminuyó de **3.33 ± 0.82** a **2.84 ± 1.07** comparado con el tratamiento de MW-379 donde se observó un cambio drástico de peso **de 4.22 ± 0.83** a **1.97 ± 0.43**, por lo que el mejor tratamiento aplicable para los frutos es el tratamiento MW-269, el cual se asemeja más con los valores obtenidos con el control y se mantiene más constante (Cuadro II).

7.3.4 Tamaño

El tamaño de los frutos se mantuvo en **1.8 ± 0.00 cm** desde el día 1 al día 7 para el C (Control) y para el tratamiento MW-269, comparado con los tratamientos MW-

379 y MW-473, en los cuales el tamaño disminuyó después de aplicar los tratamientos, ya que el tamaño inicial fue de 1.5 ± 0.21 a 1.6 ± 0.10 cm, así que aplicando estos tratamientos el fruto se daña desde el primer día, por lo que no se recomienda aplicarlos para evitar tamaños pequeños de los frutos (Cuadro II).

Cuadro II Propiedades fisicoquímicas en los lotes empleados (C) control, (MW- 269) potencia baja 40%, (MW- 379) potencia media 60% y (MW- 473) potencia alta 80% durante los días 1, 7 y 14 después de aplicado el tratamiento.

Tratamiento	Días después del tratamiento		
	1	7	14
°Brix			
C	10.28 ±1.30 ^a	10.71 ±1.57 ^a	14.26 ± 2.17 ^a
MW-269	10.96 ±0.75 ^a	11.65 ± 2.88 ^a	15.60 ± 1.90 ^a
MW-379	10.20 ±0.62 ^a	11.20± 1.05 ^a	18.41 ± 2.08 ^a
MW-473	9.20 ±1.66 ^a	12.76 ±1.42 ^a	15.79 ± 1.95 ^a
Firmeza (N)			
C	1.26 ± 0.34 ^a	0.65 ± 0.17 ^a	0.57 ± 0.28 ^a
MW-269	1.14 ± 0.19 ^a	0.93 ± 0.10 ^b	0.53 ± 0.16 ^a
MW-379	0.78 ± 0.29 ^b	0.63 ± 0.19 ^a	0.67 ± 0.45 ^a
MW-473	0.83 ± 0.43 ^b	0.61 ± 0.13 ^a	0.60 ± 0.23 ^a
Peso (g)			
C	3.33 ± 0.82 ^a	2.55 ± 0.72 ^a	2.84 ± 1.07 ^a
MW-269	3.77 ± 1.09 ^a	2.33 ± 0.50 ^a	2.94 ± 0.89 ^a
MW-379	4.22 ± 0.83 ^a	2.04 ± 0.38 ^a	1.97 ± 0.43 ^b
MW-473	3.22 ± 0.83 ^a	2.80 ± 0.80 ^a	1.92 ± 0.15 ^b
Tamaño (Diámetro ecuatorial cm)			
C	1.8 ± 0.14 ^b	1.8 ± 0.04 ^a	1.8 ± 0.01 ^a
MW-269	1.8 ± 0.00 ^b	1.8 ± 0.10 ^a	1.8 ± 0.09 ^a
MW-379	1.5 ± 0.07 ^a	1.7 ± 0.09 ^a	1.7 ± 0.02 ^a
MW-473	1.5 ± 0.21 ^a	1.6 ± 0.11 ^a	1.6 ± 0.10 ^b

Medias con la misma letra indica que no hay diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$).

7.3.5 Acidez titulable

El contenido de ácido cítrico (Figura 18) presente en los frutos tanto para los tratamientos como para el C (control) se mantuvo en el día 1 a 0.14 ± 0.02 % al día 14 a 0.11 ± 0.01 %, MW-269 de 0.13 ± 0.01 % a 0.10 ± 0.03 %, MW-379 de 0.14 ± 0.02 % a 0.11 ± 0.03 % y MW-473 de 0.14 ± 0.03 a 0.10 ± 0.02 % por lo que el contenido de ácido cítrico de los frutos ligeramente disminuyó conforme pasaban los días después de aplicado el tratamiento. Cualquier tratamiento puede ser utilizado, ya que no se ve afectado el contenido de ácido cítrico.

7.3.6 pH

En la Figura 18 se observa el pH de los frutos después de aplicados los tratamientos, el cual fue incrementando conforme transcurrían los días de almacenamiento, puesto que se partió de un pH de 4.43 ± 0.67 a 4.52 ± 0.40 esto en la muestra empleada como C (Control), MW-269 de 4.70 ± 1.30 a 5.08 ± 0.41 , MW-379 de 3.91 ± 0.81 a 4.81 ± 0.35 y en MW-473 de 4.65 ± 0.84 a 4.80 ± 0.82 . Derivado a esto, cualquier tratamiento hidrotérmico puede ser empleado para tratar el hongo, ya que no se ve afectada la acidez característica del fruto.

Como lo menciona Badui (2006), para que exista crecimiento de microorganismos se necesitan condiciones propicias de pH, de nutrimentos, de oxígeno, de presión, de temperatura y de actividad del agua; como regla general, esta última tendrá que ser mayor a medida que los otros parámetros se vuelvan menos favorables. Por cada 0.1 unidades de aumento de a_w , el crecimiento microbiano puede incrementarse un 100%, hasta llegar a un límite. Los que más agua requieren son las bacterias (>0.91), después las levaduras (>0.88), y luego los hongos (>0.80); de

todos, los patógenos son los que más la necesitan para su desarrollo, situación contraria a las levaduras osmófilas. Como regla, la a_w mínima para la producción de toxinas es mayor que para el crecimiento microbiano. La reducción de la disponibilidad de agua inhibe dicho crecimiento, pero a su vez incrementa la resistencia térmica de los microorganismos, lo que indica que para destruirlos es mejor el calor húmedo que el calor seco. Los microorganismos responden a una baja humedad, prolongando su fase inicial, bajando la fase logarítmica y reduciendo el número de células viables.

Comparado con lo anteriormente mencionado, el pH de la frambuesa al ser un alimento ácido se encuentra en una zona de alta estabilidad y al ser aplicados los tratamientos su pH no es afectado y destruye el crecimiento de hongos.

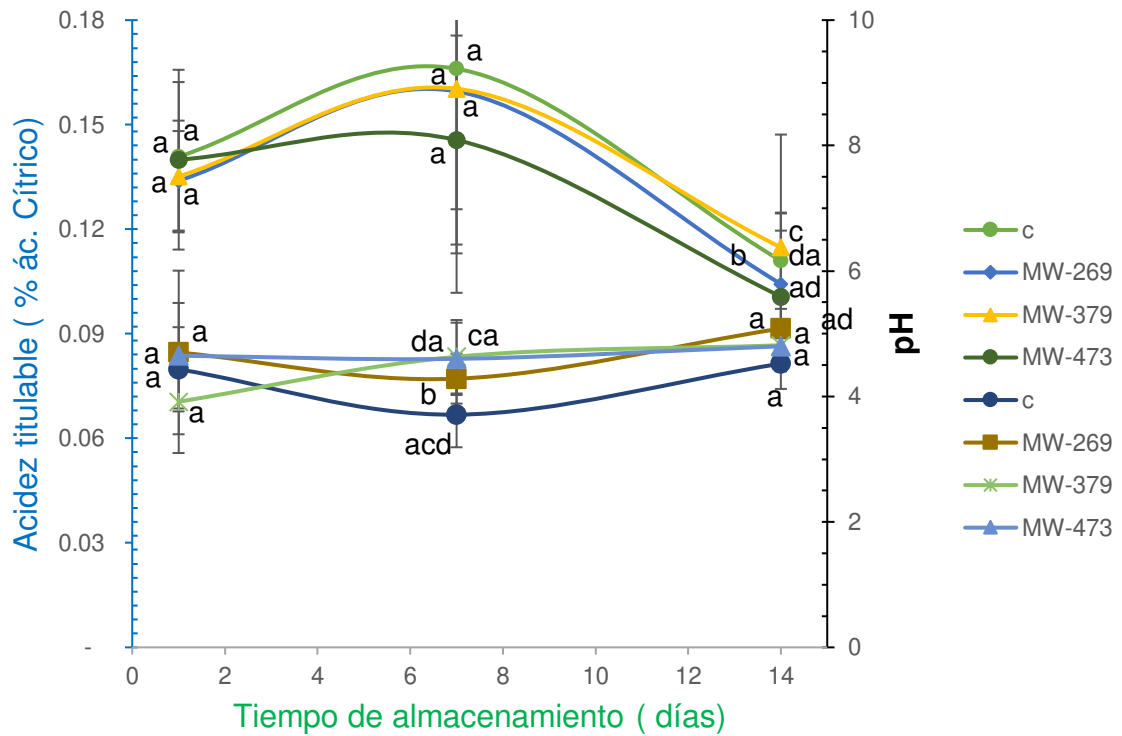


Figura 17 Contenido de ácido cítrico y pH de los frutos de frambuesa durante los días 1, 7 y 14 de almacenado, después de aplicado el tratamiento.

7.3.7 Color obtenido del puré de los frutos (L^* , a^* , b^*)

En el Cuadro III se muestra el color obtenido después de los 14 días de almacenamiento de los frutos, una vez aplicado el tratamiento, por lo que los frutos inicialmente se encontraban en un estado de inmadurez logrando conforme pasaban los días la madurez de consumo de un color rojo, por lo cual los tratamientos aplicados no afectan los pigmentos presentes en los frutos.

Cuadro III Colorimetría obtenida en los lotes empleados (C) control, (MW- 269) potencia baja 40%, (MW- 379) potencia media 60% y (MW- 473) potencia alta 80% durante los días 1, 7 y 14 después de aplicado el tratamiento.

Tratamiento	Días después del tratamiento								
	1			7			14		
	Color								
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
C	24.27 ± 0.5 ^a	26.46 ± 0.7 ^a	15.13 ± 0.5 ^a	20.00 ± 0.0 ^a	20.59 ± 0.2 ^a	8.86 ± 0.4 ^a	17.27 ± 1.0 ^a	16.79 ± 1.8 ^a	7.2 ± 0.5 ^a
MW-269	23.38 ± 3.7 ^a	26.32 ± 2.9 ^a	14.39 ± 2.5 ^a	20.00 ± 0.7 ^a	20.60 ± 1.2 ^a	9.19 ± 0.5 ^a	18.15 ± 2.4 ^a	21.05 ± 1.9 ^b	9.20 ± 1.2 ^b
MW-379	24.27 ± 0.5 ^a	26.46 ± 0.7 ^a	15.13 ± 0.5 ^a	21.80 ± 0.1 ^b	18.90 ± 2.6 ^a	10.01 ± 0.3 ^b	19.00 ± 2.2 ^a	19.25 ± 1.0 ^b	10.48 ± 1.3 ^b
MW-473	23.83 ± 1.9 ^a	26.39 ± 1.4 ^a	14.76 ± 1.5 ^a	25.86 ± 0.3 ^c	22.77 ± 3.9 ^a	12.60 ± 0.6 ^c	18.14 ± 1.7 ^a	19.03 ± 0.5 ^b	8.43 ± 0.7 ^b

Medias con la misma letra indica que no hay diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$).

7.4 Contenido de antocianinas

El contenido total de antocianinas varió entre 1.40 ± 0.77 a 8.01 ± 2.51 en el Control, de 0.86 ± 0.55 a 5.08 ± 1.66 potencia de 269 W, 1.66 ± 1.06 a 6.13 ± 1.52 , en MW-379 y de 1.18 ± 0.77 a 7.71 ± 2.66 en el tratamiento de MW-473, expresados en mg de Cianidina 3-glucósido/100 g de frambuesa fresca (Figura 18). Después de haberse aplicado los tratamientos, las frambuesas fueron adquiriendo mayor contenido de antocianinas, esto generado por el tiempo de almacenamiento no así por la aplicación del tratamiento. El contenido de antocianinas en el Control (C) es comparable al de frambuesas de diferentes grados de madurez del Estado de México, reportado hasta 10 mg/100 g (Peña *et al.*, 2006).

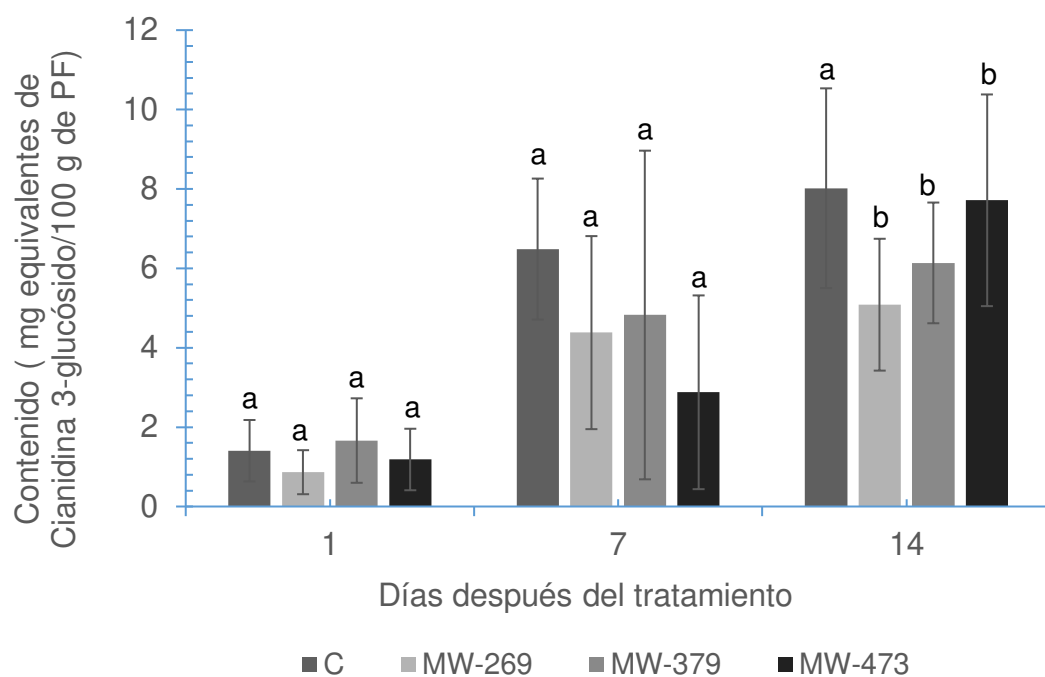


Figura 18 Contenido de antocianinas tratadas con (C) control, 269 W (potencia baja: 40%), 379 W (potencia media: 60%) y 473 W (potencia alta: 80% de la potencia nominal) durante los días 1, 7 y 14 después de aplicado el tratamiento en almacenamiento refrigerado.

7.5 Contenido de CFT

El contenido de CFT varió entre 35.65 ± 2.63 a 39.20 ± 2.86 en el Control, de 31.11 ± 3.74 a 36.99 ± 2.29 en frutas tratadas a MW-269, de 31.79 ± 3.79 a 39.83 ± 1.36 en frambuesas tratadas a MW-379 y de 34.26 ± 3.92 a 40.75 ± 1.11 en muestras tratadas a MW-473, expresados en mg equivalentes de ácido gálico/100 g de frambuesa (Figura 19), por lo que los mejor tratamiento a emplear es el MW-473,

dado que en el día 14 de almacenamiento tiene similitud en la muestra empleada como Control.

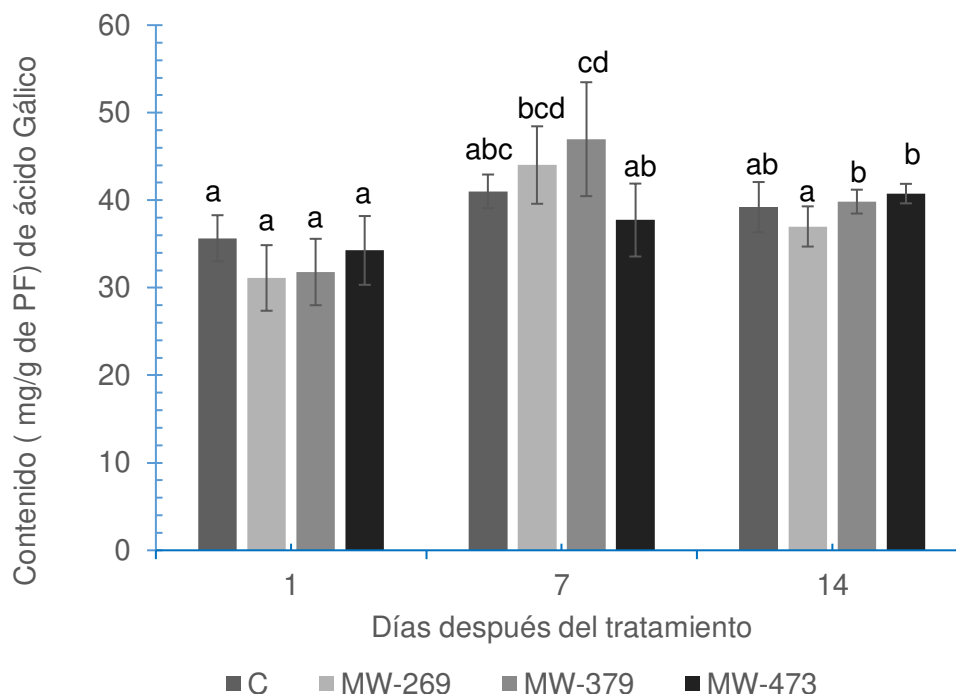


Figura 19 Contenido de Compuestos Fenólicos Totales en frambuesas tratadas con (C) control, 269 W (potencia baja: 40%), 379 W (potencia media: 60%) y 473 W (potencia alta: 80% de la potencia nominal) durante su almacenamiento refrigerado por 14 días.

7.6 Concentración de Flavonoides

La concentración de flavonoides fue 2.99 ± 1.17 a 6.43 ± 2.12 en C (control), 3.05 ± 0.86 a 3.65 ± 2.03 en potencia de MW-269, 4.01 ± 3.08 a 5.39 ± 2.82 en potencia de MW-379 y de 4.03 ± 0.78 a 6.39 ± 1.75 en potencia de MW-473 expresados como mg equivalentes de quercetina /g de Peso Freso (Figura 20).

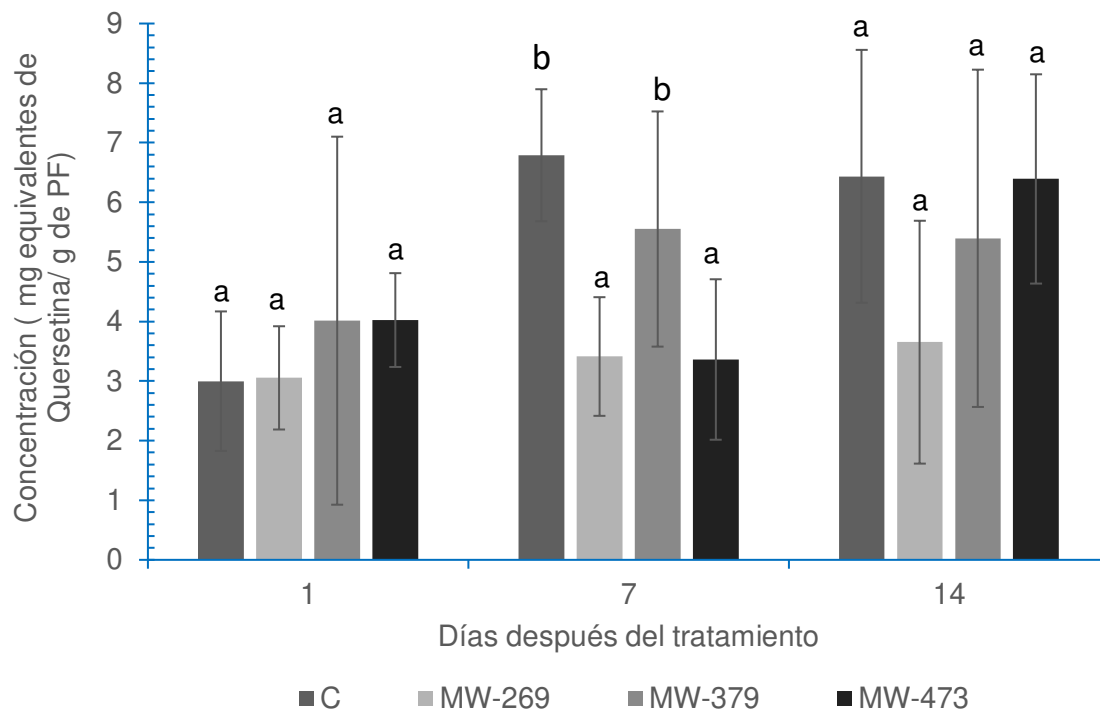


Figura 20 Concentración de Flavonoides en frambuesas tratadas con (C) control, 269 W (potencia baja: 40%), 379 W (potencia media: 60%) y 473 W (potencia alta: 80% de la potencia nominal) durante los días 1, 7 y 14 después de aplicado el tratamiento en almacenamiento refrigerado.

7.7 Calidad de los frutos después de 14 días de almacenamiento

Los frutos tratados con microondas durante los 14 días de almacenamiento, no presentaron pérdida de sus biocomponentes. En cuanto apariencia el tratamiento MW-269 se asemeja más a la apariencia del control, comparando con los tratamientos MW-279 y MW-473, en los cuales hubo un incremento de sus biocomponentes pero en sus propiedades fisicoquímicas fueron decreciendo

conforme pasaban los días, en cuanto apariencia, se vuelven desagradables para el consumidor (Figura 21).

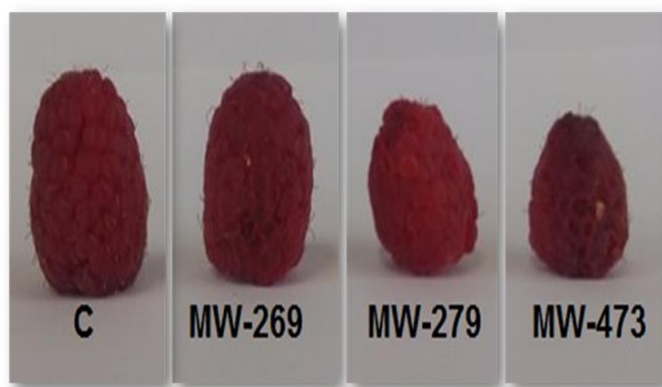


Figura 21 Frutos de frambuesa a los 14 días de almacenamiento.

VIII. CONCLUSIONES

Se recomienda el tratamiento MW-269 por no presentar pérdida de los biocomponentes y de sus propiedades fisicoquímicas analizados durante el almacenamiento.

En cuanto al contenido de biocomponentes se recomiendan los tratamientos MW-279 y MW-473, conforme transcurren los días de almacenamiento éstos incrementaban comparados con la muestra C.

De acuerdo a la apariencia de los frutos después de 14 días de almacenados, estos presentan una calidad para el consumidor muy desagradable, ya que el consumidor prefiere frutos grandes y de un color brillante para ser consumidos, los frutos que se pueden asemejar a esta apariencia son los frutos tratados con MW-269, que son los frutos que se asemejan más a los frutos empleados como Control (C).

Las propiedades dieléctricas y los valores de profundidad de penetración para frambuesas son importantes para desarrollar nuevos procesos basados en microondas que mejorarán y preservarán las características de las frutas.

IX. LITERATURA CITADA

- Astiasarán, I. y Martínez, J. A. 2000. Alimentos composición y propiedades. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana de España. Madrid, España. pp. 191-211.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis (12th. Ed) Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- Arvouet-Grand, A; Vennat, B.; Pourrat, A.; Legret P., 1994. Standarization d'une extrait de propolis et identification des principaux constituents. Journal de Pharmacie de Belgique, 49, 462-468.
- Cano Montiel A.A. 2008. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.2: 58-65.
- Cheng GW, Breen PJ. 1991. Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. J Am Soc Hortic Sci 116: 865-869.
- Decareau, R. V. (1985). Microwaves in the food processing industry. Orlando: Academic Press. pp. 2-37.
- Decareau, R. V. 1992. Microwave foods: new product development. Trumbull CN: Food and Nutrition.
- Diaz Escobar Moreno G. 2011. Tratamiento térmico por microondas para la inhibición de *Listeria innocua* en quesos frescos elaborados con leche de vaca y de cabra. Tesis de Licenciatura, Universidad de las Américas, Puebla, México.

- Egan, H., Kirk, R.S. y Sawyer, R. 1981. Análisis químico de alimentos de Pearson. Editorial Continental.
- Fuentes López, M. A. 2013. Estudio del crecimiento de *Botrytis cinerea* y el desarrollo de las podredumbres de frutos de tomate con el uso de aceites esenciales. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Funebo T, Ohlsson T. 1999. Dielectric properties of fruits and vegetables as a function of temperature and moisture content. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 34:42-54.
- Golding, J. B., Blades, B. L., Satyan, S., Jessup, A. J., Spohr, L. J., Harris, A. M., & 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 Biology and Technology*, 96, 49-52
- Guan, D., Cheng, M., Wang, Y., & Tang, J. (2004). Dielectric properties of mashed potatoes relevant to microwave and radio-frequency pasteurization and sterilization processes. *Journal of Food Science*, 69(1), 30-37.
- Guzmán Soria, E.; García Mata, R.; Muratalla Lúa, A.; García Delgado, G.; Mora Flores, J. S. 2004. Análisis de precios de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) producida en Valle de Bravo, México. *Revista Agrociencia* 38(5): 565-571.
- López Mata, M.A., Ruiz Cruz, S., Ornelas Paz, J.J. y Gassos Ortega, L. E. 2013. Aplicación de tratamientos térmicos a frutos de aguacate para prolongar su

vida de anaquel. Revista de Ciencias biológicas y de la salud. Biotecnia 15 (3). pp. 23-28.

Martin, G. 2008 Factors that affect power and uniformity of heating in microwave ovens. Proc. 42nd Symp. of IMPI, New Orleans, LA, p.p. 24.

Michael, D., Mingos, P. y Baghurst, R. 1997. Applications of microwave dielectric heating effects to synthetic problems in chemistry. Kingston, H. y Haswell, S. (Eds.). Microwave Enhanced Chemistry. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Washington, D.C. EE.UU. pp. 1-54.

MX-FF-009-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación del tamaño con base al diámetro ecuatorial. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-009-1982.PDF>. Fecha de consulta: 13 Febrero 2017.

NOM-251-SSA1-2009. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3980/salud/salud..> Fecha de consulta: 06 Octubre 2020.

Olveira, M. y Franca, A. 2002. Microwave heating of foodstuffs. Journal of Food Engineering. 53:37-359.

Paredes Gutierrez L.C. 2003. ¿Cómo funciona un microondas?. Entorno nuclear. P. 37.

- Patlán, J.S. de J. 2016. Teiss de Licenciatura. Universidad de Guanajuato.
- Peña-Varela G.; Salinas-Moreno Y.; Ríos-Sánchez R. 2006. Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2):159-163.
- Portal Frutícola. 2020. Agronometrics en Gráficos: Precio de fresas. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/07/28/agronometrics-en-graficos-precios-de-fresas-se-disparan-debido-a-bajos-volumenes-de-california>. Consultado el 08 octubre 2020.
- Pritts, M. RASPBERRIES AND RELATED FRUIT, Department of Horticulture, Cornell University's College of Agriculture and Life Sciences, Ithaca, NY 14853, 2013, Fresh fruits & vegetables.
- Ragni, L., Al-Shami, A., Mikhaylenko, G., & Tang, J. (2007). Dielectric characterization of hen eggs during storage. Journal of Food Engineering, 82, 450-459.
- Repizzo Rada, C. A. 2010. Uso del microondas para esterilización de alimentos y medios de cultivo nutritivos no selectivos. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- SAGARPA, 2020. Crece la producción de frambuesa en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/crece-la-produccion-de-frambuesa-en-mexico?idiom=es>. Fecha de consulta: 18 septiembre 2020.

- Salazar-González C.; San Martín-González M.F; López-Malo A.; Sosa-Morales M. E. 2012. Recent Studies Related to Microwave Processing of Fluid Foods. *Food and Bioprocess Technology* 5, 31–46.
- Badui-Dergal S. 2006. *Química de alimentos*. PEARSON EDUCACION. (4). Pp 21-23.
- Schlegel, W. 1992. Commercial pasteurization and sterilization of food products using microwave technology. *Food Technology*. 46(12):62-63.
- Senasica, 2020. Tratamiento Hidrotérmico Disponible en: http://www.servea.com.mx/Auditoria_documental/hidrotermico.pdf. Fecha de consulta: 18 septiembre 2020.
- Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis, automation, and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49–55.
- Sosa-Morales, M. E., Tiwari, G., Wang, S., Tang, J., García, H. S., & López-Malo, A. 2009. Dielectric heating as a potential postharvest treatment of disinfesting mangoes I: Relation between dielectric properties and ripening. *Biosystems Engineering*, 113, 297–303.
- Sosa-Morales, M.E.; Valerio-Junco, L.; García, H.S.; López-Malo, A. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. *LWT- Food Science and Technology* 43,1169-1179.

- Sosa–Morales, M.E., Flores-López, T., Miranda-Estrada, D.E., Kaur-Kataria, T., Abraham-Juárez, M. del R., Cerón García, A., Corona-Chavez, A., Olvera-Cervantes, J.L., Rojas-Laguna, R. 2017. Dielectric properties of berries in the microwave range at variable temperature. *Journal of Berry Research*. 239–247.
- Tang, J. (2005). Dielectric properties of foods. In H. Schubert, & M. Regier (Eds.), *The microwave processing of foods* (pp. 22-38). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Tang J., Mitcham S., Wang S., Lurie S. 2007. Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice. CAB International. Wallingford, Reino Unido.
- Tsheuschner, H.D. 2001. Fundamentos de tecnología de los alimentos. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. pp. 36
- Undurraga, P., y Vargas, S. (eds.) 2013. Manual de frambuesa. Boletín INIA N° 264. 108 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. Pp 12-57.
- Velásquez Valderrama, A. M. y Sánchez Arenas, R. L. 2008. Utilización de microondas en el tratamiento de jugo de mango. *Revista Lasallista de Investigación*. 5:2

- Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. S. V. (2004). An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*, 88(1), 1-18.
- Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. S. V. 2005. An overview of dielectric properties measuring techniques. *Canadian Biosystems Engineering*, 47, 7.15–7.30.
- Villa-Rojas, R., López-Malo, A. y Sosa-Morales, M.E. 2011. Hot water bath treatments assisted by microwave energy to delay postharvest ripening and decay in strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 2265-2270.
- Wang, Y., & Wang, J. 2009. Computer simulation of radio frequency heating. In S. Jun & J. M. Irudayaraj (Eds.), *Food processing operations modeling* (pp. 81–112). Boca Ratón: CRC Press.
- Yam, K. L., & Lai, C. C. 2006. Microwable frozen food or meals. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of food science, technology and engineering* (pp. 113-1–113-8). Boca Ratón: CRC Press.