



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS COMPARATIVO PARA EL ESCALDADO DE MANZANA (*Malus pumila*) POR METODO TRADICIONAL Y POR TECNOLOGÍA DE MICROONDAS

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e Impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: JOSE ADRIAN ZENDEJAS CRAVIOTO

FECHA: 14-X-05

FIRMA: [Firma manuscrita]

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO DE ALIMENTOS
P R E S E N T A:
JOSÉ ADRIÁN ZENDEJAS CRAVIOTO



MÉXICO, D.F.



2005

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

m349000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M. en C.. Hugo Rubén Carreño Ortiz
VOCAL: M. en C. Francisco Javier Casillas Gómez
SECRETARIO: Q.F.B.. Agustín Reyo Herrera
1er. SUPLENTE: Q.F.B. Juan Diego Ortiz Palma Pérez
2do. SUPLENTE: Q.F.B. Patricia Severiano Pérez

Sitio donde se desarrolló el tema: UNAM; Facultad de Química, Laboratorios de alimentos 4-A y 4-B

ASESOR DEL TEMA



Q.F.B. AGUSTÍN REYO HERERA

SUSTENTANTE



JOSE ADRIAN ZENDEJAS CRAVIOTO

Esta tesis está dedicada a:

Dios, entre otras cosas, por haberme concedido llegar hasta final el final de este capítulo de mi vida.

De manera muy especial a mi gran amigo y asesor, el Q.F.B. Agustín Reyo Herrera.

La Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a todo su personal docente, administrativo y trabajador.

El ejemplo del gran químico francés Louis Pasteur.

Mi amada madre, la Lic. María Emma Cravioto Manzano

Mi querido hermano y compañero, el Ing. Sergio A. Zendejas Cravioto

Mi gran consejero, el Lic. Gabriel Montes de Oca Paz

Mi adorada hija, Valentina Zendejas Ruíz

La memoria de mi padre, el M.V.Z. Sergio José Luís Zendejas Cendejas

Mis tíos, el Dr. Adrián Cravioto Manzano y Sra. Leticia Villanueva de Cravioto

Dr. Adrián Cravioto Villanueva y Familia

Sra. Guadalupe Díaz Ordáz Borja

Sra. María Luisa Sánchez Torres

Lic. José Manuel Cuervo Escalona y Familia

Antonio Manzo Rojas y Familia

Lic. Rafael Jiménez Padilla y Familia

Ing. Julio del Río Migueles y Familia

Jorge Reyes Torres y Familia

Juan Ignacio Villamar Cruz y Familia

Lic. Jorge Romero Díaz y Familia

Adolfo Ruiz García y Familia

Javier y Elizabeth McDowell

Lic. Guillermo Vázquez de la Cruz y Familia

Ing. Miguel Angel Hidalgo Torres

Familia Ruíz Millán

Familia Suberza Borrás

Familia Arcaráz López

A mis compañeros y amigos:

Héctor García, Javier Rodríguez, Mauricio Ruíz, Gerardo Acosta, Arturo Ruíz, Erika Martín, Sergio Ríos, Adolfo Castro, Carlos Carreón, Norma Pacheco, José Luís Guerra, Liliana Anchondo, Ursula Mejía, Martha Miralles, Arisaí González, Tayde Rojas, Juan Carlos Hernández, Karla de la Fuente, Norma Solórzano, Jesús y Josefina Gracia, Fabián Caloso, Iliana Zaldivar, Cristóbal Rivero.

A la inspiración musical de:

Tom Waits, Scott Weiland, Robert Plant, Jimmy Page, Robert Smith, Roger Waters, David Gilmour, Carlos Santana, John Lennon, Paul McCartney, Mick Jagger, Keith Richards, Jim Morrison, Eric Clapton, Stevie Ray Vaughan, Joe Satriani, Robert Johnson, Bob Marley, David Bowie, Danny Amis, y al imborrable recuerdo y añoranza de Rock 101.

A la producción cinematográfica de:

Stanley Kubrick, Alan Parker, Francis Ford Coppola, David Fincher y Sam Mendes.

A Las lecturas de:

Charles Bukowsky, William S. Burroughs, Jack Kerouack, Robert Louis Stevenson, Gary Jennings, Carl Sagan, Stephen Hawking, Arthur C. Clarke e Isaac Aasimov.

Al legado escultural y espiritual de Alexander Calder.

Todos los mencionados me ayudaron a saber y entender quien soy y quien seré hasta el ultimo de mis días.

Gracias a todos.

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCIÓN	6
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	
Generales	8
Específicos	8
Capítulo 1. ANTECEDENTES	9
1.1 Técnicas de escaldado	9
1.1.1 Escaldado tradicional. Fundamentos y equipo.	11
1.1.2 Escaldado por microondas	15
1.2 Indicadores y compuestos relacionados a la inactivación enzimática	20
1.3 La manzana (<i>Malus pumila</i>) en México	23
1.4 La tecnología de microondas	26
1.5 Aplicación de las microondas en la industria de alimentos	32
1.6 Fundamentos del calentamiento por microondas.	38
Capítulo 2. METODOLOGÍA	43
2.1 Diagrama General de trabajo	43
2.2 Determinación de las características del horno empleado.	43
2.3 Caracterización del horno de microondas	45
2.4 Determinación cualitativa de la inactivación de la peroxidasa.	45
2.5 Determinación cuantitativa de la inactivación de la peroxidasa	46
2.6 Determinación de la vitamina C	46
Capítulo 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
3.1 Calibración del horno de microondas	48
3.2 Determinación cuantitativa de inactivación de peroxidasa	51
3.3 Cuantificación de vitamina C	52
3.4 Análisis estadístico	52
3.5 Análisis sensorial	59
ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
CONCLUSIONES	67
ANEXOS	68
BIBLIOGRAFÍA	71

INTRODUCCION

La operación de escaldado es el tratamiento previo a los procedimientos de conservación por calor, congelación, deshidratación o liofilización al que se someten las frutas y hortalizas. Los dos procedimientos tradicionalmente empleados son el escaldado por inmersión en agua caliente y la aplicación de vapor directo (Fennema, 1985).

Se realiza este tratamiento previo a estos procesos para la inhibición de las enzimas que se encuentran de origen en los productos vegetales y que ocasionan deterioros a las características originales del producto.

Los métodos de escaldado tradicionales tienen algunas desventajas que se encuentran relacionadas principalmente con la lixiviación de los compuestos nutricionales solubles en agua como azúcares, minerales y se presenta también una disminución o pérdida de vitaminas debido al incremento de la temperatura. El tratamiento por microondas para escaldado representa muchas ventajas además de la preservación, en gran medida, de las características tanto nutricionales como sensoriales para dichos productos en comparación a los métodos tradicionales.

Existen en la bibliografía diferentes investigaciones de métodos para evitar el oscurecimiento enzimático de la manzana entre los cuales se puede mencionar la aplicación de aditivos como los sulfitos. Sin embargo los productos sometidos bajo este tratamiento muestran una serie de inconvenientes, entre los cuales se pueden mencionar desde la aplicación de compuestos químicos hasta la manifestación de alergias en personas que son sensibles a los sulfitos y sus derivados. En el caso de procedimientos de escaldado por inmersión en agua caliente o aplicación directa de vapor, previos a la congelación de productos vegetales se ha reportado que existe una disminución de las propiedades sensoriales de los productos, sin mencionar nuevamente las nutricionales.

La posibilidad de la aplicación de microondas para efectuar el tratamiento de escaldado ofrece ventajas en comparación con los métodos tradicionales tanto en la calidad final de los productos, el proceso en general, el impacto ambiental y otras que se mencionarán a lo largo del presente trabajo.

JUSTIFICACIÓN

- Factores económicos

La aplicación de nuevas tecnologías como las microondas, al ser una alternativa en la utilización de recursos energéticos, ofrecen en un plazo razonable un ahorro sustancial para las empresas que utilizan el calor como parte del proceso de manufactura; eliminando la utilización y por lo tanto, el creciente costo de materiales energéticos, como los combustibles fósiles. Esto, una vez transcurrido cierto plazo podrá absorber el relativamente alto costo de los equipos, tomando en cuenta que los equipos térmicos, calderas, tanques, tubería, drenajes y todo lo relacionado con la aplicación tradicional de la técnica de escaldado de productos vegetales también representa altos costos. Además de tomar en cuenta que la calidad tanto nutricional como sensorial de los productos finales los hace más deseables que los que atraviesan los procesos tradicionales de escaldado. Finalmente, la posibilidad de ofrecer productos de temporal de calidad durante todo el año, gracias a la aplicación la tecnología de microondas ofrece mayores oportunidades de mercado para las empresas que la adopten

- Factores ecológicos

Del vertido de las aguas residuales en la industria alimentaria, la industria procesadora de vegetales es la que representa una demanda biológica de oxígeno más elevada (240-6000 ppm). Aproximadamente un 40% de dicho valor es producido por sustancias hidrosolubles provenientes de la operación de escaldado. La necesidad de reducir el vertido de aguas residuales y el nivel de contaminación de éstas, así como las pérdidas de nutrientes por lixiviación, está impulsando el estudio de otras alternativas para llevar a cabo el escaldado.

Sumado a esto, la generación de gases de emisión, tales como bióxido y monóxido de carbono, entre otros, por el uso de combustibles fósiles para calentar el agua utilizada dentro del proceso de escaldado.

La aplicación de microondas como parte de los procesos térmicos en la industria alimentaria ofrece una solución alternativa a la generación de aguas de desecho así como para la generación de los gases de combustión.

- Nivel de producción

Dentro de este aspecto es importante considerar el alto nivel de producción frutícola y hortícola con el que cuenta nuestro país. La aplicación de microondas, además de ser una tecnología limpia y efectiva, es de aplicación rápida; razón por la cual fácilmente se pueden procesar grandes volúmenes en poco tiempo, tomando en cuenta que los niveles de producción así como la variedad de productos vegetales susceptibles de aplicar esta tecnología son altos, las posibilidades de contar con altos niveles de producción son promisorias.

- **Materiales y equipo**
Los equipos generadores de microondas representan un alto costo en relación a los equipos tradicionales de transferencia de calor, no obstante representan muchas ventajas en comparación con lo que se utilizan tradicionalmente.

El uso de microondas ofrece una alternativa como fuente de calor debido a que su irradiación produce un calentamiento rápido y homogéneo de los alimentos, por lo cual, se reduce considerablemente el tiempo de escaldado conservándose en mayor grado las características originales del producto.

- **Producto final**
El escaldado tradicional da lugar a una disminución de sustancias nutritivas solubles como azúcares, aminoácidos, sales minerales, etc. y de sustancias termolábiles como ciertas vitaminas. Estas pérdidas se relacionan directamente con la técnica de escaldado empleadas y con las condiciones del producto (Morel, 1991).

La aplicación de microondas en la técnica de escaldado evita en gran medida un sobrecalentamiento de los productos, lo que evita la generación sabores cocidos, cambios en la textura y el color e incluso la preservación casi intacta de características nutricionales como lo son el contenido de vitaminas y azúcares presentes.

OBJETIVOS

Generales

- Determinar la conveniencia de la aplicación de la tecnología de calentamiento por microondas comparada con la técnica de escaldado tradicional en manzanas, extrapolable a otros productos vegetales que presenten oscurecimiento enzimático.

Específicos

- Cuantificar el grado de conservación de algunos nutrientes como ácido ascórbico (Vitamina C), así como el grado de inactivación enzimática y establecer como se modifican las características sensoriales de los productos escaldados por el método tradicional y el de microondas en manzanas troceadas

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Técnicas de escaldado

Escaldado.

La mayoría de los vegetales crudos pueden ser almacenados solamente por un tiempo reducido, aún a temperaturas de congelación (-20°C). Esto es por los cambios en la textura, color, sabor y calidad nutricional que ocurren por acción de varias enzimas que se encuentran aún activas.

Para prevenir la alteración enzimática y microbiana, los productos vegetales reciben un tratamiento térmico que inactiva las enzimas. Este proceso se denomina escaldado (Arthey, 1991).

La operación de escaldado consiste en exponer el producto a la acción del calor mediante una fuente de calor. Las condiciones del tratamiento tiempo/temperatura se encuentran relacionadas con el proceso de conservación empleado, con la fuente de calor a utilizar y con las características del producto: madurez, textura, tamaño, forma, conductividad térmica y niveles naturales en sus enzimas (Morell, 1991).

El escaldado como pre-tratamiento de un proceso de conservación, ha seguido el desarrollo que han sufrido dichos procesos. Philipon (1983) menciona que el escaldado de vegetales, previo a su secado, fue hecho en Inglaterra a principios de 1780. Más tarde, el escaldado fue introducido en la industria de enlatados y finalmente se aplicó para la conservación de productos a bajas temperaturas.

El equipo ordinario para llevar a cabo el escaldado, consistía de un recipiente lleno de agua, el cual se calentaba con vapor. El producto era transferido dentro del recipiente, por medio de un tornillo rotatorio. Esta metodología era relativamente barata en lo que se refiere a su instalación, pero daba como resultado una pérdida de nutrientes excesiva, una utilización ineficiente de la energía y baja productividad (Porsdal, 1986).

Dependiendo del proceso de conservación del producto, el escaldado tiene los siguientes objetivos:

- Inactivar las enzimas causantes de colores indeseables (por ejemplo, el oscurecimiento) así como sabores indeseables durante el almacenamiento.
- Extraer los gases ocluidos en los tejidos de tal forma que la oxidación durante el almacenamiento sea reducida.
- Contraer y dar flexibilidad al producto.
- Reducir la carga microbiana.
- Darle a los productos un color más vivo.
- Limpieza y eliminación de olores y sabores extraños.
- Reducir el tiempo de cocimiento del producto terminado (Porsdal, 1986).

El escaldado también presenta algunos efectos no deseables sobre el producto, como son:

- Pérdida parcial de textura.
- Pérdidas parciales en color, sabor y calidad nutricional.
- Formación de un sabor a cocido.
- Algunas pérdidas de sólidos solubles (especialmente en el escaldado por inmersión en agua).
- Impacto en el ambiente por la gran utilización de agua y energía (Williams et al., 1986).

Las pérdidas que se tienen en la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos, como resultado del tratamiento térmico, se aceptan, ya que de no ser inactivadas las enzimas durante dicho tratamiento, se tendrían pérdidas aún mayores de las características originales de los productos.

Una operación eficiente de escaldado debe cumplir con los siguientes puntos:

- Distribución uniforme del calor en las porciones individuales del producto.
- Tiempo de escaldado uniforme en todas las unidades del producto.
- Alto rendimiento y calidad de éste.
- Evitar que el producto se dañe, ya sea durante el escaldado y/o cocimiento.
- Bajo consumo de energía y agua.
- Equipo con diseño confiable, con capacidad de efectuar operaciones continuas y que sea fácil y rápido de sanitizar.

La maquinaria destinada al escaldado de los vegetales ha sido modificada en los últimos años para reducir el costo de energía utilizada en el tratamiento y la cantidad de efluente que debe ser tratado. Generalmente se utiliza vapor y agua próxima al punto de ebullición como medio para el calentamiento.

Recientemente se han utilizado y puesto en práctica algunas técnicas más avanzadas que mejoran la eficacia, o bien son más adecuadas para determinados tipos de productos. Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:

1.1.1 Escaldado tradicional. Fundamentos y equipo

ESCALDADO CON AGUA

Este procedimiento es el más empleado en la actualidad, consiste en sumergir las frutas y hortalizas, enteras o troceadas, dentro de un baño de agua caliente. El tiempo y la temperatura del tratamiento dependen del tipo y tamaño del producto, oscilando normalmente de 3 a 10 minutos y 85 a 100°C.

Las técnicas más empleadas para este tipo de escaldado varían según las industrias y las firmas diseñadoras y constructoras de maquinaria. Se puede realizar por cargas o lotes, lo cual es poco frecuente hoy en día, mediante cestas perforadas que pasan por el baño, manteniendo dentro de éste al producto durante un tiempo determinado (Fig. 1). Existen en el mercado también escaldadoras de bandas en las que el producto avanza sumergido en el agua de forma continua (Fig. 2). El tiempo y la temperatura se controlan automáticamente, permitiendo ajustar rápidamente las condiciones para cada producto (Morell, 1991).

La maquinaria más común para realizar el escaldado con agua es el escaldador de cinta, que en su forma más simple consiste en un transportador de tornillo en un depósito lleno de agua caliente. Los vegetales atraviesan el agua sobre el transportador de tornillo, que controla el tiempo de permanencia y después enfría el agua. La operación de escaldado debe completarse con el enfriamiento del producto, para evitar la sobrecocción del mismo y el posible desarrollo de bacterias termófilas (Fig. 2).

Las principales ventajas de este escaldado son:

- Es muy sencillo de controlar técnicamente.
- Tiene un mejor control de la oxidación del producto, mediante el empleo de aditivos al baño, tales como los sulfitos.
- Elimina olores y sabores extraños.
- Aporta limpieza al producto.
- Existe diversidad de equipo.

Entre los inconvenientes más importantes se encuentran:

- Pérdida de sustancias nutritivas hidrosolubles: azúcares, sales minerales, vitaminas, etc.
- Contaminación de las aguas residuales por aumento de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en las mismas.
- Requiere la remoción periódica del agua del baño para evitar la contaminación microbiana del producto y la aparición de sabores y olores extraños (Morell, 1991).

EQUIPO UTILIZADO

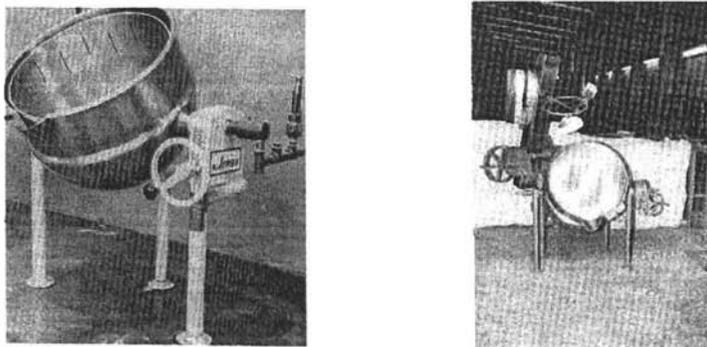


Fig.1 Marmitas de volteo

ESCALDADO CON VAPOR

Este sistema se emplea principalmente en las industrias de congelación y deshidratados (Morell, 1991).

Los escaldadores de vapor consisten en una cinta transportadora de tela metálica, en donde se coloca el producto, éste atraviesa una cámara de vapor cerrada, la cual se mantiene a una temperatura y presión determinadas. Este tipo de escaldadoras han sido sustituidas por escaldadoras de mayor eficacia, en donde el vapor se encuentra en un medio cerrado (Arthey, 1991).

Lazar y col., han propuesto un tipo de escaldador llamado *Individual Quick Blancher* o IQB (Escaldador Rápido Individual). En el sistema de IQB, las piezas de frutas o vegetales se extienden en una capa fina sobre una cinta de malla metálica, que moviéndose rápidamente, atraviesa una cámara de vapor en donde son rociadas por el vapor. Resultan índices máximos de calentamiento por la exposición completa de cada pieza individual al vapor y por consiguiente, resulta más rápido que en otros sistemas en los que tienen que ser calentados trozos de vegetales formando varias capas. Después de la corta exposición al vapor y antes de que las partes exteriores de los vegetales lleguen a sobrecogerse, el producto calentado, se transfiere a otra cinta que se mueve más lentamente, a través de una cámara aislada, donde se forma una capa más gruesa de porciones de vegetal. El tiempo que permanecen bajo condiciones adiabáticas da como resultado equilibrar la temperatura en el producto, la cual es la temperatura necesaria para inactivar las enzimas. El proceso de IQB ofrece la ventaja de que requiere un 90% menos de vapor y produce un 90% menos efluente que un escaldador con agua.

Entre las ventajas del escaldado con vapor están:

- Reducción de las pérdidas de componentes solubles.
- La humedad es menor que en el escaldado con agua.
- Menor contaminación de aguas residuales que en el escaldado con agua.

Los inconvenientes del escaldado con vapor son:

- Dificultad en su regulación.
- Sobrecocción y falta de uniformidad de los productos (Morell, 1991).

EQUIPO UTILIZADO

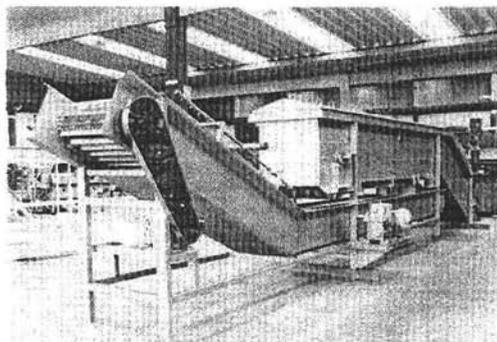


Fig. 2. Escaldadora a vapor

ESCALDADO CON VACIO Y VAPOR

Los vegetales se introducen en un cocedor cónico que inicia una rotación lenta según va descendiendo la presión hasta 10 kPa, aproximadamente. El vacío se interrumpe con vapor saturado y el recipiente alcanza la presión atmosférica que se mantiene durante un minuto. Los vegetales son refrigerados posteriormente al vacío mediante una nueva reducción de la presión en el interior del recipiente. El líquido presente en el recipiente hierve al descender la presión y enfría a los vegetales (Arthey, 1991).

Este tipo de escaldado se utiliza comercialmente en la industria de productos vegetales congelados y también en la industria procesadora de hongos, ya que este producto se encoge menos que cuando se escalda con agua.

Las ventajas de este tipo de escaldado son:

- Calentamiento rápido del vegetal mediante la condensación del vapor y la consiguiente liberación en los tejidos vegetales.
- Se consigue una textura más consistente en los vegetales escaldados, obteniéndose productos congelados de calidad superior.

- El sistema es eficaz en cuanto a energía y efluente.

Las limitaciones de este tipo de escaldado son:

- El sistema solamente puede practicarse sobre productos de pequeñas proporciones.
- Es necesaria una bomba de vacío eficiente para reducir la presión, la cual puede resultar muy costosa (Arthey, 1991).

ESCALDADO EN EL ENVASE

Para evitar los daños que pueda ocasionar al producto el movimiento durante la operación de escaldado y después del mismo, se han estudiado algunos métodos para realizar esta operación con el producto ya colocado dentro de los envases (Fig. 3).

El escaldado consiste en calentar con la llama aplicada directamente sobre el envase, durante unos 3 ó 4 minutos, los botes con el producto, con una cantidad pequeña del líquido que funciona como vehículo y semicerrados.

El calentamiento produce, a partir del pequeño volumen de líquido, una atmósfera de vapor que escalda el producto y elimina el aire a través de la abertura que deja el semicierre. Inmediatamente se procede a cerrar el envase y a la esterilización. Este procedimiento de escaldado puede aplicarse a vegetales en cubos o troceados (Morell, 1991).

Las ventajas del escaldado en el envase son:

- Carencia de efluente procedente del escaldado.
- Reducción considerable del arrastre de nutrientes de los vegetales hacia el reducido volumen de vehículo contenido en la lata (Arthey, 1991).

Las desventajas son:

- Es útil solamente para vegetales de proporción pequeña.
- Solamente es útil para conservas que requieren una cantidad mínima de vehículo.

EQUIPO UTILIZADO



Fig.3. Marmita fija

1.1.2 Escaldado por microondas.

FUNDAMENTOS, PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y EQUIPO

En el escaldado por microondas, contrariamente a lo que ocurre en el escaldado con vapor o agua, el calentamiento se inicia en la zona central del producto, generándose el calor rápida y uniformemente a través de la masa.

Las microondas se adaptan especialmente al escaldado de frutas y hortalizas sin las pérdidas por lixiviación que causan el agua caliente o el vapor; tampoco se cuece excesivamente el exterior antes de lograr la inactivación de las enzimas del núcleo central (Potter, 1978).

Los primeros experimentos se llevaron a cabo en 1945 por Mayer y Stotz, que utilizaron frecuencias desde 7 hasta 150 MHz, compararon la retención de Vitamina C en la col escaldada por microondas a 150 MHz, con agua caliente y con vapor, encontrando una pérdida de vitamina C de 3, 4 y 32%, respectivamente.

Samuels y Wiegond en 1948, experimentaron con maíz y hubo una retención de Vitamina C en proporciones semejantes a los resultados obtenidos por Mayer y Stotz. En este mismo año, Proctor y Goldblith reportaron su trabajo a 3,000 MHz, haciendo mediciones de Vitamina C en chícharos, zanahorias y espinacas, que fueron escaldados en bolsas termoplásticas y encontraron que no había o había poca pérdida de vitamina C, asumiendo que el vapor generado dentro de la bolsa inactivó las enzimas de la superficie.

En 1963 se realizó un estudio anónimo de escaldado de elotes por microondas a 915 MHz, empacados en bolsas de plástico, requiriendo 40 segundos, comparado con el

tiempo requerido en el escaldado con agua de 10 minutos o más para la total inactivación de enzimas. En este largo tiempo de calentamiento, el maíz sufrió una sobrecocción. Jeppon en 1964, recomendó una atmósfera de vapor en combinación con la energía de microondas para el escaldado continuo de vegetales.

En 1970, un grupo de investigadores de la USDA (United States Department of Agriculture) estudiaron el escaldado continuo de maíz por microondas a 915 MHz. Escaldaron también el maíz con vapor y con agua caliente para tener un punto de comparación. En sus resultados encontraron que se requerían 6 minutos para la inactivación enzimática por microondas comparado a 20 minutos en agua o vapor. También observaron que se obtiene una inactivación satisfactoria, así como un producto muy similar al que se obtiene en el escaldado por microondas, con una combinación de microondas-agua, requiriendo en este caso 4 minutos en agua, seguido de 2 minutos en microondas.

Decareu en 1980, hizo un estudio de escaldado por microondas en bolsas de plástico de papas peladas. Encontró que inmediatamente después del calentamiento con microondas, el producto debe ser enfriado para evitar un calentamiento adicional. En estas condiciones se obtiene un producto crudo, con una vida media de almacenamiento mayor a la que se tiene con el producto no escaldado; además se conserva el color, sabor y textura de las papas originales, dando papas de mejor calidad después de su procesamiento (Decareau, 1980).

Las ventajas del escaldado por microondas son:

- Se consigue obtener productos de textura más uniforme.
- Reducción del tiempo necesario para conseguir la inactivación enzimática, por lo que se evita el cocimiento de los productos.
- Reducción de espacio, por las menores dimensiones del equipo.
- Reducción de las pérdidas de los nutrientes hidrosolubles, así como aroma, sabor y color.
- Reducción de la contaminación por aguas residuales.
- Reducción de la utilización de la energía (Potter, 1978).

Las limitaciones del escaldado por microondas son:

- No es tan fácil de cuantificar el efecto de las microondas como cuando se aplican métodos que utilizan un tanque de agua hirviendo o una cámara de vapor.
- El equipo de microondas es más costoso, comparado al convencional (Chávez, 1990). Fig. 4.

EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESAMIENTO POR MICROONDAS

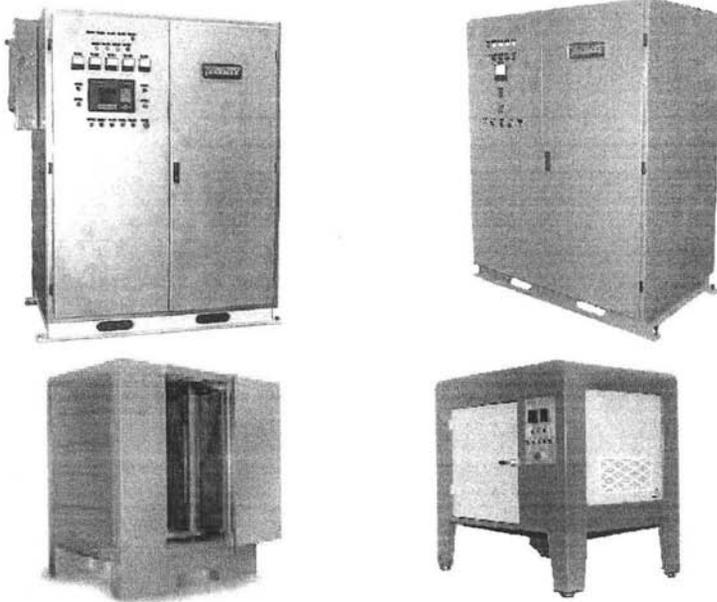


Fig. 4. Hornos de microondas industriales

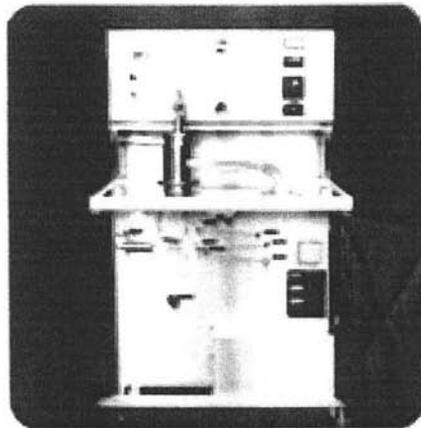


Fig. 5. Generador cilíndrico de microondas

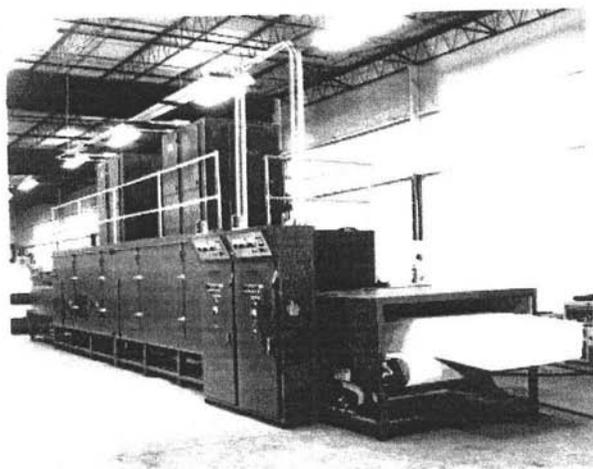


Fig. 6. Horno de microondas de banda

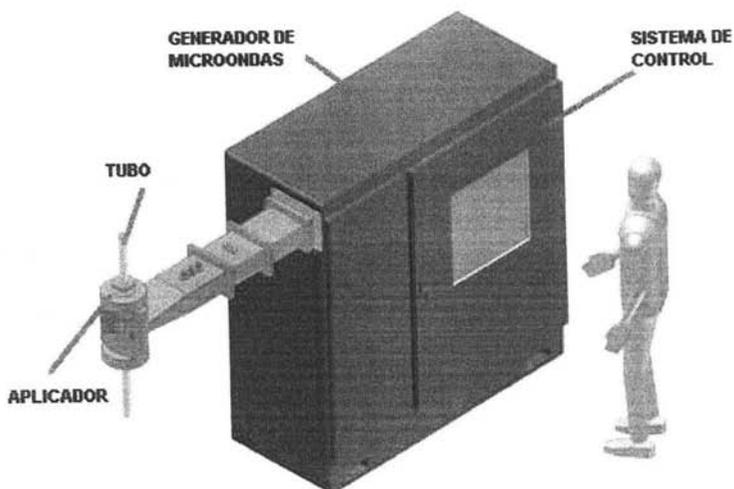


Fig. 7. Equipo industrial de generación microondas

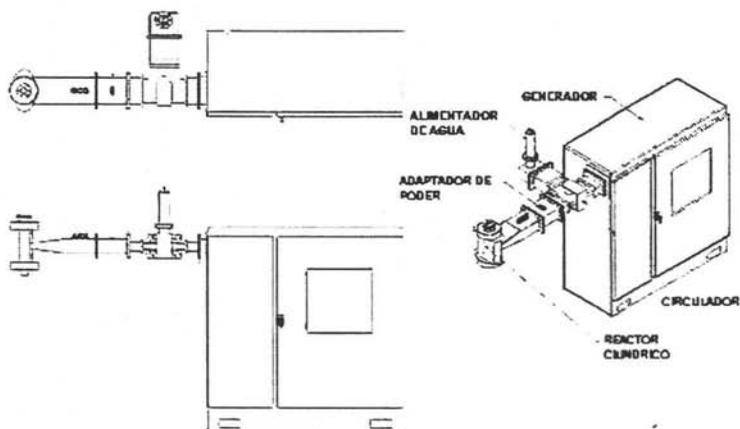


Fig. 8. Diagrama de aplicación de microondas

ESCALDADO CON GASES CALIENTES

En este sistema, los vegetales son calentados con una mezcla de vapor y de gases procedentes de quemadores de gas natural CO_2 y H_2O ; el producto es transportado mediante una cinta de malla de acero inoxidable.

Las ventajas que representa el escaldado con gases calientes son:

- Reducción de las aguas residuales.
- Reducción de la demanda biológica de oxígeno de las mismas.
- Textura más firme del producto.
- Menor gasto de combustible.

ESCALDADO EN LECHO FLUIDIZADO

Mitchell desarrolló un nuevo sistema de escaldado por lecho fluidizado. El procedimiento consiste en mantener el producto en suspensión en el escalador, por medio de una corriente de vapor de agua y aire a temperatura de unos 100°C . El producto se comporta como un fluido y el calentamiento se realiza de manera uniforme en unos 45-50 segundos.

El procedimiento se ha aplicado con éxito para escaldar chícharos, sin embargo, presenta inconvenientes técnicos para los productos que no tienen forma esférica y son de pequeño diámetro (Morell, 1991).

1.2 Indicadores y compuestos relacionados a la inactivación enzimática

ENZIMAS RESPONSABLES DEL DETERIORO DE LA CALIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE LOS PRODUCTOS VEGETALES

Existen diversos grupos de enzimas, que son las principales responsables del deterioro de la calidad en el almacenamiento de los vegetales no escaldados (Tabla 1).

Tabla 1. Enzimas presentes en vegetales que pueden contribuir a la pérdida de calidad de los mismos durante el almacenamiento.

ENZIMA	ALTERACION	REACCION QUE CATALIZA
Acido ascórbico oxidasa	Valor nutritivo	Oxidación del ácido ascórbico a ácido dehidro-ascórbico en presencia de oxígeno.
Celulasa	Textura	Hidrólisis de la celulosa.
Clorofilasa	Color	Desdoblamiento de la clorofila.
Hidroperoxidasa liasa	Sabor	Desdoblamiento de los productos de la reacción de la lipoxigenasa a aldehídos y otros compuestos.
Isomerasa	Sabor	Isomerización de los productos de actividad de la hidroperoxidasa liasa.
Lipoxigenasa	Sabor, color y valor nutritivo	Oxidación de ácidos grasos insaturados a hidroperóxidos y radicales hidroperóxidos en presencia de oxígeno.
Pectinasas	Textura	Hidrolizan la pectina a ácido glucónico y galacturónico.
Peroxidasa	Color y valor nutritivo	Oxidación de compuestos fenólicos a quinonas y otros productos en presencia de peróxido de hidrógeno.
Polifenol oxidasa	Color y valor nutritivo	Oxidación de compuestos fenólicos a quinonas y otros productos en presencia de peróxido de hidrógeno.
Tiaminasa	Valor nutritivo	Degradación de la vitamina B1.

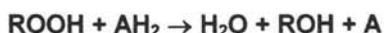
Para obtener las condiciones de escaldado, el tiempo y la temperatura deben ser seleccionados de tal forma que las enzimas responsables del deterioro de la calidad de los vegetales sean completamente inactivadas. En la práctica se selecciona solamente una clase de enzimas, cuya actividad o inactivación sea el índice de que se ha llevado a cabo un escaldado adecuado; evitando así la necesidad de estudios prolongados y costosos para medir la actividad de varias enzimas.

En la década de los 30, la catalasa fue introducida como la enzima indicadora de la eficiencia del escaldado. Esta enzima se presenta prácticamente en todos los vegetales, sin embargo, estudios realizados a finales de los años 40, demostraron que la catalasa no era adecuada para ser enzima indicadora, ya que, si bien es cierto, después de que la catalasa ha sido inactivada, la ácido ascórbico oxidasa, la clorofilasa, la lipoxigenasa y la polifenol oxidasa, son también inactivadas. Sin embargo, las pectinasas, así como la peroxidasa, pueden mostrar aún una actividad considerable (Williams et al., 1986).

Con tan sólo unas cuantas excepciones, la peroxidasa presente en todos los vegetales, es considerada como la "enzima indicadora universal" en el escaldado de vegetales, debido a que es la enzima más termorresistente, por lo que, si se inactiva, se asegura que el resto de las enzimas causantes del deterioro de la calidad de los vegetales también se inactiven; además, el método de detección de la actividad de la peroxidasa es un método fácil, rápido y confiable.

La peroxidasa es una enzima endógena presente en todos los vegetales superiores. De las peroxidases vegetales, la del rábano ha sido la más estudiada (Fennema, 1985).

Las peroxidases catalizan la siguiente reacción:



El peróxido (ROOH) puede ser peróxido de hidrógeno o un peróxido orgánico, como metil o etil peróxido de hidrógeno. En la reacción anterior, el peróxido se reduce al mismo tiempo que se oxida un receptor de electrones (AH₂). El receptor de electrones puede ser ascorbato, fenoles, aminas u otros compuestos orgánicos. En muchos casos, el producto de la oxidación es altamente coloreado, lo cual sirve para la valoración colorimétrica de la actividad de la peroxidasa (Fennema, 1985).

Las peroxidases son importantes desde el punto de vista de la nutrición, color y sabor. Por ejemplo, la actividad de la peroxidasa es capaz de producir la destrucción oxidativa de la Vitamina C. Asimismo se ha demostrado que la peroxidasa cataliza la decoloración de los carotenoides en ausencia de ácidos grasos insaturados y la decoloración de las antocianinas. La peroxidasa cataliza la degradación peroxidativa de los ácidos grasos insaturados y con ello origina carbonilos volátiles que contribuyen al desarrollo de un sabor a rancio (Fennema, 1985).

Otras enzimas también son usadas como indicadoras de la eficiencia del escaldado, aunque en muy pocos casos, por ejemplo, la polifenol oxidasa para la prevención de colores indeseables en frutas; la poligalacturonasa para la prevención de la pérdida de consistencia de tomates y papas; la lipoxigenasa y las lipasas en productos de cereales, para la prevención del desarrollo de sabores indeseables en el chícharo. Cuando se utiliza dicha enzima como índice de la eficiencia del escaldado, resulta un ahorro de energía y se obtienen productos de mayor calidad, al ser menos

termorresistentes que la peroxidasa. En general, estas enzimas son menos termoestables que la peroxidasa.

PÉRDIDA DE NUTRIENTES DURANTE EL ESCALDADO

Cabe mencionar que resulta inevitable la pérdida de algunos nutrientes durante el escaldado. La Vitamina C es tanto hidrosoluble como termolábil y algunos investigadores la han utilizado como indicador cuando determinan los efectos del escaldado sobre los vegetales. Selman y Rolfe (1982) cuantificaron las pérdidas de vitamina C en chícharos escaldados a bajas temperaturas. Canet y Col., estudiaron la pérdida de vitamina C en papas escaldadas y encontraron que el escaldado con agua a 97°C durante 2 minutos reducía el contenido de vitamina C de 12.5 a 7.8 mg/100g. Tras la cocción, los contenidos en vitamina C de las papas crudas y escaldadas eran 7.4 y 6.8 mg/100g respectivamente (Arthey, 1991).

Guerrant y col. (1947) informaron sobre los efectos del escaldado con agua y vapor en maquinaria comercial sobre el contenido de vitamina C en chícharos, ejotes enteros y frijoles. Los resultados obtenidos con las espinacas indicaban amplias diferencias, ya que las hortalizas escaldadas con agua contenían menos de la mitad de vitamina C que los productos escaldados con vapor. Feaster y colaboradores (1949), trabajando con chícharos descubrieron que al prolongar el tiempo del escaldado con agua se incrementa la pérdida de vitamina C (Arthey, 1991).

Porsdal (1986) realizó un estudio con chícharos y observó que temperaturas superiores a 50°C y tiempos prolongados la pérdida de vitamina C se incrementó. Una manipulación cuidadosa es recomendable para disminuir las pérdidas durante el escaldado, porque los daños físicos conducen a un aumento en la pérdida de nutrientes solubles y en la oxidación del ácido ascórbico.

1.3 La manzana (*Malus pumila*) en México

La manzana ocupa en nuestro país un lugar importante, se coloca en el sexto lugar en producción con el 4.2 % del volumen total de los productos frutícolas, se encuentra dentro de las frutas más consumidas con 6.5 Kg. por persona al año y primer lugar en las importaciones de este rubro.

De acuerdo a la forma de consumo se pueden distinguir tres grupos: manzanas para mesa, para cocinar, y para la obtención de productos agroindustriales (sidra, jugos, deshidratada, concentrado, etc.)

En el aspecto de producción comercial, las variedades que destacan en nuestro país son: *Red Delicious*, *Golden Delicious*, *Rome Beauty*, y en menor medida destacan las variedades *Gala*, *Winter Banana*, *Anna*, *Golden Dorset*, entre otras. En el caso de Chihuahua son en orden de importancia *Golden Delicious*, *Red Delicious*, *Rome Beauty* y *Gala*.

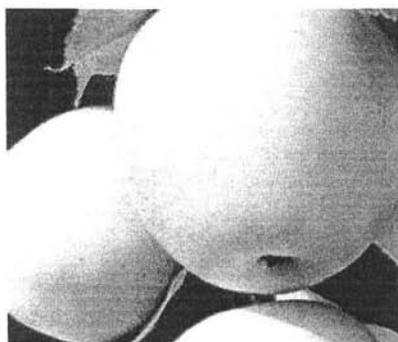


Fig. 9. Manzana winter banana

SUPERFICIE SEMBRADA Y COSECHADA

La manzana se cultiva en 23 estados de la república mexicana, entre los cuales cinco destacan por su participación, en superficie sembrada y cosechada con cerca del 80% del total nacional; siendo por orden de importancia: Chihuahua, Durango, Coahuila, Puebla y Zacatecas.

Chihuahua sigue manteniendo la supremacía, participa con el 34.91% de la superficie plantada; le sigue Durango, con 18.85% Coahuila con 13.72% Puebla con 9.49% Zacatecas 3% mientras que el porcentaje restante se ubica en el rubro "otros".

Cabe señalar que del total de áreas cosechadas el 62.61% corresponde a superficies de riego, mientras que el restante a temporal.

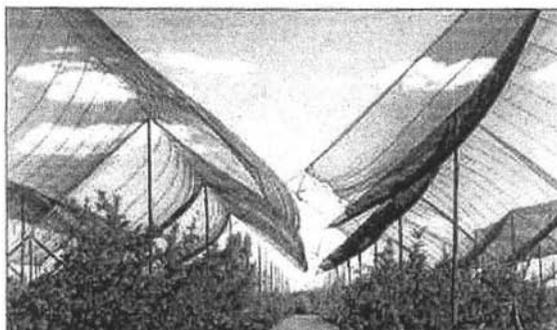


Fig. 10. Cultivo de manzana

Producción.

Analizando por año y de acuerdo a los datos disponibles el año 1992, fue el que registró una mayor producción con 512,320 ton., como resultado de los altos rendimientos que se obtuvieron (9.909 ton/ha). En contraste el año de menor producción fue el de 1995, con un volumen de 413,000 ton., como consecuencia de los bajos rendimientos y la distribución de la superficie sembrada, que ha sido la tendencia en los últimos años. (Tabla 2)

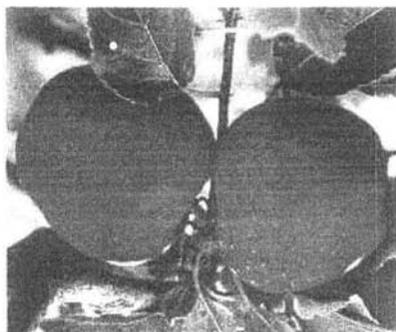


Fig. 11. Manzana red delicious

Consumo.

El consumo de la manzana en nuestro país es principalmente en fresco. Se considera que del total de la producción, abarca entre el 70-75%, mientras que el restante 30-25% es para uso industrial.

Resulta interesante apuntar que de estos derivados, la industria predominante es la que se refiere a la elaboración de jugos concentrados y congelados. En el caso específico del estado de Chihuahua, para 1994, la capacidad industrial instalada

permitió procesar un total de 73,700 toneladas anuales, lo que representó 15.11% del total de la producción nacional de manzana.

Costos de Producción.

Para efectos de este análisis, se considera como representativos los datos del estado de Chihuahua. Esta entidad tiene definidos los costos de producción de acuerdo a nivel tecnológico de las huertas, determinado por la infraestructura con que cuenta, sistema de riego, malla antigranizo, calefacción, y rendimientos.

Tabla 2. Evolución de la Producción de Manzana

AÑO	ESTADO DE CHIHUAHUA		NACIONAL	
	Toneladas	%	Toneladas	%
1989	200,000	32.16	421,744	67.84
1990	184,000	29.02	450,000	70.98
1991	205,000	29.92	480,150	70.08
1992	350,000	40.58	512,320	59.42
1993	210,000	30.56	475,000	69.44
1994	200,000	31.25	440,000	68.75
1995	230,000	35.76	413,000	64.24
1996	180,000	33.96	350,000	66.04
1997	260,000	37.14	440,000	62.86
1998	200,000	28.98	490,000	71.02

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

La otra parte importante de los costos, es la que se refiere a refrigeración, selección y clasificación, material de empaque, fletes y seguro de transporte por caja de manzana; y es donde el producto adquiere un costo adicional, que es pagado por los consumidores. En este sentido, se considera que este tipo de costos por caja de 19 kilogramos fue de \$45.00 en 1998 lo que indica que el costo adicional por kilogramo fue de \$2.37.

Almacenamiento Refrigerado.

El estado de Chihuahua cuenta con una capacidad de almacenamiento refrigerado para manzana y durazno de 224,446 toneladas; de las cuales 186,706 (83.2%), son de refrigeración convencional y 37,740 (16.8%) corresponden a atmósfera controlada (enero de 1999).

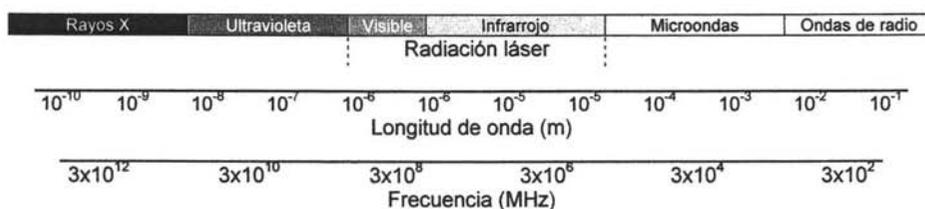
La refrigeración convencional permite el almacenamiento de la manzana hasta por seis meses, mientras que en el sistema de atmósfera controlada se puede extender hasta por un año.

1.4 La tecnología de microondas

Las microondas son una tecnología relativamente nueva, la cual comenzó en la década del 40 debido al desarrollo de los radares en la Segunda Guerra Mundial. Los primeros hornos de microondas fueron construidos y destinados a la industria, ciencia, uso médico, cocinado, descongelado o simplemente para obtener un calentamiento rápido (Greig, 1971).

Las microondas son energía electromagnética no ionizante que causan movimiento molecular por migración de iones y por rotación de dipolos, pero no causan cambios en la estructura molecular, por lo tanto, no existe la posibilidad de la formación de compuestos tóxicos o producción de reacciones diferentes a las producidas por cualquier otro medio de calentamiento. La longitud de onda de estas ondas electromagnéticas se encuentra entre 250 y 7,500 millones de Angstroms (Å), lo cual equivale a una frecuencia de 300 a 300,000 MHz. (Figura 12). Para la aplicación en alimentos, las frecuencias aprobadas son de 915 y 2,450 MHz.

Figura 12. Espectro electromagnético



Estas frecuencias las estableció la Federal Communications Commission y conforme a la International Radio Regulations adoptada en Génova en 1959. La frecuencia de 2,450 MHz es la que se utiliza comúnmente y la más utilizada en todos los hornos de microondas (Neas, 1988). La figura 13 ilustra la relación entre la frecuencia y la profundidad de penetración de las microondas en las muestras; la penetración en el agua es de cuatro pulgadas con 915 MHz y de una pulgada con 2,450 MHz.

La típica energía que se genera en un sistema de microondas es de 600 - 700 W; esto depende de la potencia que se utilice. En algunos hornos de microondas domésticos, se cuenta con la posibilidad de poder cambiar la potencia, dependiendo de las necesidades de calentamiento que se tengan. La potencia menor (potencia 1) equivale al 10% de lo que equivale la potencia mayor (potencia 10) y a las potencias siguientes

a la potencia menor, les corresponden incrementos subsecuentes del 10%, hasta llegar a la máxima potencia. Por ejemplo, si la máxima potencia de un horno es de 630 W, la mínima potencia (ajustable) será de 63 W y los incrementos serán de 63 W sucesivamente.

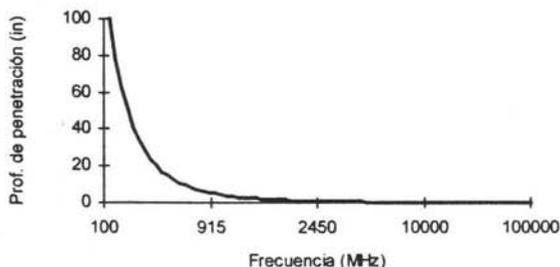


Figura 13. Variación de la penetración en el agua a 25°C.

PROPIEDADES DIELECTRICAS

La absorción de la energía de microondas, por parte de una muestra dada, se relaciona con sus propiedades dieléctricas, su tamaño y su forma; así como de las características de operación en el equipo.

Las propiedades dieléctricas de los alimentos reflejan su capacidad de almacenar y disipar la energía. El factor de disipación ($\tan \delta$) se refiere al factor de pérdida (ϵ'') entre su constante dieléctrica (ϵ'), es decir:

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

La constante dieléctrica (ϵ') mide la capacidad de la muestra de almacenar la energía eléctrica y el factor de pérdida (ϵ'') mide la capacidad de la muestra de disipar esa energía en calor. La palabra pérdida se refiere a la cantidad de energía de microondas que es convertida en calor (Neas, 1988).

Cuando la energía de microondas penetra una muestra, esta absorberá la energía de acuerdo a su factor de disipación. La penetración se considera infinita en materiales que son transparentes a las microondas y de cero en materiales reflejantes. Mientras mayor sea el factor de disipación, menor será la penetración de las microondas a una frecuencia determinada.

La profundidad de penetración a 915 MHz es más que el doble que a 2,450 MHz para productos que tienen valores de constante dieléctrica y factor de disipación semejante.

CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

Las microondas penetran en los alimentos uniformemente hasta una profundidad de varios centímetros. Las moléculas de agua y las otras moléculas polares tienden a alinearse con el campo dieléctrico, causando su movimiento molecular por rotación de dipolos y migración de iones, generándose fricción intermolecular que provoca rápidamente el calentamiento del alimento. Las microondas penetran uniformemente hasta una profundidad de varios centímetros (Potter, 1986) (Figuras 14a y 14b)

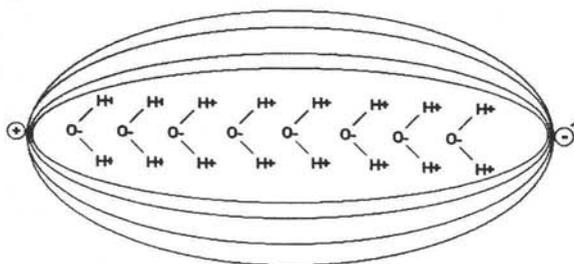


Figura 14a. Moléculas polarizadas alineadas con los polos del campo electromagnético.

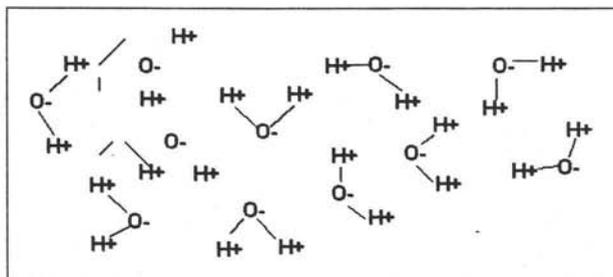


Figura 14b. Desorden térmico inducido cuando el campo electromagnético es removido.

El tiempo requerido para calentar una muestra, por ejemplo, agua, con calentamiento por conducción (tradicional) es mucho mayor que el que se requiere al calentar por microondas. Esto es debido a que en el calentamiento por conducción, primero se tiene que calentar el recipiente y después transferir el calor al agua, el cual no se transfiere de manera uniforme debido a la formación de corrientes de convección provocando gradientes de temperatura.

Si el calentamiento es realizado por microondas, éste se lleva a cabo de una manera uniforme y rápida a través de toda la masa, además el recipiente no se calienta.

El tiempo de calentamiento depende también de la muestra, conforme disminuye el tamaño de ésta, disminuye la cantidad de energía de microondas absorbida; sin embargo, si el tamaño de la muestra es muy pequeño, una gran cantidad de energía no será absorbida, sino reflejada, lo cual puede dañar al equipo.

EL HORNO DE MICROONDAS

El típico horno de microondas utilizado para calentar muestras consiste de seis principales componentes: el generador de las microondas, llamado Magnetron; el tubo guía de ondas; la cavidad del horno; el molinillo dispersor de ondas, un circulador y la tornamesa. La energía de microondas es producida por el magnetron, propagada por el tubo guía de ondas e introducida directamente dentro de la cavidad del horno, donde el molinillo dispersor de ondas distribuye la energía en varias direcciones (Fig. 15).

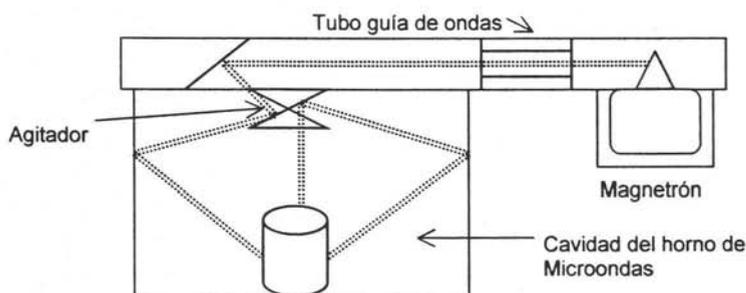


Figura 15. Esquema del horno de microondas

El magnetron

Un magnetron es una especie de tubo electrónico, dentro de un campo magnético que propaga energía radiante de alta frecuencia. La fuerza producida por los magnetrones de diferentes tamaños se mide en kilowatts. Un magnetron grande o varios más pequeños que trabajan juntos, calentará una cantidad determinada de alimento a una temperatura dada en un tiempo más breve del que requeriría un magnetron de menor tamaño a fin de obtener el mismo resultado (Potter, 1978).

En los hornos de microondas convencionales, la generación de microondas por parte del magnetron, es controlado por ciclos, para obtener un nivel medio de potencia. El rendimiento de cada ciclo del magnetron es el tiempo en que éste se encuentra dividido

por el tiempo base. Por ejemplo, un tiempo de calentamiento de 5 segundos con un tiempo base de 10 segundos equivale a un rendimiento de 0.5; del mismo modo, un tiempo de calentamiento de 0.5 segundos con un tiempo base de 1 segundo, tiene un rendimiento de 0.5. Así, para obtener una energía de 600 W, el magnetrón genera energía durante 0.5 segundos y no lo hace, es decir que permanece apagado, durante 5 segundos, este ciclo se lleva a cabo durante todo el tiempo de calentamiento. El tiempo base de los hornos de microondas analíticos es de 1 segundo (Neas, 1988).

El buen funcionamiento del magnetrón puede verse afectado cuando las microondas son reflejadas, esto puede ocasionar un sobrecalentamiento del magnetrón, una disminución de la energía que genera e incluso hasta su destrucción. Para evitar que el magnetrón se dañe, existen dispositivos que remueven la energía reflejada, manteniendo además su buen funcionamiento. Sin embargo estos dispositivos solamente son colocados en los sistemas de microondas para análisis, por lo que hay que evitar colocar materiales reflejantes como el metal en los sistemas de microondas domésticos.

El tubo guía de ondas

Las microondas generadas por el magnetrón, son introducidas a la cavidad del horno, por medio de una onda guía. Esta onda guía debe estar construida de un material que refleje las microondas, por ejemplo un metal.

El molinillo dispersor de ondas

Es una paleta en forma de agitador, utilizada para reflejar la energía que está entrando a la cavidad del horno por medio de la onda guía; de tal forma que el calentamiento de la muestra se lleve a cabo sin importar la posición de ésta dentro del horno.

La cavidad del horno de microondas

La energía de microondas que entra a la cavidad del horno, se refleja de forma constante de una pared a otra, el camino que sigue la energía está bien definido por caminos patrones que tienen un principio y un fin. La dirección y el número de caminos excitados en una cavidad de cierto tamaño son consideradas para la realización de un calentamiento uniforme.

Las muestras que se encuentran dentro de la cavidad del horno, absorben la energía incidente, la cual se va disipando conforme va interactuando con la muestra. Cuando una muestra tiene un factor de disipación bajo, las microondas continúan reflejándose hasta que encuentran el camino de regreso hacia el magnetrón.

Existen tres clases de materiales para la interacción con las microondas: reflectivos (metales), transparentes (bajas pérdidas) y absorbentes (altas pérdidas). Los recipientes donde se colocan las muestras que van a ser calentadas, deben ser de un material que sea transparente a las microondas, o bien, que absorba la mínima cantidad de energía, de tal forma que ésta pueda atravesar el recipiente y llegar íntegra a la muestra. El teflón y el poliestireno son excelentes materiales para ser utilizados en los recipientes para hornos de microondas, debido a que presentan un factor de disipación muy bajo; el nylon, al tener un factor muy alto de disipación, no es recomendable usarlo. Otros materiales que también son adecuados son el cuarzo, el vidrio y algunos plásticos, ya que son transparentes a la energía de microondas y son pobres conductores de calor, por lo que son buenos aislantes (Figura 15) (Neas, 1988).

Sistema de plato giratorio

La energía de microondas en los sistemas domésticos es no focalizada, lo que significa que la energía impacta en todos los ángulos existentes en la cavidad del horno y por lo tanto, dicha energía también impacta en todos los diferentes ángulos del recipiente que contenga a la muestra. Como ya se mencionó, el porcentaje de energía que absorbe la muestra, depende de su factor de disipación. Si se colocan dos recipientes dentro de la cavidad del horno, la posición que tengan los mismos, determinará el nivel de exposición de los recipientes a las microondas; por ejemplo, si un recipiente, de acuerdo a su posición, tiene una mayor exposición al camino patrón que siguen las microondas que el otro, habrá un calentamiento diferente en cada recipiente.

Para lograr una mayor uniformidad de calentamiento, cuando se introduce uno o más recipientes al horno de microondas, estos cuentan con un plato giratorio, el cual asegura que las muestras estén expuestas a la energía incidente, en todos sus ángulos. Estos platos pueden girar 360° en forma continua a una velocidad de 6 rpm, o bien, girar en forma alternada de direcciones a 180° (Neas, 1988).

Las puertas en todos los hornos de microondas domésticos, cuentan con ventanas que son opacas a la energía de microondas, pero transparentes a la vista para poder observar el contenido del horno. Dichas puertas al cerrarse se sellan (Chávez, 1990).

Una forma de garantizar la seguridad del horno de microondas en el usuario, es por medio de sus puertas; ya que si éstas no están bien cerradas y selladas, el magnetrón no produce la energía de microondas, y por lo tanto, no existe la posibilidad de que se pudiera escapar la energía fuera del horno.

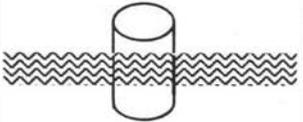
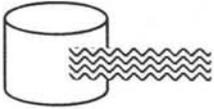
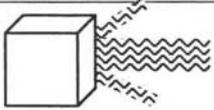
Tipo de material		Reacción con las microondas
Aislador		TRANSPARENTE Numerosos materiales son transparentes a la energía de microondas y no se calientan, pueden ser buenos aislantes.
Dieléctrico		ABSORBENTE Estos materiales absorben la energía de microondas y son calentados.
Conductor		REFLECTIVO Los materiales reflejan la energía de microondas y no se calientan

Figura 16. Interacción de diversos materiales con la energía de microondas.

Los hornos de microondas domésticos tienen diferentes capacidades y tamaños: por lo general, los hornos grandes tienen magnetrones de 700 a 750 W de potencia. Los medianos van de 600 a 700 W. Por último, los compactos varían entre 400 y 500 W de potencia. Cada marca es diferente en un mismo tamaño, puede superarse la velocidad de calentamiento hasta en un 30% (Chávez, 1990).

1.5 Aplicación de las microondas en la industria de alimentos

En muchos procesos industriales se ha investigado la posibilidad de utilizar en éstos las microondas, aunque no en todos se ha llegado a aplicar por diversos motivos (Chávez, 1990).

En los años 40's, se escribieron los primeros artículos sobre la aplicación de las microondas en la industria alimentaria y estos trataron sobre la destrucción de los microorganismos por microondas y sobre la descongelación de alimentos. En los años 60's, la investigación continúa y se introducen los primeros hornos en restaurantes (Silva, 1992). A finales de los años 60's y principios de los 70's, muchas compañías como Raytheon, Cifton Industries, Varian, Bechtel y Armour-Cryodry, así como otras más pequeñas, invirtieron una gran cantidad de dinero y de mano de obra para promover la nueva forma de calentamiento. Fue en este momento que surgieron una serie de problemas que no podían resolver, por lo que muchas compañías claudicaron en su intento por aplicar la nueva tecnología y lo único que quedó fueron las uniones de divisiones pequeñas de grandes compañías, y éstas son muy pocas en la actualidad.

Entre las principales ventajas que ofrece la aplicación de las microondas en la industria alimentaria están:

- El costo del proceso se reduce, ya estando en operación la tecnología.
- La calidad de los productos se mejora.
- El rendimiento es mayor.
- El producto final es más conveniente para el consumidor.

La aplicación de las microondas en la industria de alimentos ha tenido un desarrollo lento debido al alto costo de inversión que se debe tener, sin embargo, en los últimos años se han hecho más atractivas las microondas en la industria, por el incremento de costos de otras fuentes de energía como lo son el gas, petróleo, etc. (Silva, 1992; IFT, 1989). A pesar de esto, en la actualidad no existen muchas instalaciones de equipos de microondas en la industria alimentaria. Los principales fabricantes de equipos a nivel industrial son Estados Unidos, Francia, Suiza, Japón, Inglaterra y Alemania (Decareau, 1986).

Los procesos de alimentos en los que pueden aplicarse las microondas y que además existe información sobre el proceso y el equipo son:

Tabla 3. Principales aplicaciones de las microondas en la industria alimentaria (Decareau, 1986).

PROCESO	PRODUCTOS
Temperado	Carnes, pescado y aves.
Cocción	Tocino, pastel de carne, salchichas, papas, sardinas y pollo.
Secado	Pasta, cebolla, arroz, yema de huevo y botanas.
Secado al vacío	Jugo de naranja, granos y semillas.
Liofilizado	Carne, fruta y hortalizas.
Pasteurización	Pan y yogurt.
Esterilización	Alimentos empacados.
Horneado	Pan y donas.
Escaldado	Maíz, papas, frutas y hortalizas.

Los procesos que han tenido mayor éxito y que de hecho ya existen varias instalaciones operando en el mundo son el temperado de alimentos congelados, el precocimiento de derivados de aves y cerdos y el secado de pastas y cebollas. Existen otras aplicaciones que todavía no se han estudiado a fondo como son: eliminación de solventes, concentración y curado, entre otras.

TEMPERADO

El temperado es un descongelado de los alimentos, en donde se les lleva a una temperatura justo debajo de su punto de congelación, en donde aún está firme, pero no congelado. El proceso se termina a temperaturas de -4 a -2°C . Estas temperaturas son suficientes y presenta algunas ventajas como por ejemplo, la carne puede ser cortada, deshuesada o inyectada para curarse más fácilmente que si estuviera descongelada totalmente (Chávez, 1990).

El temperado con microondas presenta las siguientes ventajas:

- Se lleva a cabo en tiempo mucho menor que el descongelado convencional de los alimentos.
- Requiere menos espacio.
- Se evita la posibilidad de crecimiento bacteriano.
- Se evitan pérdidas por escurrimiento.
- No se generan cambios sensoriales.
- Evita tener que remover el empaque, haciendo más fácil el manejo de los alimentos.
- Se reducen los requerimientos de sanitización.
- Mínimas pérdidas de peso en el producto.
- Retención de los jugos naturales de los alimentos (muy importante en el descongelado de carnes).
- El trabajo se reduce, así como el espacio requerido para llevarlo a cabo.
- Uniformidad de la temperatura a través de todo el alimento (Decareau, 1986; Rosenberg, 1987).

Las frecuencias utilizadas actualmente son de 2,450 MHz y algunas veces 896 MHz en Europa y 915 en los Estados Unidos, La frecuencia más corta es la más adecuada para descongelar porque penetra a mayor profundidad que la frecuencia de 2,450 MHz (Rosenberg, 1987).

Actualmente, el temperado es un proceso utilizado en carne y sus derivados: pescado, aves, frutas y derivados.

COCCION

En 1986 se hizo la primera instalación de un sistema de microondas destinado para la cocción de alimentos. Se utilizó un frecuencia de 2,450 MHz y se llevó a cabo con ayuda de vapor.

Las operaciones de la cocción de los alimentos con microondas han tenido un éxito cada vez mayor en el precocimiento de tocino, carne y piezas de pollo. Se ha utilizado en combinación con aire caliente para remover la humedad y vapor saturado, para reducir las cuentas microbianas (IFT, 1989).

Las ventajas del cocinado con microondas son las siguientes:

- No se presenta una sobrecocción de los alimentos.
- Mayor rendimiento, por lo tanto, mayores ganancias.
- La calidad de los productos es excelente.
- Se reduce el tiempo de preparación final de los alimentos (Schiffman, 1992).

En 1973, Chen estudió la precocción de diferentes piezas de pollo en agua caliente y con energía de microondas. Determinó tiempos y temperaturas de precocción; el efecto de la cantidad de alimento en el calentamiento con microondas, el porcentaje de producción y la calidad sensorial. Todas las piezas de pollo precocidas con agua, tuvieron pérdidas significativamente más altas que las precocidas con microondas, en cuanto a sabor, jugosidad y suavidad.

Las frecuencias utilizadas para la cocción con microondas son de 2,450 MHz para productos de mayor grosor. Generalmente el proceso se combina con una forma de calentamiento convencional para desarrollar productos dorados y crujientes (IFT, 1989).

SECADO

La energía de microondas en el secado de alimentos hace que la humedad salga desde el centro hacia la superficie rápidamente. Las ventajas que ofrece este proceso sobre el convencional son:

- Menor espacio. La unidad de secado de microondas / aire caliente mide 8.25 metros de largo, mientras que el convencional mide 36.6 metros. Con el proceso de microondas es posible obtener 3 a 4 veces la velocidad de producción en el mismo espacio.
- Menor tiempo. El proceso con microondas toma una hora y media comparado con 8 horas del convencional; además se puede cambiar de producto en tan solo 15-20 minutos.
- Mejor calidad del producto. Los productos secados con microondas mejoran su color y su textura.
- Higiene. El sistema de microondas puede limpiarse en 6 horas-hombre, mientras que el sistema convencional requiere de 24 horas.
- Energía. Se requiere aproximadamente 20-25% menos energía con el proceso de microondas (Chávez, 1990; Decareau, 1989).

El secado con microondas se ha utilizado experimentalmente en muchos casos, pero no todos se han llevado a escala industrial. Actualmente, el secado con microondas se

usa para disminuir el tiempo de secado de pastas (en combinación con aire caliente para remover la humedad y así tener un producto menos duro de superficie; para secado de condimentos, arroz, botanas y tocino en trozos; secado en combinación microondas/vacío de jugos concentrados de frutas, semillas y granos (IFT, 1989; Decareau, 1986).

Los secadores al vacío con microondas se encuentran en uso actual en Francia, España, Estados Unidos, Alemania, Dinamarca, Brasil, Canadá, Islandia e Inglaterra (Decareau, 1986).

PASTEURIZACION

La pasteurización con microondas ha sido estudiada por diversos autores en una gran diversidad de alimentos. Algunos estudios se han realizado en hornos de microondas domésticos a frecuencias de entre 800 a 2,450 MHz y en general, las frecuencias utilizadas no exceden los 2,450 MHz. Esto se debe a que esta frecuencia es suficiente para destruir a los microorganismos, así como a las esporas de los mohos, sin la necesidad de usar conservadores. Algunos otros estudios se han enfocado a la aplicación directa en la industria (Rosenberg, 1987).

En 1967, Evans y Taylor pasteurizaron en el paquete pasteles en proporciones de 1 ton/hr utilizando un sistema con 25 Kw. A 896 MHz y los resultados fueron que se aumentó la vida de anaquel del producto 10 días más. El primer uso a gran escala de la pasteurización con microondas fue la pasteurización de rebanadas de pan empaquetadas en 1974.

La pasteurización con microondas ofrece ventajas sobre los métodos convencionales como son:

- Menor tiempo. Temperaturas de 75-85°C en un sistema de microondas se alcanza en unos pocos minutos.
- Algunos productos pueden tratarse de manera continua.
- Los alimentos pasteurizados por métodos convencionales pueden volverse a contaminar antes de ser empacados; en cambio, con las microondas pueden pasteurizarse ya empacados, por lo que el aire del interior del empaque también se pasteuriza.
- Mayor vida de anaquel de los productos.

Actualmente existen varias instalaciones de pasteurización con microondas de pan en Alemania y Suiza, la más reciente instalación se hizo en Dinamarca por los japoneses. Este mercado puede extenderse por las restricciones que existen en el uso de conservadores químicos de pan en toda Europa (Decareau, 1986).

ESTERILIZACION

El efecto de las microondas sobre los microorganismos es solamente térmico, el cual es menor que el del calentamiento convencional, porque el incremento rápido de temperatura no expone durante tiempo suficiente a los microorganismos a la temperatura letal para que resulte eficaz. Además, la temperatura del producto en la superficie es menor por el efecto de enfriamiento por evaporación. Esto se contrarresta, con excelentes resultados, envolviendo el producto en plástico, con lo que no se pierde el calor de la superficie y el calor generado se mantiene dentro, dando tiempo así, a que por convección, la temperatura del producto sea uniforme y suficiente para eliminar a los microorganismos presentes (Chávez, 1990).

Las investigaciones en esterilización con microondas se han desarrollado en los últimos 15 años. En 1970 se realizaron estudios para llevar a cabo la esterilización en bolsas de plástico bajo presión dentro de la cavidad y se obtuvieron productos con una calidad mayor comparada con los métodos de calentamiento convencional (Decareau, 1986).

En 1992, George estudió la esterilización de diferentes alimentos con microondas y dichos estudios los llevó a cabo en plantas piloto y a nivel industrial. Los resultados fueron satisfactorios, obteniéndose productos de gran calidad. Esta tecnología ha sido aplicada a comidas preparadas a base de pasta.

HORNEADO

Existe un número de informes de aplicación de microondas en la producción de pan, pizzas, pasteles, donas y galletas; teniendo el mayor campo de aplicación en la producción de pan. Los principales estudios se han hecho en Inglaterra (Decareau, 1986).

El calentamiento con microondas es generalmente combinado con un calentamiento convencional, ya sea simultánea o consecutivamente.

El horneado con microondas generalmente se lleva a cabo a frecuencias de 915 y 2,450 MHz, las frecuencias más bajas se recomiendan para una mayor penetración y evitar el riesgo de que el centro de los alimentos no sea bien horneado (Decareau, 1986).

El principal problema que existe en relación con el horneado por microondas es la falta de textura crujiente, así como del dorado de los alimentos, características que se desarrollan en el horneado convencional. Sin embargo, estas características se pueden desarrollar en un re-horneado con horno convencional por un corto tiempo, aproximadamente de 4 a 5 minutos a una temperatura de 200-300°C; o bien, existen actualmente en el mercado sabores y colores que se adicionan para simular el dorado de la superficie de los alimentos.

Entre las ventajas que presenta el horneado con microondas se encuentran:

- Se desarrolla un producto final con un mayor valor nutritivo respecto al horneado convencional.
- Se utilizan los mismos ingredientes que en el horneado convencional.
- Los tiempos requerido para el horneado se reducen a unos pocos minutos.
- El equipo de microondas requiere mucho menos espacio que el equipo de horneado convencional.
- Se requiere mucha menos energía que en horneado convencional.
- Mayor rendimiento (Rosenberg, 1987).

El proceso con microondas no es resultado del horneado comercial de pan, sin embargo, el proceso con 2,450 MHz es usado en varias localidades para la elaboración de pan (Decareau, 1986).

1.6 Fundamentos del calentamiento por microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas de muy corta longitud de onda, Dentro del espectro electromagnético, las microondas se encuentran entre las frecuencias televisivas y las infrarrojas. En términos de longitud de onda, las ondas de radio son medidas en kilómetros, las de televisión en metros, las microondas en centímetros y las infrarrojas en micrones. La longitud de onda y la frecuencia se relacionan por la siguiente expresión:

$$\text{Longitud de onda } (\lambda_0) = \frac{\text{Velocidad de la luz (c)}}{\text{Frecuencia (f)}}$$

Actualmente, la frecuencia de un horno de microondas casero es de 2,450 megahertz, la longitud de onda (λ_0) es de 12.25 centímetros por ciclo.

Las microondas, como otras ondas de energía, irradian de una fuente en todas direcciones. Estas ondas acarrear energía y la cantidad de esta energía depende de la cantidad de energía que se les imparte. La energía de las microondas proviene de energía eléctrica que es convertida por medio de una fuente de poder de alto voltaje, que a su vez es aplicada al bulbo de potencia de microondas o generador. El tipo de generador mas comúnmente utilizado en los hornos de microondas es denominado magnetron y envía su energía al aplicador, el cual puede ser un horno, una línea de ondas o algún otro artefacto que contenga el material a ser calentado.

Las microondas, así como la luz infrarroja o la visible, son reflejadas, transmitidas y absorbidas. Estas son reflejadas por las superficies metálicas, entonces el horno de

microondas es básicamente una caja metálica dentro de la cual las ondas se reflejan en las paredes y crean un sistema de resonancia.

Las microondas son transmitidas, es decir, atraviesan diversos materiales, incluyendo el cristal, cerámica, plástico y papel. Algunos materiales son parcialmente transparentes a las microondas, esto significa que absorben algo de la energía que es acarreada por la microondas. Cuando las microondas son absorbidas, la energía que éstas acarrearán es convertida en calor.

Los materiales que absorben las microondas convierten la energía en calor. En los alimentos, las moléculas polares son el elemento principal que interactúa con las microondas para la producción de calor. El agua es la molécula polar más comúnmente encontrada en los alimentos. En la presencia de un campo eléctrico de microondas, la molécula de agua intenta alinearse con el campo, muy similarmente a la manera que la limadura de hierro se alinea cuando se le aplica un campo magnético. A causa de que el campo de microondas revierte su polaridad miles de millones de veces por segundo, la molécula de agua, a causa de que se encuentra atrapada por la naturaleza del alimento que la contiene, solamente comienza a moverse en una dirección e inmediatamente debe moverse en la dirección opuesta. Al hacer esto, se extrae una considerable cantidad de energía cinética del campo de microondas y ocurre el calentamiento. Este fenómeno es similar al del calentamiento del cuerpo humano cuando éste es expuesto al sol o a cualquier otra fuente de calor. La energía, en forma de rayos infrarrojos provenientes del sol no es calor hasta que ésta es absorbida por un cuerpo y las moléculas polares dentro de las capas superficiales del cuerpo la convierten en calor.

La polarización de la carga espacial es un mecanismo igualmente importante para el calentamiento. Los iones, a causa del campo de microondas, son obligados a fluir en una dirección inicialmente e inmediatamente después en la dirección contraria, cuando el campo es revertido. El efecto de la conducción iónica puede ser observado en el calentamiento por microondas de agua salada, en la cual se encuentran temperaturas más altas en la superficie. La conducción iónica tiene un efecto negativo sobre la penetración de la energía de las microondas, entonces los alimentos con un alto contenido de sal muestran un mayor calentamiento de la superficie (Considine, 1982).

FACTOR DE PERDIDA DIELECTRICA

A causa de que la fuerza del campo (E) y la frecuencia son esencialmente constantes cuando el horno de microondas es utilizado, el factor de pérdida es la única variable. El factor de pérdida es el resultado de dos propiedades cuantificables: la constante dieléctrica y la pérdida de tangente. El factor de pérdida varía con la temperatura y la frecuencia y es un indicador de que la penetración de la energía de las microondas disminuye en relación a una pérdida dieléctrica (Considine, 1982).

EFEECTO DE DIVERSOS FACTORES FISICOS

En suma a las propiedades dieléctricas de los alimentos, existen ciertos factores que afectan el calentamiento por microondas. Entre estos factores se encuentran principalmente la geometría (forma), el radio superficie-volumen, el calor específico, la densidad, la conductividad térmica y el enfriamiento evaporativo. Estos son factores importantes en el procesado de los alimentos, así como del cocinado y calentamiento en hornos de microondas.

Geometría

La forma de los alimentos es un factor crítico para obtener un buen calentamiento por microondas. La forma geométrica ideal para esto es la esférica, ya que la energía tiende a enfocarse para calentar el centro de la misma. Obviamente que a medida que el diámetro se incrementa es más difícil generar calor en el centro, a menos que se haga por conductividad. El calor puede ser concentrado eficientemente en el centro de la esfera, mientras ésta tenga un diámetro de entre 2 y 6 centímetros. El cilindro es la siguiente forma que mejor concentra el calor en un horno de microondas.

Mientras que los alimentos con forma esférica son comunes (huevos, cebollas, tomates, papas, etc.), la mayoría de los alimentos en presentación para consumo no conservan la forma esférica. Esto quiere decir que en la gran mayoría de los alimentos es el contenedor el que determina la forma del alimento, afectando el calentamiento. Una de las formas más comunes entre los contenedores comerciales es la rectangular, pero es evidente que el alimento que se encuentra en las esquinas de un contenedor rectangular es el que absorbe mayor energía, por lo tanto mayor calentamiento, (incluso un sobre cocinado) y de manera más rápida que el resto del alimento dentro del contenedor.

Radio superficie-volumen

Sucede igual que con el calentamiento convencional, mientras mayor es el área de superficie, mayor será el calentamiento. Algunos vegetales tales como el maíz y los chícharos tiene una alto radio de superficie-volumen y se cocinan rápidamente. Esta condición significa también que los alimentos se enfriarán rápidamente. Esta es una consideración importante cuando se desarrollan nuevos productos y significa que, de ser posible, hay que disminuir el rango de enfriamiento, por ejemplo, utilizando contenedores insuflados o platos precalentados.

Calor específico

El calor específico de un material es el ratio de su capacidad térmica con relación al agua. Es una medida de la energía requerida para elevar la temperatura de algún material en una cantidad específica. El calor específico de un alimento se encuentra fuertemente relacionado a su contenido de humedad.

Densidad

Usualmente existe una evidente relación entre la densidad y el contenido de humedad. La conductividad térmica también entra al rol en el cual las dimensiones involucradas pueden significar un sobrecalentamiento sustancial de la superficie del alimento a causa de su densidad, mientras que para alimentos con estructuras más abiertas el grado de calentamiento no recae sobre la conductividad térmica al mismo grado.

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la cuantificación de la capacidad para transferir calor en respuesta a una diferencia de temperatura. Aún en el cocinado por microondas, ésta juega un importante papel en dar acceso de la naturaleza de penetración de la energía de microondas. Sin conductividad térmica se obtendrían diferencias de temperatura inaceptables en la mayor parte de los alimentos, ya sean cocinados por microondas o de manera convencional. Tales diferencias pueden ser minimizadas reduciendo el grado de calentamiento por microondas.

Temperatura inicial y final

El tiempo de calentamiento depende no solamente de nivel de potencia de las microondas, también depende del rango de temperatura que debe ser alcanzado para lograr el resultado deseado. Entonces, obviamente, los alimentos a temperatura ambiente se calientan más rápidamente que los refrigerados y estos, a su vez, mas rápidamente que los congelados.

Enfriamiento evaporativo

Este es un fenómeno que es mucho más evidente cuando se cocina con microondas. Este efecto es el responsable de la baja temperatura de superficie de algunos alimentos que han sido cocinados por microondas y, por ende, es responsable del mito de que las microondas cocinan de adentro hacia afuera. Por ejemplo cuando se introduce el alimento en un plato no precalentado, la irradiación de calor de la superficie del alimento es absorbida por el plato, ya que este no se calienta con las microondas,

sino por la irradiación de calor alcanzado por la superficie del alimento, ocasionando que la superficie pierda calor (Considine, 1982).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Diagrama general de trabajo



2.2 Determinación de las características del horno de microondas empleado

a) Calibración del horno de microondas empleado.

Con el fin de tener una estimación aproximada de la temperatura que se alcanza en el calentamiento por microondas, al variar la potencia y el tiempo se hicieron las curvas de calibración del horno de microondas con agua simple y con diferentes concentraciones de jarabes de sacarosa debido a que es común la utilización de este tipo de vehículos para productos de manzana y sus derivados. El procedimiento propuesto para evaluar la forma y tipo de calentamiento del horno de microondas con el que se contó es el siguiente:

- 1.- Colocar 150 ml de agua en un vaso de precipitados y calentar agua en el horno de microondas a cada una de las 10 diferentes potencias, desde uno hasta diez minutos.
- 2.- Medir la temperatura que alcanzó el agua con la ayuda de un termómetro, inmediatamente después de sacar el agua del horno.

3.- De igual forma, medir la temperatura que alcanzan 150 ml de los jarabes de 5,10 y 15%, en cada una de las potencias del horno a diferentes tiempos.

4.- Construir gráficas de tiempo vs. temperatura para cada una de las concentraciones utilizadas.

b) Determinación de la máxima potencia a la que trabaja el magnetrón del horno de microondas empleado.

Fundamento del método.

La energía de microondas generada por el magnetrón, es normalmente medida en Watts (1 W = 14.33 cal/min) y la potencia común de los sistemas domésticos de microondas fluctúa entre 600-700 W. La máxima potencia a la cual trabaja el magnetrón puede ser determinada indirectamente, con la medición del aumento de la temperatura de una cantidad determinada de agua, que sea suficiente para absorber toda la energía que entra en la cavidad del horno.

La ecuación general para evaluar la potencia máxima a la cual trabaja el horno es la siguiente:

$$P = \frac{C_p K \Delta T m}{t}$$

donde:

P = Potencia absorbida por la muestra.

C_p = Calor específico del agua.

K = Factor de conversión.

m = Masa de la muestra.

t = Tiempo.

T = Temperatura final - temperatura inicial del agua.

La validez de esta determinación depende del lugar de colocación del recipiente con agua dentro de la cavidad y del uso del mismo recipiente en cada determinación.

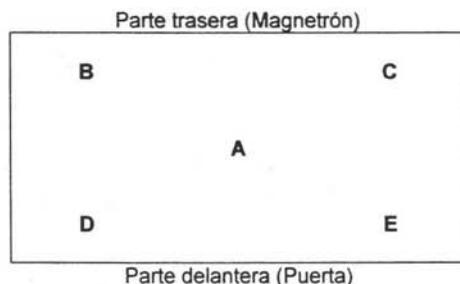
Procedimiento:

1. Poner en un vaso de precipitados exactamente 1 litro de agua destilada.
2. Medir la temperatura del agua con termómetro.
3. Quitar el plato giratorio del horno de microondas.
4. Colocar el vaso en la parte posterior derecha del horno de microondas.
5. Calentar durante un minuto a la máxima potencia (potencia 10).
6. Tomar inmediatamente la temperatura alcanzada por el agua.

2.3 Caracterización del horno de microondas

El horno de microondas es una caja de resonancia magnética en la cual las ondas electromagnéticas se conducen de manera aleatoria, para determinar en cual de las áreas dentro del horno se tiene un calentamiento más efectivo se caracteriza mediante el cálculo de incrementos de temperatura a volúmenes constantes, colocados en distintas partes del horno (A, B, C, D y E), entonces se determina el área de mayor calentamiento y la diferencia de incremento de temperatura para las diferentes concentraciones de sacarosa. Fig. 17.

Fig. 17. DIAGRAMA DE SECCIONES DEL HORNO DE MICROONDAS UTILIZADO



Nota: Vista superior del horno

2.4 Determinación cualitativa de la inactivación de la peroxidasa

Fundamento del método.

Las peroxidasas catalizan la siguiente reacción:



El peróxido puede ser agua oxigenada, el cual es reducido, mientras que el donador de electrones (AH_2) es oxidado, este último puede ser un ascorbato, fenoles, aminas u otros compuestos orgánicos. El producto de la oxidación es altamente coloreado, lo cual sirve como base para la valoración colorimétrica de la actividad de peroxidasa (Fennema, 1985).

Soluciones:

- Solución de guayacol. Preparar una solución acuosa de peróxido de hidrógeno al 0.1%. Por separado preparar una solución de etanol-agua 1:1 y otra de guayacol al 1%. Mezclar la solución de etanol-agua con la solución de guayacol en proporción de 1:1 y realizar esta misma operación con la última solución resultante y la solución de peróxido de hidrógeno.

Procedimiento:

1. Sumergir en la solución de guayacol, pequeñas tiras de papel filtro y escurrirlas para eliminar el exceso.
2. Tomar una tira de papel humedecida con la solución de guayacol y frotar sobre ella el fruto escaldado. En el momento en que ya no aparezca una coloración salmón en la tira de papel, indica que ya se logró la inactivación de la peroxidasa (Rodríguez, 1994).

2.5 Determinación cuantitativa de la inactivación de peroxidasa

a) Buffer de fosfatos

Pesar 0.121 gramos de NaH_2PO_4 y 0.143 de Na_2HPO_4 y disolver en matríz aforado de 100 mililitros. Llevar a $\text{pH}=7.0$.

b) Solución de peróxido

Colocar 0.5 mililitros de H_2O_2 dentro de un matríz aforado y diluir.

c) Solución de guayacol

Colocar 0.22 mililitros de guayacol dentro de un matríz aforado y diluir a 100 mililitros.

Procedimiento

Pesar 1 gramo de manzana, de preferencia cortada en forma de cubo y colocar dentro de un tubo de ensayo. Dentro de este tubo colocar 4 mililitros de buffer de fosfatos y 2 mililitros de solución de guayacol. Repetir según los ensayos de tiempo y temperatura que deseen efectuarse para determinar la inactivación de la enzima peroxidasa. Una vez terminado el tratamiento de escaldado (microondas o método tradicional) se agregan 2 mililitros de solución de peróxido para detener la reacción, se decanta en una celda y se lee en espectrofotómetro a 470 nm.

2.6 Determinación de la vitamina C

Fundamento del método.

La vitamina C es necesaria para ayudar a la absorción del hierro de los alimentos dentro del intestino; pero su principal función radica en la formación de tejido conectivo.

Esta vitamina se encuentra principalmente en frutas y vegetales y es un hecho que solamente el hombre (y algunas especies de animales) necesitan vitamina C en su

alimentación, ya que, a diferencia de otras especies que pueden sintetizarla a partir de glucosa, en el hombre no se produce esta síntesis.

El contenido de vitamina C de los alimentos varía según la especie, suelo, clima cosechado y almacenado. En los vegetales, la pérdida de vitamina C por cocción es alta, 50% en tubérculos y 70% en vegetales verdes, en el caso de las frutas la pérdida es menor, debido a que la acidez de ésta protege la oxidación de la vitamina C, pero la principal pérdida de vitamina C es por disolución en el agua de cocción (Lucas, 1991).

La vitamina C tiene la propiedad de decolorar el indofenol (dicloro fenol indofenol), que es un colorante azul; la cantidad decolorada es proporcional a la cantidad de vitamina C presente. (Lucas, 1991).

Soluciones:

Solución estándar de vitamina C. Preparar una solución en ácido acético al 5% que contenga 1 miligramo de solución de vitamina C por mililitro.

Solución de indofenol. Pesar 25 miligramos de indofenol y 21 miligramos de bicarbonato de sodio, disolver y aforar a 500 mililitros con agua destilada. Para su titulación, tomar 1 ml de la solución estándar de vitamina C, agregar 9 ml de solución de ácido acético al 5%, poner el colorante en una bureta y titular hasta color rosa persistente (37.5 ml corresponden aproximadamente a 1 mg de vitamina C).

Procedimiento:

Se toman 5 gramos de manzanas troceadas y se homogeneizan en licuadora con 50 ml de ácido acético al 5%, se filtra la mezcla en un matrón aforado de 100 ml, previamente cubierto con papel aluminio, llevar hasta el aforo y mezclar.

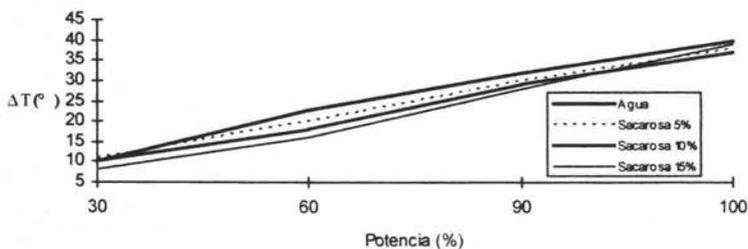
Se toman 10 mililitros del extracto dentro de un matrón erlenmeyer y se añade el colorante (indofenol) con una bureta. El color azul vira al rosa tan pronto como se pone en contacto con el ácido e inmediatamente se decolora por la vitamina C presente; continuar la adición del indofenol hasta que persista un color rosa por lo menos durante 10 segundos; esto significa que la cantidad de colorante agregado ha reaccionado con todo el ácido ascórbico presente (Lucas, 1991).

CAPITULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

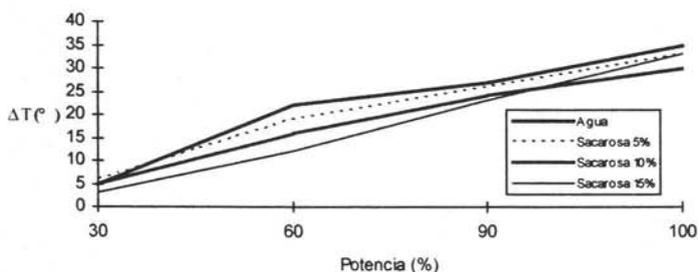
3.1 Calibración horno de microondas

Gráfica 1. Incremento de temperatura vs. potencia del horno a diferentes concentraciones de sacarosa y agua.

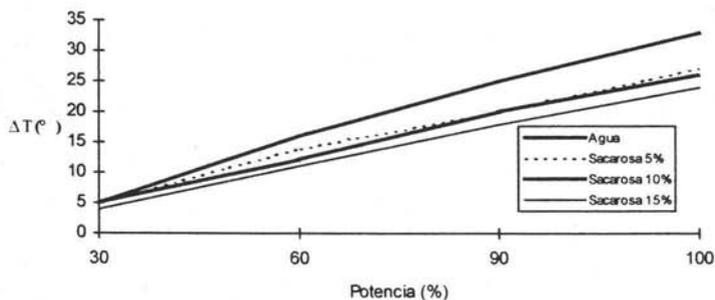
Sección A.



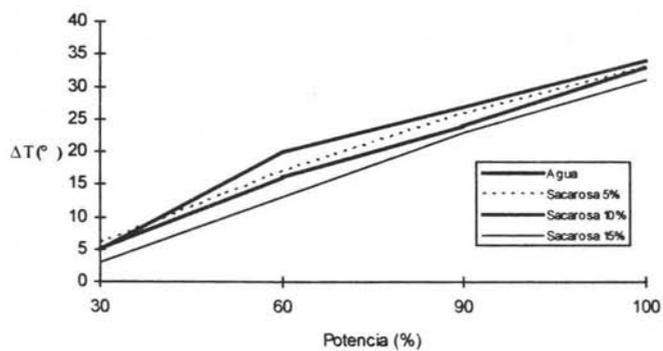
Sección B



Sección C.



Sección D



Sección E

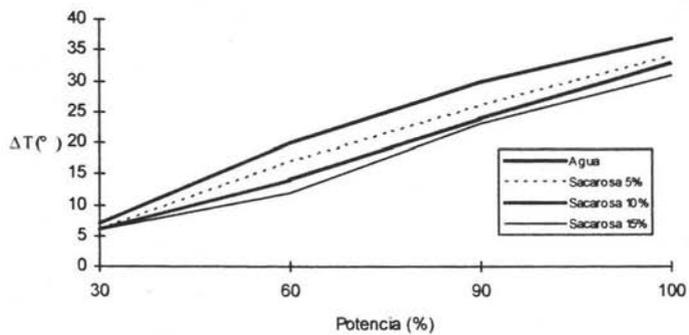
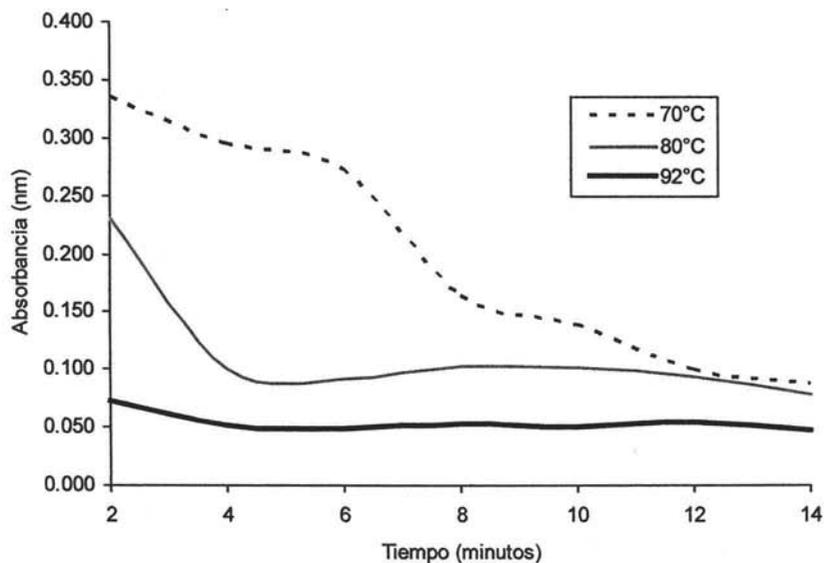


Tabla 4. Incremento de temperatura a diferentes concentraciones de sacarosa y agua en cada una de las secciones del horno.

SECCION/POTENCIA	30	60	90	100
SECCION A				
Agua	10	23	32	40
Sacarosa 5%	11	20	30	38
Sacarosa 10%	10	18	29	37
Sacarosa 15%	8	16	28	39
SECCION B				
Agua	5	22	27	35
Sacarosa 5%	6	19	26	33
Sacarosa 10%	5	16	24	30
Sacarosa 15%	3	12	23	33
SECCION C				
Agua	5	16	25	33
Sacarosa 5%	5	14	20	27
Sacarosa 10%	5	12	20	26
Sacarosa 15%	4	11	18	24
SECCION D				
Agua	5	20	27	34
Sacarosa 5%	6	17	26	33
Sacarosa 10%	5	16	24	33
Sacarosa 15%	3	13	23	31
SECCION E				
Agua	7	20	30	37
Sacarosa 5%	6	17	26	34
Sacarosa 10%	6	14	24	33
Sacarosa 15%	6	12	23	31

3.2 Determinación cuantitativa de la inactivación de peroxidasa

Gráfica 2. CUANTIFICACION DE LA INACTIVACION DE LA PEROXIDASA



TEMPERATURA (°C)			
TIEMPO min	70	80	92
2	0.336	0.230	0.073
4	0.296	0.101	0.052
6	0.273	0.092	0.049
8	0.164	0.103	0.053
10	0.139	0.102	0.05
12	0.101	0.094	0.054
14	0.088	0.078	0.048

3.3 Cuantificación de vitamina C

Resultados promedio de la cantidad de vitamina C residual presente en la muestras, obtenidos siguiendo la metodología descrita.

Manzana cruda: 0396 mg/100g

Tabla 5. Vitamina C residual después del escaldado

CONDICION	CALOR HUMEDO (92°C) mg. vit.C/100g	MICROONDAS(92°C) mg. Vit.C /100g
JARABE 5%	0.353	0.360
JARABE 10%	0.302	0.366
JARABE 15%	0.334	0.338
BOLSA	---	0.383

La inactivación se realizó tanto en microondas como por el método tradicional a la misma temperatura y los cambios fueron cuantificados solamente a nivel de vitamina C y análisis sensorial

3.4 Análisis estadístico

Se realizaron 3 diferentes análisis de varianza, con el fin de conocer si existe diferencia significativa entre la media y las muestras, en el caso de los datos resultantes de los tratamientos por microondas y por calor húmedo, fue de una vía, en donde se explica la diferencia entra una variable y la similitud que pudiera haber entre las diferentes muestras, en este caso la variable es la concentración de azúcar con la que se trabajó 5, 10 y 15%. En el caso de la comparación de tratamientos, el análisis de varianza fue de dos vías, ya que se están manejando dos variables, además de los diferentes jarabes, la forma de tratamiento.

Con un análisis de mínimos cuadrados se puede construir una gráfica con los valores obtenidos, considerando el rango, donde se puede observar con mayor claridad la diferencia entre las muestras, si es que existe. El análisis de rango múltiple nos indicará si existe homogeneidad entre muestras; comparando con el análisis anterior, se podrán elegir las muestras con calidad nutritiva superior para realizar una evaluación sensorial de las mismas.

MUESTRAS TRATADAS CON MICROONDAS

ANÁLISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
RESIDUAL	5.65×10^{-4}	15	3.77×10^{-5}		
TOTAL CORREGIDO	0.0030745	17			

TABLA DE MINIMOS CUADRADOS

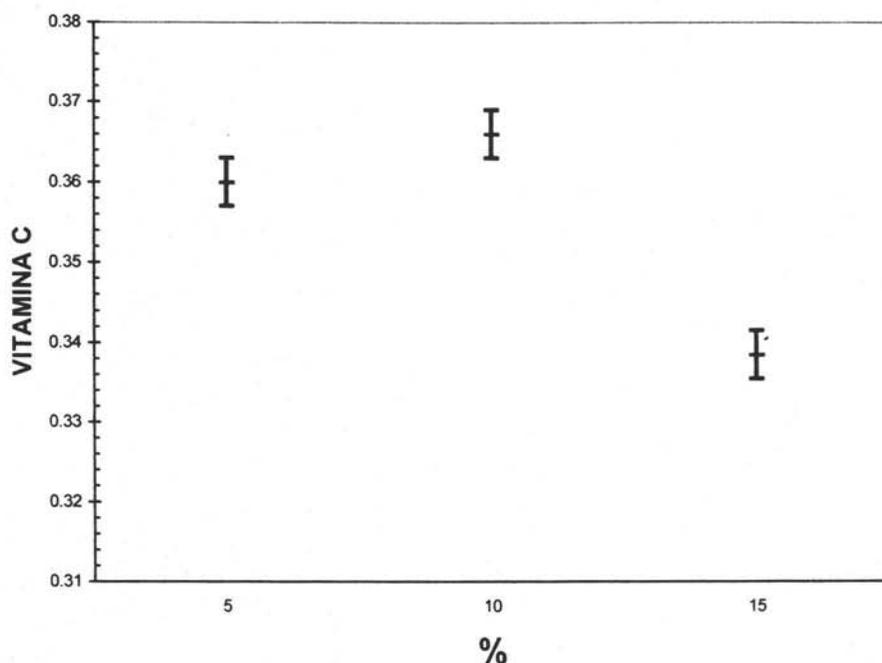
	CUENTA	PROMEDIO	ERROR ESTANDAR	95% DE GRADOS DE CONFIANZA	
GRAN MEDIA	18	0.3548333	0.0014472	0.3517479	0.3579188
15	6	0.3600000	0.0025067	0.3546558	0.3653442
5	6	0.3660000	0.0025067	0.3606558	0.3713442
10	6	0.3385000	0.0025067	0.3331558	0.3438442

ANALISIS DE RANGO MULTIPLE

METODO LSD 95% NIVEL	CUENTA	MEDIA DE MINIMOS CUADRADOS	GRUPOS HOMOGENEOS
10	6	0.3385000	X
15	6	0.3600000	X
5	6	0.3660000	X

MUESTRAS TRATADAS CON MICROONDAS

LSD 95% Intervalos de medias factoriales



MUESTRAS TRATADAS CON MICROONDAS

Los resultados del análisis de varianza muestran que la diferencia entre las muestras escaldadas con los tres diferentes jarabes es altamente significativa.

Con los valores de la tabla de mínimos cuadrados, se puede construir una gráfica donde se puede observar la diferencia de la concentración residual en las muestras. En este tratamiento la muestra tratada en jarabe de 10% fue la que tuvo mayor cantidad de vitamina C, posteriormente la muestra en jarabe de 5% y por último la muestra en jarabe de 15%.

En el análisis de rango múltiple podemos observar que la diferencia a un nivel de significancia de 95%, no existe entre las muestras tratadas en 5 y 10%, sin embargo entre estas dos y la tratada con 15%, la diferencia es significativa.

MUESTRAS TRATADAS CON CALOR HUMEDO

ANÁLISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
RESIDUAL	0.0012250	15	8.16667X10 ⁻⁵		
TOTAL CORREGIDO	0.0094498	17			

TABLA DE MINIMOS CUADRADOS

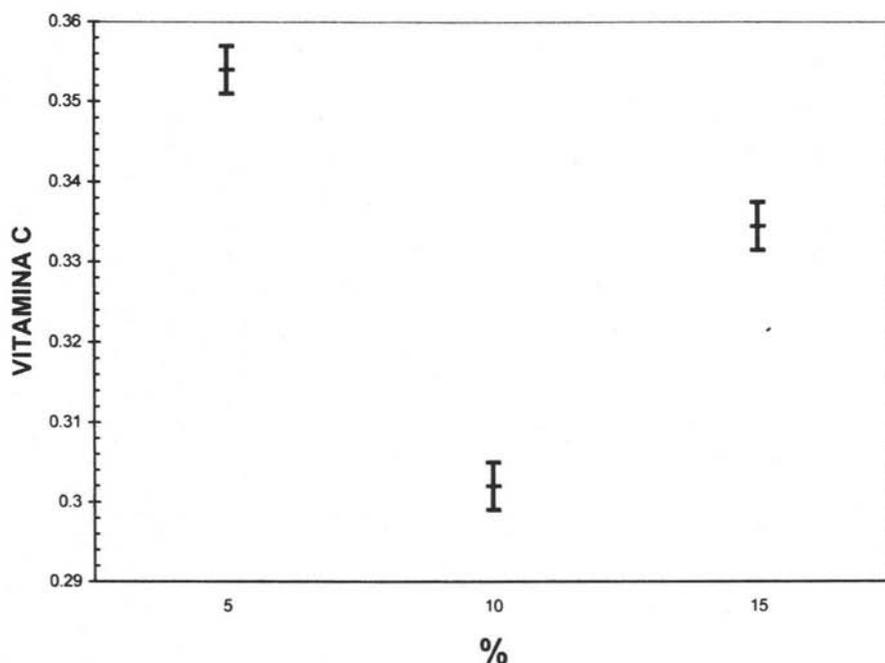
	CUENTA	PROMEDIO	ERROR ESTANDAR	95% DE GRADOS DE CONFIANZA	
GRAN MEDIA	18	0.3298889	0.0021300	0.3253477	0.3579188
15	6	0.3536667	0.0036893	0.3458011	0.3344301
5	6	0.3018333	0.0036893	0.2939678	0.3615322
10	6	0.3341667	0.0036893	0.3263011	0.3420322

ANALISIS DE RANGO MULTIPLE

METODO LSD 95% NIVEL	CUENTA	MEDIA DE MINIMOS CUADRADOS	GRUPOS HOMOGÉNEOS	
10	6	0.3018333	X	
15	6	0.3341667		X
5	6	0.3536667		X

MUESTRAS TRATADAS CON CALOR HUMEDO

LSD 95% Intervalos de medias factoriales



MUESTRAS TRATADAS CON CALOR HUMEDO

El análisis de varianza muestra que la diferencia entre las muestras es muy significativa, lo que significa que la concentración de los jarabes afecta en la concentración de la vitamina C que se pierde en el tratamiento, principalmente por lixiviación.

En la tabla de mínimos cuadrados y en la gráfica anterior se observa que en este tipo de tratamiento la muestra tratada en jarabe de 5% es la que presenta mayor cantidad de vitamina C residual, posteriormente la muestra tratada en 15% y por último la que se escaldó en jarabe de 10% con una concentración mucho menor de vitamina C.

En el análisis de rango múltiple podemos observar que no existe diferencia a un nivel de significancia de 95% entre las muestras tratadas en 5 y 10%, no siendo así entre éstas comparadas con la muestra escaldada en el jarabe de 15%, donde la diferencia es significativa.

COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

ANÁLISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
CONDICION	0.0056000	1	0.0056000	23.764	0.0000
RESIDUAL	0.0087192	37	2.35655X10 ⁻⁵		
TOTAL CORREGIDO	0.0266178	41			

TABLA DE MINIMOS CUADRADOS

	CUENTA	PROMEDIO	ERROR ESTANDAR	95% DE GRADOS DE CONFIANZA POR MEDIA	
GRAN MEDIA	18	0.3494028	0.0025585	0.3442175	0.3545880
5	12	0.3568333	0.0044315	0.3478523	0.3658144
10	12	0.3339167	0.0044315	0.3249356	0.3428977
15	12	0.3363333	0.0044315	0.3273523	0.3453144
BOLSA	6	0.3705278	0.0067692	0.3568089	0.3842466
CONDICION					
CALOR HUMEDO	18	0.3369306	0.0040454	0.3287320	0.3451291
MICROONDAS	24	0.3618750	0.0031335	0.3555244	0.3682256

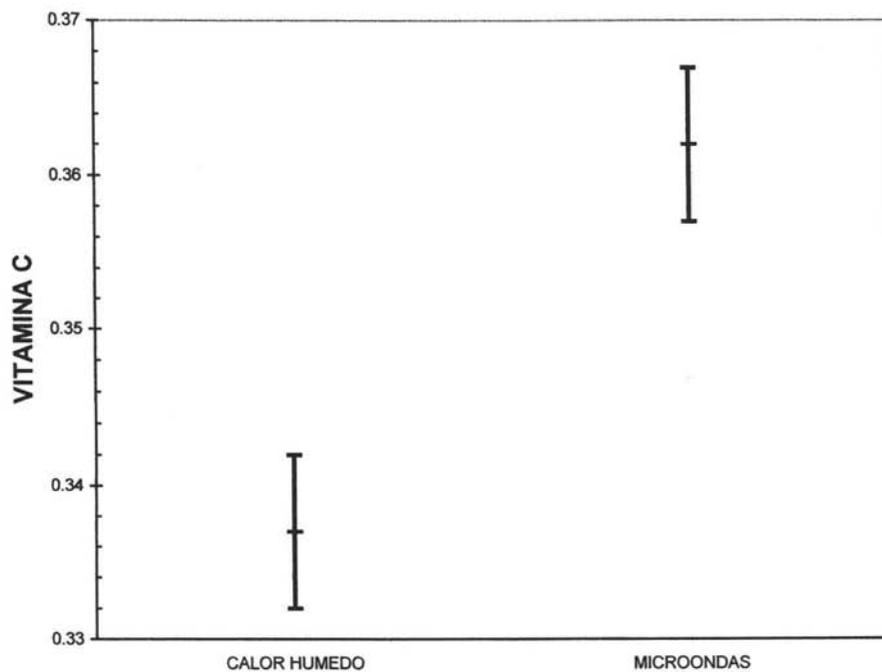
ANALISIS DE RANGO MULTIPLE

METODO LSD 95% NIVEL	CUENTA	MEDIA DE MINIMOS CUADRADOS	GRUPOS HOMOGÉNEOS		
25	12	0.3339167	X		
50	12	0.3363333	X		
15	12	0.3568333		X	
BOLSA	6	0.3705278		X	
CALOR HUMEDO	18	0.3369306			X
MICROONDAS	24	0.3618750			X

CONTRASTES	DIFERENCIA	+/- LIMITES
5 - 10	0.02292	0.01270
5 - 15	0.02050	0.01270
10 - BOLSA	-0.01369	0.01640
10 - 15	-0.00242	0.01270
10 - BOLSA	-0.03661	0.01640
15 - BOLSA	0.03419	0.01640
CALOR HUMEDO - MICROONDAS	-0.02494	0.01037

COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

LSD 95% Intervalos de medias factoriales



COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

En el análisis de varianza podemos observar que la diferencia entre las dos condiciones de tratamiento y entre las muestras tratadas con los diferentes jarabes e incluyendo la escaldada con bolsa de polietileno existe diferencia muy significativa.

En la tabla de mínimos cuadrados y en la gráfica se puede observar que la concentración de vitamina C residual es mayor en las muestras escaldadas en microondas que en la manzana escaldada en calor húmedo.

Lo anterior se corrobora en el análisis de rango múltiple, además de que nos podemos dar cuenta de que no hay diferencia entre la manzana escaldada en jarabes de 10 y 15% , así como entre las muestras tratadas en jarabe de 5% y en bolsa de polietileno, sin embargo, estos dos grupos no son homogéneos entre sí, lo que indica que existe diferencia significativa entre la concentración de vitamina C residual.

3.5 Análisis sensorial

Prueba de comparación por pares

Para evaluar las diferencias sensoriales entre los tratamientos, se eligió dentro de las pruebas discriminativas la prueba de comparación por pares, cuyo objetivo es determinar la diferencia perceptible entre las muestras, además de que nos puede mostrar en que sentido se detecta la diferencia.

Se optó por esta prueba para conocer la diferencia sensorial existente entre las manzanas escaldadas en microondas y las escaldadas por método tradicional.

Las muestras seleccionadas para este estudio fueron las que por análisis estadístico resultaron con una cantidad mayor de vitamina C residual; se compararon por un lado las muestras escaldadas con jarabe, una en agua caliente y la otra escaldada por microondas.

La evaluación de la muestras se llevó a cabo en tres sesiones, en la cuales se encontraban dos pares de muestras, que contenían una rebanada de manzana escaldada en vasos plásticos transparentes colocadas al azar y codificadas con tres dígitos.

A cada uno de los diez jueces se le dieron dos charolas por sesión, en las cuales se encontraban dos pares de muestras.

Las muestras evaluadas fueron por un lado, las muestras escaldadas en jarabe en microondas y escaldado tradicional comparada con manzana fresca por la similitud de características que se presentasen. Las evaluaciones se realizaron en seis sesiones diferentes.

El siguiente es un ejemplo de la hoja de respuestas que se le dio a cada juez.

NOMBRE _____ FECHA _____ CHAROLA _____

INDICACIONES: Frente a usted tiene dos pares de muestras, evalúe cada uno por separado, iniciando de izquierda a derecha, indicando para cada par si las muestras son iguales o distintas.

En caso de existir diferencia, por favor explique en que consiste ésta.

PAR	MUESTRAS	DIFERENTES	IGUALES
1			
2			

DIFERENCIAS

PAR #1

PAR #2

Prueba de preferencia

El objetivo de la prueba es ordenar según las opiniones de un grupo de consumidores, un par o una serie de muestras de acuerdo con un aprecio personal o una preferencia (Pedrero, 1989). La población elegida para la evaluación no debe conocer la problemática, sino entender y responder.

Esta prueba se efectuó con el fin de conocer la preferencia sobre alguna de las muestras ya analizadas en la prueba anterior de comparación por pares, ya que el resultado de ésta ayuda a reforzar la aceptación de la muestra y corroborar que existe diferencia en cuanto a las características sensoriales de las manzanas escaldadas por los diferentes métodos; permitiéndonos también conocer cual es la muestra que resultó con las mejores características sensoriales a opinión del consumidor.

El siguiente es un ejemplo de la hoja de respuestas utilizada para la prueba de preferencia.

HOJA DE RESPUESTA

NOMBRE _____ FECHA _____ CHAROLA _____

INDICACIONES: Anote con el número de vaso correspondiente en orden de su menor (=1) a su mayor preferencia (=3).

NO SE PERMITEN EMPATES.

MUESTRAS	_____	_____	_____
PREFERENCIA	_____	_____	_____

RESULTADOS DE ANÁLISIS SENSORIAL

Comparación por pares

a) Comparación de las muestras escaldadas con jarabe.

Las muestras que por el análisis estadístico mostraron la mayor cantidad de vitamina C residual fueron las siguientes:

- Manzana escaldada en jarabe de 5% en calor húmedo.
- Manzana escaldada en jarabe de 15% por microondas.

Las arriba mencionadas por tener las mejores características desde el punto de vista nutricional se eligieron para efectuar las pruebas sensoriales que se presentan al ser tratadas por los diferentes métodos de escaldado.

Tabla 6. Calificaciones generadas por los jueces.

JUEZ	NUMERO DE RESPUESTAS CORRECTAS	
	CALOR HUMEDO – MICROONDAS	BOLSA MICROONDAS – NATURAL
1	6	4
2	6	5
3	6	5
4	6	6
5	5	6
6	6	4
7	6	6
8	5	6
9	6	6
10	6	6
TOTAL	58	54

Análisis de datos

Total de jueces: 10

Número de repeticiones: 6

Total de juicios: 60

Total de respuestas correctas: 58

El valor reportado en las tablas que sirven para determinar el número mínimo de juicios correctos (Pressler y cols., 1987) para establecer significancia a varios niveles de probabilidad para pruebas de preferencia por pares (dos colas, $p=1/2$) a un nivel de significancia de 0.001 para $n=60$ es 44.

En esta prueba la probabilidad de escoger la respuesta correcta es de 50%, por lo que si el valor total de respuestas correctas es mayor, se puede concluir que las muestras son diferentes entre sí, por lo tanto, $58 > 44$, (al nivel de significancia más exigente), lo que significa que hay diferencia significativa entre las muestras. Lo anterior implica que la forma de calentamiento en el tratamiento de escaldado influye en las características sensoriales de las manzana escaldadas con jarabe.

b) Comparación de la manzana escaldada en bolsa de polietileno y la manzana sin tratamiento.

Los resultados generados se pueden observar en la tabla 7 de donde se extraen los siguientes datos.

Total de jueces: 10

Número de repeticiones: 6

Total de juicios: 60

Total de respuestas correctas: 54

Tabla 7. PRUEBA DE PREFERENCIA

JUEZ	MUESTRAS		
	JARABE MICROONDAS	JARABE CALOR HUMEDO	BOLSA MICROONDAS
1	1	2	3
2	2	1	3
3	2	1	3
4	3	2	1
5	3	1	2
6	2	1	3
7	2	1	3
8	1	2	3
9	3	1	2
10	2	1	3
11	1	2	3
12	3	1	2
13	2	1	3
14	2	1	3
15	2	1	3
16	3	1	2
17	2	1	3
18	3	1	2
19	1	1	2
20	2	3	3
21	3	1	1
22	3	2	2
23	3	1	1
24	2	2	3
25	2	1	1
26	2	3	1
27	2	3	3
28	3	1	1
29	2	2	3
30	3	1	1
31	2	2	3
32	2	1	3
33	2	1	3
34	3	1	2
35	3	1	2
36	3	1	1
37	3	1	2
38	2	1	3
39	2	1	3
40	3	1	2
41	3	1	2
42	2	1	3
43	2	1	3
44	2	1	3
TOTAL	101	59	104

Ya que los valores son iguales a la prueba anterior, al comparar con el valor de tablas $54 > 44$, por lo tanto hay diferencia significativa, aunque menor que en las muestras

anteriores, lo que implica que el tratamiento al que fueron expuestas las rebanadas de manzana afecta la calidad sensorial.

La prueba se llevó a cabo con las muestras siguientes.

- Manzana escaldada por microondas en jarabe de 5%
- Manzana escaldada en calor húmedo con jarabe de 15%
- Manzana escaldada por microondas en bolsa de polietileno

Los datos que se encuentran en la tabla anterior se analizaron por medio del análisis de ordenamiento por rangos (o escala de rangos ordinales), con la comparación de todas las muestras.

Diferencias absolutas entre sumas de rangos:

J. MICROONDAS – J. CALOR HUMEDO	$101 - 59 = 42 > 21$
J. MICROONDAS – BOLSA MICROONDAS	$101 - 104 = 3 < 21$
J. CALOR HUMEDO – BOLSA MICROONDAS	$59 - 104 = 45 > 21$

La diferencia absoluta crítica: 21 se obtiene de las tablas de valores críticos para ordenación por rangos, (Newel & Mac Flane, 1987), basada en el análisis no paramétrico de comparaciones múltiples para 44 jueces y 3 muestras, a un nivel de significancia del 5% (diferencia no direccional = dos colas) para la comparación de todos los tratamientos entre sí. Dado este valor se compara con la diferencia absoluta de rangos con la construcción de una tabla.

Muestras	J. calor húmedo	J. microondas	Bolsa microondas
Suma de rangos	59 a	104 b	101 b

a, b = suma de rangos con distintos subíndices indican diferencia significativa ($p=0.05\%$)

Así podemos decir que las muestras escaldadas por microondas y las muestras escaldadas en calor húmedo presentan diferencia en cuanto al grado de aceptación, sin embargo, las dos muestras escaldadas por microondas no presentan diferencia estadística en cuanto a su aceptación pero la preferencia de la población está inclinada a esta muestras

Por parte de los consumidores, el producto fue descrito en mayor frecuencia, de la siguiente manera.

MANZANA ESCALDADA EN CALOR HUMEDO	MANZANA ESCALDADA POR MICROONDAS
Sabor y olor a cocido	Sabor a manzana dulce y ácida
Textura suave y blanda	Crujiente, firme y jugosa
Pierde sabor a manzana	Mejor aroma
Presenta oscurecimiento	Color amarillo claro

Tabla 8. Características sensoriales después del escaldado

Los resultados de la prueba de preferencia evidencian que las muestras escaldadas en microondas se aceptan tanto en jarabe como en bolsa, sin embargo la muestra escaldada en calor húmedo dista de la aceptación, teniendo la gran desventaja al calentamiento previo, lo que implica energía adicional.

El tiempo de escaldado en bolsa de polietileno fue mucho menor, ya que en este caso no hay necesidad de calentar el medio, es decir, el jarabe y el calor se transmite directamente en la muestra; además de que el vapor generado ayuda a escaldar las enzimas presentes sobre la superficie.

Las muestras escaldadas por microondas presentan mejores características sensoriales y además presentó mayor preferencia entre la población encuestada.

Al observar los tiempos de escaldado de manzana por microondas se observa que entre los jarabes de 5 y 10% no existe diferencia, sin embargo, existe diferencia con respecto al de 15% en las potencias más altas, ya que el calor se transmite con mayor eficiencia debido a la mayor concentración de sólidos.

Los resultados del análisis estadístico de la concentración de vitamina C residual en las muestras escaldadas muestran que el contenido de sólidos, a pesar que el tiempo de escaldado es muy similar entre las tres concentraciones de jarabe (5, 10 y 15%) muestran que el contenido de sólidos puede afectar en la concentración de esta vitamina.

También se observa que al exponerse las muestras al microondas se presenta menor pérdida de vitamina C, que es muy inestable y lábil, lo cual puede implicar que se afecten en menor grado las demás vitaminas presentes en la manzana, además de otros nutrientes que cuando se escaldan con calor húmedo, pues en este tratamiento existe un alto factor de pérdidas por lixiviación.

El escaldado en bolsa de polietileno resultó ser el más eficiente. Podemos observar que la conservación de vitamina C es mayor que las escaldadas en jarabe, precisamente debido a que no existe un medio de disolución para la vitamina C, además de que el tiempo de calentamiento es mucho menor.

Las características sensoriales de las manzanas escaldadas por microondas en jarabe o en bolsa de polietileno presentaron mejores atributos que las escaldadas en calor húmedo como puede comprobarse en la tabla 8. Exponer las muestras a un tiempo de calentamiento mayor puede alterar la mayoría de las características presentes en la manzana tales como: cambios en la textura, sabor y aroma, lo que no se observa o se hace evidente en mucho menor grado en el calentamiento por microondas; como se observa en la prueba de preferencia. Ya que las muestras más aceptadas son las escaldadas por microondas, particularmente las tratadas en bolsa de polietileno, pues como se ha dicho, no hay disolución ni evaporación de compuestos aromáticos por el tipo de tratamiento.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos podemos deducir que de la aplicación de microondas como fuente generadora de calor se obtiene un producto vegetal escaldado que satisface e incluso supera las características esperadas para la aplicación de procesos posteriores al escaldado.

Como se aprecia en las pruebas tanto cualitativas como cuantitativas de la inactivación de la peroxidasa, enzima utilizada como indicadora de actividad enzimática, los productos que fueron escaldados mediante microondas cumplen con los parámetros deseados después de la operación de escaldado, esto, además tomando en cuenta que no existen pérdidas por lixiviación de azúcares, vitaminas y demás nutrientes.

Las pruebas de cuantificación de vitamina C, también seleccionada como indicadora, por ser la más lábil de las vitaminas contenidas en la manzana muestran que en comparación con el procedimiento tradicional de escaldado, el contenido final de vitamina C resulta mayor por el tratamiento con microondas, lo que resulta en producto final con características superiores a los productos obtenidos por el método tradicional.

En el análisis sensorial se demuestra que el producto escaldado por microondas es preferido en comparación con el obtenido por escaldado tradicional, lo que indica que las propiedades físicas y organolépticas del se ven afectadas en menor grado.

Las características sensoriales de las manzanas escaldadas por microondas en jarabe o en bolsa de polietileno presentaron mejores atributos que las escaldadas en calor húmedo como puede comprobarse en la tabla 8. Exponer las muestras a un tiempo de calentamiento mayor puede alterar la mayoría de las características presentes en la manzana tales como: cambios en la textura, sabor y aroma, lo que no se observa o se hace evidente en mucho menor grado en el calentamiento por microondas; como se observa en la prueba de preferencia. Ya que las muestras más aceptadas son las escaldadas por microondas, particularmente las tratadas en bolsa de polietileno, pues como se ha dicho, no hay disolución ni evaporación de compuestos aromáticos por el tipo de tratamiento.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos podemos deducir que de la aplicación de microondas como fuente generadora de calor se obtiene un producto vegetal escaldado que satisface e incluso supera las características esperadas para la aplicación de procesos posteriores al escaldado.

Como se aprecia en las pruebas tanto cualitativas como cuantitativas de la inactivación de la peroxidasa, enzima utilizada como indicadora de actividad enzimática, los productos que fueron escaldados mediante microondas cumplen con los parámetros deseados después de la operación de escaldado, esto, además tomando en cuenta que no existen pérdidas por lixiviación de azúcares, vitaminas y demás nutrientes.

Las pruebas de cuantificación de vitamina C, también seleccionada como indicadora, por ser la más lábil de las vitaminas contenidas en la manzana muestran que en comparación con el procedimiento tradicional de escaldado, el contenido final de vitamina C resulta mayor por el tratamiento con microondas, lo que resulta en producto final con características superiores a los productos obtenidos por el método tradicional.

En el análisis sensorial se demuestra que el producto escaldado por microondas es preferido en comparación con el obtenido por escaldado tradicional, lo que indica que las propiedades físicas y organolépticas del se ven afectadas en menor grado.

CONCLUSIONES

La aplicación de microondas para el escaldado de productos vegetales ofrece una alternativa al proceso tradicional de escaldado que presenta varias ventajas en relación a la calidad del producto final.

Entre las ventajas que ofrece, se encuentran la calidad nutricional, preservación de características físicas y organolépticas, reducción de espacio, simplificación del proceso, ahorro en agua y energía; con el beneficio ecológico que esto representa y reducción de los tiempos de proceso.

Tomando en cuenta que las ventajas que ofrece el escaldado por microondas no se limitan a la manzana y que la necesidad industrial de productos vegetales escaldados es amplia, las microondas ofrecen una alternativa viable tanto para el mejoramiento de los productos vegetales procesados como para la simplificación de los procesos.

Como se puede apreciar en los resultados generados por este trabajo resulta muy conveniente la incorporación del método de escaldado para productos vegetales en función de los beneficios a largo plazo tales como ahorro en energía, agua, espacio, tiempo y características del producto final, entre las cuales se cuentan una mayor eficiencia en la inactivación de las enzimas responsables del oscurecimiento de los productos, así como una mejor preservación de las características nutricionales (preservación de vitaminas) y de las organolépticas.

Quizá la única desventaja que representa la aplicación de esta tecnología sea el elevado costo de equipamiento, lo que debería evaluarse en función de los muchos beneficios que ofrece a largo plazo, probablemente en el ahorro en costos de energía y consumo de agua, así como de mejoramiento de la calidad de producto final se encuentre la clave para decidir por la implementación de esta tecnología.

ANEXOS

ANEXO 1

Costos de Producción de Manzana en el Estado de Chihuahua (Ciclo Productivo 1998; por Hectárea) fuente: (UNIFRUT, A.C.)

Huerta con riego de bombeo; sistema de agua rodada.

Sin equipo de calefacción.

Sin malla antigranizo.

Rendimiento: 15,000 kg/hectárea.

Labores Culturales	Cantidad	Precio Unitario \$	Costo por Hectárea
Rastreo del suelo	4	220.00	880.00
Bordeo del suelo	4	190.00	760.00
Poda Invernal	400 árboles	5.00	2,000.00
Limpieza de Podas	1 hectárea	120.00	120.00
Fertilización al suelo			737.00
Fertilización Foliar			443.00
Polinización	2 colmenas	230.00	460.00
Control de plagas			2,141.00
Control de Enfermedades			1,728.50
Labores de fumigación	10 aplicaciones	60.00	600.00
Aclareo manual de frutas	20 jornales	60.00	1,200.00
Riegos	8 riegos	400.00	3,200.00
Control químico de malezas	5 litros	112.00	560.00
Seguro contra granizo	15,000 kg. a \$3.50 kg.	112.00	560.00
Reguladores de crecimiento	1 litro	258.00	258.00
Recolección y acarreo	15 ton.	120.00	1,800.00
Asesoría técnica	1 hectárea	800.00 x Ha. x año	800.00
Suma Total:			\$18,247.50

ANEXO 2**Costos de Producción de Manzana en el Estado de Chihuahua
(Ciclo Productivo 1998; por Hectárea) fuente: (UNIFRUT, A.C.)**

Huerta con riego de bombeo; sistema de microaspersión.

Con equipo de calefacción tipo Jumbo

Sin malla antigranizo.

Rendimiento: 35,000 kg/hectárea.

Labores Culturales	Cantidad	Precio Unitario \$	Costo por Hectárea
Poda invernal	400 árboles	5.00	2,000.00
Limpieza de podas	1 hectárea	120.00	120.00
Fertilización al suelo			737.00
Fertilización foliar			443.00
Control de heladas (diesel)	2,000 litros	2.33	4,660.00
Control de heladas (mano de obra)	20 jornales	50.00	1,000.00
Reparto y retiro de calentones	4 jornales	50.00	200.00
Polinización	2 colmenas	230.00	460.00
Control de plagas:			2,141.00
Control de Enfermedades:			1,728.50
Labores de fumigación	10 aplicaciones	60.00	600.00
Aclareo químico de frutas	1 hectárea	170.00	170.00
Aclareo manual de frutas	20 jornales	60.00	1,200.00
Riegos	20 riegos	180.00	3,600.00
Control químico de malezas	5 litros	112.00	560.00
Seguro contra granizo	35,000 kg.	0.42 pesos / kg.	14,700.00
Reguladores de crecimiento	1 litro	258.00	258.00
Recolección y acarreo	35 ton.	120.00	4,200.00
Asesoría técnica	1 hectárea	800.00 x Ha. x año	800.00
Suma Total:			\$39,577.50

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

ANEXO 3

CONSIDERACIONES DE APLICACIÓN DE TECNOLOGIA

Cuando se elige el calentamiento por medio de microondas, se obtiene un ahorro en energía, tiempo y dinero de entre 50 y 60 % que por métodos convencionales. Adicional a esto, dentro del proceso de escaldado los factores ecológicos que involucran tanto la emisión de gases a la atmósfera como un significativo descenso en el consumo de agua, así como de deshecho de aguas residuales, con el consiguiente ahorro en la demanda biológica de oxígeno de las aguas de desecho.

Entre otros factores, se pueden mencionar ahorros en espacio, operaciones y eliminación del procedimiento de calentamiento-enfriamiento del equipo.

Los factores anteriores muestran un incremento en la eficiencia de la operación cuando se utilizan las microondas como fuente de calentamiento de los productos, que adicionalmente son obtenidos al final del proceso con una calidad y características sensoriales superiores a los obtenidos por métodos de calentamiento convencionales.

La siguiente tabla muestra comparativamente los parámetros de consumo de tiempo y energía de diferentes equipos de calentamiento.

EQUIPO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO	ENERGIA CONSUMIDA	COSTO
Horno eléctrico	350	60 minutos	2.0 kWh	\$16.00
Horno convectivo eléctrico	325	45 minutos	1.39 kWh	\$11.12
Horno de gas	350	60 minutos	0.112 term (btu)	\$7.00
Freidora eléctrica	420	60 minutos	0.9 kWh	\$7.20
Horno de microondas	"Alto"	15 minutos	0.36 kWh	\$2.88

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDREWS, G. "Microwave applications". *Food Marketing & Technology* 6 (2) 41-42, 44, 46, 48 (1992)
2. ANDREWS, G. "Safe foods by microwaves". *Food Manufacture* 66(7) 25-26 (1991)
3. ANON. "To focus on the microwave field". *Food Technology in New Zealand* 26 (9) 16, 17, 19 (1991)
4. ARTHEY, David & DENNIS, Colin "Vegetable Processing" VCH Publishers, New York, USA (1991)
5. BADUI D, Salvador "Química de los Alimentos" 2ª edición. Editorial Alhambra Mexicana. México, (1990)
6. CHEN-PM "Control of superficial scald on d'Anjou pears by ethoxyquin". Mid-Columbia Agric. Res. & Extension Cent., Oregon State Univ., Corvallis, OR 97331, USA (1989)
7. DECAREAU, R.V., "Microwaves in Food Processing Equipment Throughout the World" *Food Technology*, pp. 99-105 (june 1986)
8. EVANS, K.A., TAYLOR, H.B. "Microwaves Extend Shelf Life of Cakes". *Food Manufacture*, 42, 50 (1967)
9. FENNEMA, Owen R: "Food Chemistry" 2ª ed. Marcel Dekker Inc., New York (1985)
10. GALLERANI-G; FOLCHI-A; PRATELLA-GC; CAZZOLA-P "Superficial scald and change in concentration of hydroperoxides in apples stored under ultra-low oxygen at varying CO2 rates". *Cent. Sperimentale di Patologia per la Conservazione e la Trasformazione degli Ortofrutticoli (CRIOF)*, Univ. di Bologna, 40126 Bologna, Italy (1992)
11. GREIG W., Smith. "The Economics of Food Processing". The AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut (1971)
12. KLEIN-JD; LURIE-S "Prestorage heating of apple fruit for enhanced postharvest quality: interaction of time and temperature." *Dep. of Field Crops, Agric. Res. Org., Volcani Cent.*, (1992)

13. LUCAS, Bernardo, ARAGON, María Elena. "Manual de Prácticas, Laboratorio de Nutrición. Departamento de Alimentos y Biotecnología. UNAM, México (1991)
14. MITCHELL, R.S. "In can blanching of green peas" *Journal of Food Technology*, 7, 409 (1972)
15. MORELL, C. Ma. José "El escaldado en las Industrias Agroalimentarias. *Revista Alimentaria*, España, Marzo (1991)
16. PEDRERO, Daniel L., PANGBORN, Rose Marie. "Evaluación Sensorial de los Alimentos, Métodos Analíticos." Editorial Alambra Mexicana, S.A. de C.V. México, D.F. (1989)
17. PORSDAL, P.K. "Optimizing of Vegetable Blanching". *Food Technology* (6) 122-129 (1986)
18. POTTER, Norman N "La Ciencia de los Alimentos". EDUTEX, S.A., México (1978)
19. PROCTOR, B.E., GOLDBLITH, S.A. "Radar Energy for Rapid Cooking and Blanching and its effect on vitamin content", *Food Technology*, 2, 95 (1948)
20. ROSENBERG, Ute "Microwave Thawing, Drying and Baking in the Food Industry". *Food Technology*. Vol. 41 No. 6 June (1987)
21. ROSENBERG, Ute "Microwave Pasteurization, Sterilization, Blanching and Pest Control in the Food Industry". *Food Technology*, Vol. 41, No. 6 June (1987)
22. SELMAN, J.D. "Effects of water blanching on pea seeds". *Journal of Food Technology*. 17, 219. (1982)
23. SILVA, R. Edith. "Desarrollo de materias primas para los alimentos que se preparan en microondas". Tesis, Facultad de Química, UNAM. México (1992)
24. WILLIAMS, D. *et al.* "Blanching of vegetables for freezing which indicator enzyme case". *Food Technology*, 40 (6) 130 (1986)