



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**" CAMBIOS DE COLOR Y TEXTURA DE
MANZANAS ESCALDADAS UTILIZANDO
MICROONDAS "**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A N :
ALICIA BALDERAS GONZAGA/
ISABEL CARLA VERA RUIZ
A S E S O R :
I. A. FRANCISCO JAVIER LOPEZ MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2001

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



REPUBLICA NACIONAL
 AVIENDA DE
 MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
 Jefe del Departamento de exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Cambios de color y textura de manzanas escaldadas
 utilizando microondas".

que presenta la pasante: Isabel Carla Vera Ruiz
 con número de cuenta: 9552075-0 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI FAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 2 de Febrero de 2001

PRESIDENTE I. B. J. Jaime Flores Minutti
 VOCAL Dr. José Luis Arriaga Román
 SECRETARIO I. A. Francisco Javier Ápez Martínez
 PRIMER SUPLENTE I. B. J. Leticia Figueroa Villareal
 SEGUNDO SUPLENTE I. A. Marta E. Rosas Mendoza

**A mis padres.
Por darme la vida y su amor para
Poder seguir adelante. Gracias por creer en mí.**

**A mis hermanos:
Chayín, Juan y Pablo por apoyarme
Incondicionalmente y siempre estar ahí.**

**A todas y cada una de las personas que rodean mi vida
Mil gracias.**

Alis.

**A mis padres y abuelita
porque de ellos aprendí lo que es
la fuerza, la perseverancia y la gratitud.
Gracias.....Los amo.**

**Gracias a toda la gente
que ha llegado a mi vida
por ayudarme a ser mejor.**

Isabel Carla.

1.4. Mecanismos de transferencia de calor.	41
1.4.1. Antecedentes de las microondas.	43
1.4.2. Generación de las microondas.	46
1.4.3. Partes que conforman el horno.	48
1.4.4. Mecanismos de generación de calor en alimentos.	53
1.4.5. Propiedades dieléctricas	55
1.4.6. Penetración de la onda.	57
1.4.7. Ventajas y desventajas del calentamiento por microondas en un horno de microondas.	58

CAPÍTULO II. DISEÑO EXPERIMENTAL.

2.1. Desarrollo experimental.	62
2.2. Diseño experimental.	64

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

3.1. Análisis de la caracterización del horno de microondas.	78
3.2. Análisis de datos de peso y dimensiones	82
3.3. Análisis de datos de color.	86
3.4. Análisis de datos de textura.	89
3.5 Cantidad de enzimas inactivadas.	92
3.6 Determinación del tiempo de escaldado.	93

CONCLUSIONES.	97
---------------	----

BIBLIOGRAFÍA.	100
---------------	-----

ANEXOS.	103
---------	-----

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS.

Figura. 1. Esquemas de la flor y la manzana.	5
Figura. 2. Gráfica de la actividad respiratoria de la manzana.	9
Figura. 3. Estructura química de las antocianinas.	10
Figura. 4. Penetrómetro y aditamentos de empleo.	23
Figura. 5. Curva típica del perfil de textura.	25
Figura. 6. Texture Analyzer TA-XT2.	26
Figura. 7. Producción de color físicamente.	27
Figura. 8. Curva espectral de fuentes de iluminación.	30
Figura. 9. Coordenadas de cromaticidad Y, x, y.	36
Figura. 10. Sólido tridimensional.	38
Figura. 11. Colorímetro Hunter.	41
Figura. 12. Esquema de espectro electromagnético.	44
Figura. 13. Generación de microondas en el horno.	45
Figura. 14. Producción de ondas por un magnetrón.	47
Figura. 15. Esquema de un horno de microondas.	49
Figura. 16. Cuadro metodológico.	63
Figura. 17. Diagrama de horno de microondas y regiones a analizar.	65
Figura. 18. Zonas de medición de diámetro y altura.	69
Figura. 19. Regiones de identificación de la manzana.	70
Figura. 20. Manzanas escaldadas por ambos métodos.	94
Figura. 21. Fotografía de manzanas comparativas.	94
Figura. 22. Fotografía de las mitades escaldadas por los dos métodos.	95

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS.

Cuadro 1. Características de las variedades comerciales de Manzana	2
Cuadro 2. Composición química proximal de la manzana.	6
Cuadro 3. Composición química proximal de variedades de manzanas.	7
Cuadro 4. Condiciones de almacenaje en atmósferas controladas para manzana red delicious.	14
Cuadro 5. Composición de soluciones iluminante C.	29
Cuadro 6. Composición de soluciones iluminante B.	30
Cuadro 3.1. Temperatura y tiempo en cada zona del horno.	78
Cuadro 3.2. Tiempo y calor en cada zona	79
Cuadro 3.3 Calores obtenidos usando agua y manzanas	81
Cuadro 3.4. Efecto del calor en pérdida de peso.	83
Cuadro 3.5. Gráfica de pérdida de peso.	83
Cuadro 3.6. Diámetros de las manzanas.	84
Cuadro 3.7. Alturas de las manzanas.	84
Cuadro 3.8. Gráfica de pérdida de altura.	85
Cuadro 3.9. Valores de espacio de color L, a y b	86
Cuadro 3.10. ΔE 's evaluadas en la experimentación	87
Cuadro 3.11. Gráfica de las ΔE 's evaluadas.	88
Cuadro 3.12. Efecto del calor sobre la textura.	90
Cuadro 3.13. Porcentaje de pérdida de textura.	90
Cuadro 3.14. Comportamiento de la textura antes y después.	91
Cuadro 3.15. Cantidad enzimática no inactivada.	92

RESUMEN.

En el presente trabajo se utilizó un horno de microondas como opción de escaldado de manzanas de la variedad red delicious. Como se sabe en el método tradicional se utilizan grandes cantidades de agua caliente o vapor saturado, lo cual implica un alto costo para un proceso lento, en el cual se desechan grandes cantidades de aguas residuales. La aplicación de las microondas a los alimentos nos asegura un menor daño físico y químico, mayor rapidez de proceso y sobre todo nos permite un calentamiento uniforme del centro hacia la superficie del alimento.

Las zonas de la manzana que se sometieron a mediciones de diámetro, altura, peso, color y textura antes y después del escaldado se identificaron con cinta de color, lo anterior para cerciorarnos de que se analizaban las mismas regiones, y fueron las siguientes: centro y parte posterior de la manzana y parte superior de la misma de lado derecho e izquierdo. Las mediciones se realizaron utilizando un colorímetro MINOLTA, empleando las escalas color de espacio $L^* a^* b^*$ y $Y^* x^* y^*$, las cuales se convirtieron, mediante ecuaciones en ΔE , y como mínima se obtuvo 1.77 y máxima de 9.86. Para textura se empleó una prueba destructiva utilizando el texturómetro TA-XT2 (Texture Analyzer), el cual tiene el mismo funcionamiento que un penetrómetro tradicional, que nos crea directamente las gráficas de la penetración en computadora. De éstas gráficas se utilizaron los puntos más altos de cada penetración y se realizó una comparación entre las gráficas antes de escaldar y las ya escaldadas, de aquí se obtuvo la variación de pérdida de textura ocurrido por el tratamiento térmico, que como máximo se presentó de 79.62% y como mínimo de 67.28%.

RESUMEN.

Para la realización de la experimentación se utilizó la región seis, ubicada en la parte central posterior del horno de microondas, y en ese punto se colocaron las manzanas y se sometieron a diferentes tiempos de calentamiento, determinándose que el tiempo óptimo de escaldado es de 1:15 minutos a la potencia 10, ya que las manzanas al partirse a la mitad presentan una textura más homogénea aunado a que los cambios de color y textura son mínimos. Es muy importante que el calor aplicado al alimento sea el adecuado, es decir, que no sea menor ya que no se realiza completamente la inactivación de las enzimas, y si es mayor se daña el tejido del mismo. Para la corroboración de lo anterior se aplicó la ecuación de cinética de destrucción de organismos, ya que ésta nos permite calcular la cantidad de enzimas inactivadas, lo que implica conocer que tan bueno fue el proceso térmico al que se sometieron las manzanas, el porcentaje máximo de inactivación fue del 0.215%, lo cual indica que al utilizar cualquier tiempo de exposición a las microondas se efectúa un buen proceso de escaldado.

INTRODUCCIÓN.

La manzana es una de las frutas más utilizadas en la industria de los alimentos, además de ser una de las de mayor producción a nivel nacional. El empleo de las manzanas es muy variado, va desde consumo en fresco, purés, concentrados, sabores y jugos, entre otros. De los usos mencionados anteriormente la mayoría necesita el escaldado como operación previa a cualquier procesamiento, ya que al inhibirse las enzimas se tienen como principales ventajas la disminución del pardecamiento enzimático, es decir un mayor tiempo de espera del alimento sin que éste sufra alguna modificación en su aspecto; cambios en los carotenos (Braverman, 1980); ablandamiento del tejido, facilitando posteriores manipulaciones; reducción del volumen aparente, simplificando su acondicionamiento en embalajes; y la inactivación de la carga microbiana. (Cheftel, 1976).

De los distintos métodos para efectuar el escaldado y obtener la inactivación enzimática encontramos que la aplicación de calor es la técnica más empleada, y se realiza tradicionalmente utilizando como medio calefactor agua caliente o vapor saturado. Las desventajas de ésta operación son las siguientes: a) formación de compuestos olorosos. b) pérdida de nutrientes. c) degradación de antocianinas. d) reblandecimiento del tejido celular. (Cheftel, 1976). Todo lo anterior puede ser ocasionado por un tiempo excesivo de calentamiento, el medio calefactor posee temperatura más alta, la madurez y dimensiones de las manzanas no son homogéneas o suficientes para soportar dichas condiciones.

INTRODUCCIÓN.

Por lo anterior se sugiere el empleo de las microondas para efectuar el escaldado, aclarando que las microondas no calienta. A continuación trataremos de explicar brevemente lo anterior.

La generación de microondas en el horno comienza con la propagación de la energía electromagnética, la cual es convertida en calor. (Mathlouthi, 1994). La propagación de las ondas se da en tres direcciones perpendiculares al horno, estas son: de la cima al fondo, lado a lado y del frente hacia atrás. Lo cual implica que los alimentos reciben una fuerza alternada en tres direcciones ortogonales a 2.45 billones de veces por segundo. El campo de las microondas es una forma de energía, y las microondas se convierten en calor por la interacción con partículas cargadas y moléculas polares; por lo anterior se define calor como la agitación o excitación de partículas o moléculas donde la temperatura de las partículas se incrementa. (Buller, 1993). Se debe recordar que en un horno de microondas, los alimentos son puestos en un campo electromagnético a temperatura ambiente y el calor es generado por los propios componentes del alimento. Es importante reconocer que las microondas son una forma de energía no una forma de calentamiento y son sólo manifestaciones de calor. (Robertson, 1993)

El empleo de las microondas para llevar a cabo el escaldado implica una disminución de daños físicos y químicos de las manzanas, principalmente en textura y color, garantizando que aunque sea menor el tiempo de exposición a las microondas, el calor se transfiere a toda la manzana asegurándonos la inactivación enzimática y microbiana. Por lo que el objetivo de éste trabajo es establecer el efecto del escaldado por microondas sobre la variación del color y textura en las manzanas red delicious a través de la variación de tiempos de exposición para demostrar que es una opción alterna al escaldado tradicional.

Objetivo general.

Establecer el efecto del escaldado por microondas sobre el cambio del color y textura en las manzanas variedad red delicious a través de la variación de tiempos de exposición para demostrar que es una opción alterna al escaldado tradicional.

Objetivos particulares.

1. Determinar la zona de mayor calentamiento dentro del horno de microondas para establecer la región de experimentación, mediante el cálculo de calor absorbido por agua.
2. Determinar la variación en el color y la textura de manzanas sometidas a escaldado empleando microondas, mediante la utilización de métodos instrumentales en las manzanas, antes y después del proceso.
3. Analizar los resultados obtenidos al escaldar las manzanas a diferentes tiempos de exposición, para establecer el mejor tiempo en el cual deben escaldarse las manzanas dentro de un horno de microondas.

Hipótesis general.

La pérdida de color y textura de las manzanas después del escaldado por microondas serán mínimas al compararlas con sus parámetros iniciales de color y textura.

Capítulo 1

GENERALIDADES

1.1. Manzana. Antecedentes.

1.1.1. Características generales de la manzana.

La manzana es un pomo, proviene de un ovario de varios carpelos, en su estructura lleva vestigios de la flor, es una fruta firme y jugosa.

Se conocen alrededor de 2000 a 3000 variedades de manzanas, todas éstas especies y variedades se derivan de la *Malus pumila Mill.*, sin embargo solo se cultivan comercialmente 30, la importancia de éstas radica en que presentan un largo periodo de maduración, aproximado a 100 días, y pueden almacenarse por un tiempo prolongado en refrigeración o en atmósferas controladas. Su principal uso es como postre, en la elaboración de pasteles, jugos y néctares, vinagre, vinos, esencias y enlatados. (Macrae, 1993). En el cuadro 1. se presentan las características principales de las manzanas más consumidas.

Cuadro 1. Características principales de las seis variedades manzanas más comerciales.

Variedad	Características de la piel	Características físicas	Método de conservación	Fotografía
Golden delicious	Amarilla, delgada y resistente cubierta con lenticelas y pequeñas manchas de color gris.	Más larga que ancha, con pulpa blanco amarillenta firme, fina, jugosa y perfumada	Buena conservación en cámaras de atmósferas controladas.	

Variedad	Características de la piel	Características físicas	Método de conservación	Fotografía
Granny Smith	Color verde intenso el cual se hace claro con la madurez. lenticelas de color blanquecino	Esférica y simétrica. Presenta sensibilidad al escaldado en las cámaras frigoríficas.	Se conserva por largos periodos en refrigeración.	
McIntosh	Color rojo uniforme, piel frágil.	Pulpa blanca, la cual no se oxida tanto en comparación con otras variedades.	Se conserva en frío a 0°C y en atmósferas controladas necesita 5% de CO ₂ y una porción baja de O ₂	
Jonathan	De color rojo más o menos intenso.	De forma redondeada, regular, con costillas pronunciadas alrededor del cáliz.	No admite conservación prolongada en frigoríficos por la presencia de manchas negras en la piel.	

Variedad	Características de la piel	Características físicas	Método de conservación	Fotografía
Mingán	Ligeramente rosada en la zona de insolación.	Forma más alargada que ancha, pulpa firme y de buena calidad.	Larga conservación en cámaras frigoríficas o almacenes fruteros.	
Red delicious	Color rojo más o menos intenso con punteado amarillo.	Pulpa azucarada, jugosa ligeramente acidulada y muy aromática. De diámetro mayor en la parte superior con costillas rodeando la fosa calicina.	Se conserva en cámaras frigoríficas, en almacenamientos prolongados la carne se vuelve harinosa.	

(Álvarez, 1989).

1.1.2. Desarrollo fisiológico.

El crecimiento de la fruta en la flor, ver la Figura 1.a, se caracteriza por un periodo corto de división celular, arriba de seis semanas después de la floración completa, seguida por el alargamiento de la célula y del crecimiento de los espacios intercelulares. El ovario y el tejido con la línea interna crece más rápidamente que la mayor porción de la corteza exterior, la cual se hincha con el tiempo mientras que las semillas llegan a la floración. En la Figura 1.b se presentan las principales partes de la manzana.

Las células epidérmicas se convierten en la capa fundamental del envasado y cerrado del fruto, las células hipodérmicas son aplastadas y aumentan de longitud, la capa encerada crece sobre la epidermis y se extiende entre las células epidérmicas. El agua y nutrientes pasan dentro

de la fruta a través del pedúnculo, el cual se divide en la capa vascular, la cual se esquematiza en la Figura 1.c.

Las manzanas son descritas como esféricas, pero su diversificación de especies y variedad las hacen cónicas alrededor de 0.5 a 30 cm de diámetro. En muchos casos el color de la superficie es verde, cambiando a amarillo con su madurez. Algunas varían de rojas a cafés. (Ensiminger, 1994).

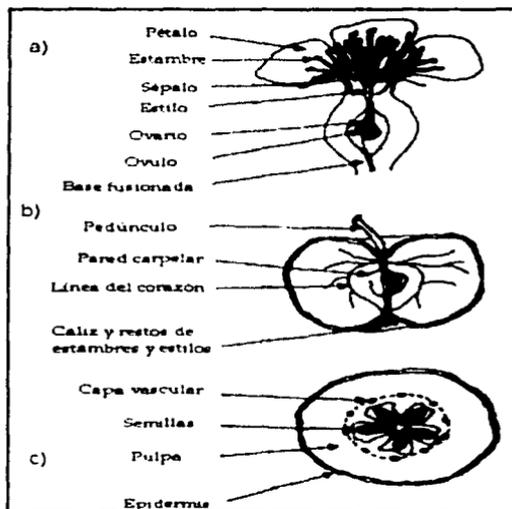


Figura 1. Esquemas de la flor y la manzana. a) Crecimiento de la fruta en la flor, b) principales partes de la manzana, c) división de la capa vascular. (Macrae, 1993)

1.1.3. Composición química.

La mayor parte del peso fresco es agua, el intervalo de éstas varía por el árbol, el almacenamiento, la variedad y si es alterada por el tratamiento del huerto y otros efectos climáticos. En el Cuadro 2. se expresa la composición química aproximada de las manzanas. (Ensiminger, 1994). La materia seca esta compuesta principalmente de azúcares como el sorbitol, sacarosa y glucosa, y menores cantidades de ácidos y materiales estructurales como la celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas, las cuales están formadas por sacáridos como son la glucosa, galactosa, manosa, rabinosa, xilosa, raminosa, ácido galacturónico y ácido glucurónico, además de la reserva de carbohidratos como almidones y las proteínas. (Belitz, 1997).

Cuadro 2. Composición química proximal de la manzana.

COMPONENTE	CANTIDAD
Extracto seco	15.0 %
Agua	85.0 %
Azúcares totales	11.1 % Sorbitol 300-800 mg/100ml Glucosa 1.8mg Sacarosa 2.4mg Fructosa 5.0mg
Ácidos totales	0.6 ácido málico
Fracción insoluble	2.1 %
Pectina	1.6 %
Cenizas	0.3 %
pH	3.3

(Belitz, 1997).

Al realizarse la cosecha, los principales azúcares que contiene la manzana son la sacarosa y fructuosa, en proporciones aproximadamente iguales, con menos glucosa. Alrededor del 90% del ácido es málico. La concentración de ácido cítrico puede variar de 50 a 300 mg/kg. Los compuestos fenólicos, algunos de los cuales dan astringencia a la manzana, contribuyen con otro 0.2%. Los residuos de clorofila, antocianinas y carótenos imparten color a la manzana, el aroma resulta de la mezcla de 250 o más ésteres volátiles, alcoholes, aldehidos, aceites esenciales, etc. El potasio es el principal de los minerales.

Un kilogramo de manzana fresca provee aproximadamente 2,100 kj (500Kcal) de energía. En el Cuadro 3. se presenta el análisis químico proximal de diferentes variedades de manzanas.(Ensiminger, 1994).

Cuadro 3. Composición química aproximada (Kg por peso fresco) de cinco variedades de manzanas cuantificados antes de la cosecha.

Variedad	Materia seca (g)	Azúcares Totales (g)	Azúcares Reductores (g)	Ác. Málico (g)	Almidón (g)	Pectina (g)
Golden delicious	140	127	107	3.7	5	11
Red delicious	145	121	105	2.4	10	12
McIntosh	137	116	86	5.6	5	9
Cox's Orange	150	120	70	7.0	5	7
Bramley's Seedling	125	90	60	12.5	4	8

Variedad	N (mg)	K (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Ca (mg)
Golden delicious	360	1060	100	40	50
Red delicious	420	1150	80	50	47
McIntosh	400	1330	100	440	50
Cox's Orange	650	1300	130	50	50
Bramley's Seedling	550	1100	100	40	40

(Ensiminger, 1994).

1.1.4. Madurez de la manzana.

La madurez es la característica que necesita la fruta para estar en condiciones de comerse o para ser recolectada a fin de que sazone más. La sazón es la condición óptima cuando el color, sabor y textura han llegado al punto más alto de su desarrollo. Todo el proceso esta regulado por hormonas de la misma planta. (Potter, 1978).

Antes de que se observen variaciones en color, textura, sabor y astringencia, se perciben cambios en la respiración, la cual tiene como indicador la cantidad de dióxido de carbono producido.

Se llama climaterio al aumento de la respiración y al estímulo de la producción de gas etileno. Aparentemente el etileno indica la maduración, aunque pueden participar otros factores. La curva de climaterio de la manzana se observa en la Figura 2., donde se muestra claramente el aumento del etileno a partir de la madurez hasta la senescencia.

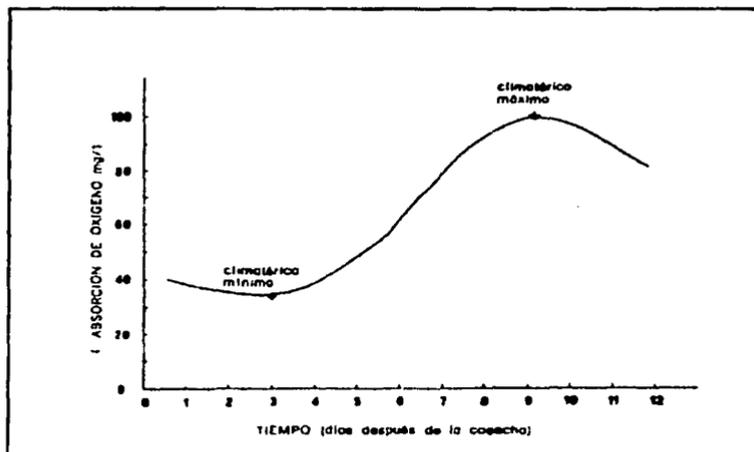


Figura. 2. Gráfica de la actividad respiratoria de la manzana relacionada con la producción de etileno y el almacenamiento. (Downing, 1989)

La síntesis de las enzimas que se involucran en las reacciones bioquímicas asociadas a la madurez de la fruta tienen lugar durante la fase temprana de la maduración. La madurez se ve acompañada por un aumento de nitrógeno.

Los ácidos orgánicos decrecen con la madurez. La manzana utiliza el ácido málico para incrementar el metabolismo del tejido, iniciándose durante el mínimo climaterio. Los cambios de los ácidos orgánicos y del pH resultantes pueden influenciar el sabor y el color de los pigmentos como las antocianinas, que son los pigmentos principales que proporcionan el color a la manzana y son destruidos durante el procesamiento y el almacenamiento degradándose a color marrón, en la Figura 3. se puede apreciar su estructura química. (Braverman, 1980 y Markakis, 1982).

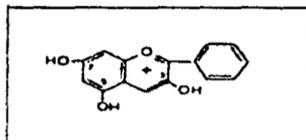


Figura. 3. Estructura química de las antocianinas. (Braverman, 1984).

El almidón desaparece gradualmente al madurar la fruta y el contenido de azúcar aumenta.

El ablandamiento del tejido de la manzana aparece debido al rompimiento de la sustancia péctica y protopectina. Las cadenas de la protopectina pueden formar enlaces con el calcio y con los puentes de hidrógeno dando firmeza a la fruta no madura.

Los cambios de sabor se deben a un decremento de ácidos orgánicos y al aumento de azúcares, lo cual cambia el balance entre el azúcar y el ácido. Un decremento en componentes polifenol se puede relacionar con el decremento de astringencia. (Bennion, 1980).

En la composición de las manzanas se encuentran enzimas dañinas que pueden clasificarse en tres categorías principales:

1. Enzimas poco específicas, que provocan al mismo tiempo modificaciones del color, aroma y otros caracteres. Se trata principalmente de enzimas oxidativas, tales como la catalasa y la peroxidasa. La catalasa da lugar a la formación de oxígeno a partir de peróxido de hidrógeno:



La peroxidasa cataliza la deshidrogenación directa del peróxido de hidrógeno o de peróxidos orgánicos de diversos sustratos:



2. Enzimas que originan la formación específica de olores o sabores indeseables, como lo son las enzimas hidrolíticas, tales como las

lipasas, proteasas, amilasas, enzimas de la glicólisis anaerobia que transforman los glúcidos en etanol, acetaldehido, etc, lipoxidasas acelerantes de la oxidación, ácidos grasos no saturados con formación de compuestos carbonilos volátiles, de olor rancio.

3. Enzimas cuya actividad origina especialmente alteraciones de color, como son las polifenoloxidasas; responsables del pardeamiento enzimático. La clorofilasa, que degrada la clorofila. Hidroxidasas, originan la oxidación de carótenos. Enzimas amilolíticas, que pueden favorecer el pardeamiento no enzimático. Pectino-hidrolasas, que degradan las pectinas y por lo tanto modifican la textura del producto. (Cheftel, 1976).

1.1.5. Características de la madurez.

Los parámetros que determinan el momento óptimo para cosechar la fruta son los siguientes:

1. Color. Resulta evidente que las variedades rojas o rosadas por naturaleza habrán desarrollado su coloración característica, pero el estado de sazón de la manzana se indica por una pigmentación terrosa. Antiguamente para determinar el punto óptimo se utilizaban cartulinas, actualmente se utilizan colorímetros los cuales brindan una mejor referencia.
2. Dureza. En las regiones cuyo clima varia un poco de un año a otro la época de recolección, las manzanas alcanzan la madurez con una dureza uniforme, en estos casos el penetrómetro, el cual mide la fuerza necesaria para llevar a cabo la penetración del alimento..
3. Madurez. Se determina a través de la cantidad de sólidos solubles contenidos, en éste caso se determina analizando el jugo de la fruta por medio de un refractómetro y la acidez mediante una titulación frente a una solución alcalina.

4. Contenido de almidón. A medida que se desarrolla el fruto aumenta su riqueza en almidón, pero al aproximarse al punto óptimo de recolección se inicia su descenso. El almidón se colorea azul al tener contacto con el yodo, el cual se prepara con 0.5g de yodo y 1.5g de yoduro de potasio diluido en 25ml de agua, de aquí que si en la superficie de cortes se aplica ésta solución, el área tendrá una coloración azulada. Cuando el almidón represente 2/3 del máximo nivel conseguido se determina el momento óptimo de recolección. (Fidler, 1984 y AOAC, 1990).

Ya que se determinó que es tiempo de realizar la cosecha se debe de tener cuidado, debido a que las manzanas se magullan rápidamente durante ésta y la postcosecha. Para la venta en fresco se prefiere la recolección manual. Los recolectores mecánicos son aceptables por el sacudido del árbol o la rama, combinada con un recolector se recomiendan para árboles grandes y si la fruta se va a destinar a proceso. Otro tipo de maquinaria arrastra la fruta en ráfagas de aire encima de un cojin que las conduce a un lecho, esto se utiliza principalmente en árboles enanos.

El primer paso después de la cosecha es remover el calor de campo tan rápido como sea posible. Las manzanas son transportadas en huacales de madera o plástico soportando de 300-700 kg de fruta, dependiendo de la variedad, susceptibilidad y presión que soporte. (Esiminger, 1994).

1.1.6. Postcosecha.

El primer paso después de la cosecha es remover el calor de campo tan rápido como sea posible. Las manzanas son transportadas en huacales de madera o plástico soportando de 300-700 kg de fruta, dependiendo de la variedad, susceptibilidad y presión que soporte. (Esiminger, 1994).

Las manzanas se almacenan para reducir la respiración de la fruta retardando la madurez y minimizando las pérdidas, desórdenes ola

senescencia. La selección de las condiciones de almacenamiento dependen de la susceptibilidad de la variedad de la manzana hacia los daños causados por las temperaturas bajas, concentración de gases y por interacciones entre la temperatura y la concentración de gases del almacén.

Principalmente se utilizan cuatro formas de almacenamiento de la fruta en fresco, las cuales son:

1. Refrigeración. Es la más simple y rápida, se guarda la fruta en cajas apiladas en compartimentos ventilados con aire frío, la temperatura óptima, se recomienda utilizar -1° a 0° , se mantendrá a través de la recirculación del aire. (Downing, 1989)
2. Atmosferas controladas. Este almacenamiento es un sistema para producir una atmósfera que difiere sustancialmente del aire con respecto a la proporción de nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), o dióxido de carbono (CO_2). Las cantidades de oxígeno y dióxido de carbono son normalmente controladas con un más menos 1%. Ocasionalmente se agregan otros gases como monóxido de carbono a bajas concentraciones para prevenir el oscurecimiento. Una atmósfera típica está compuesta por 3% de oxígeno y de 3 a 5% de dióxido de carbono a $0^{\circ}C$. existen dos modificaciones al almacenamiento de atmosferas controladas, uno de ellos es a baja concentración de oxígeno, en donde se mantiene el oxígeno del 1 a 2%. Al emplear este método se obtiene una mayor vida del producto, aunque se debe de monitorear cuidadosamente para evitar el metabolismo anaeróbico que produce acumulación de alcohol y formación de aldehidos, por consiguiente cambio de sabor, y daños en el tejido. El otro método es a bajas concentraciones de etileno, en éste, al cosecharse las manzanas en el climaterio, cualquier generación de etileno por la fruta se barre del cuarto por vacío, por absorción química, convertidores catalíticos o por corriente de aire del medio ambiente. En el Cuadro 4. se presentan las

concentraciones de gases para la variedad red delicious. (Esiminger, 1994, Downing, 1989 y Lioutas,1988).

Cuadro 4. Condiciones de almacenaje en atmósferas controladas para manzanas variedad red delicious.

Variedad	Temperatura (°C)	Oxígeno (%)	Dióxido de carbono (%)
Red delicious	-0.5	2	1

(Downing, 1989).

3. **Atmósferas modificadas.** Con este método se asegura la conservación de la manzana en perfectas condiciones para ser consumida en fresco. La fruta se envuelve en un empaque, los cuales son elaborados con películas plásticas escogidas, con las cuales se prevé una concentración de gas ideal alrededor de la fruta con un sellado hermético. (Lloyd,1982)
4. **Congelación.** Es un buen método de conservación, la cual radica en la disminución de la temperatura, generalmente entre -20 °C a -30 °C, lo cual permite que las reacciones bioquímicas sean más lentas y además inhibe la actividad microbiana. Durante el proceso se solidifica el agua libre presente en el alimento a una temperatura habitual de -18 °C, disminuyendo así la actividad del agua del sustrato. Como se sabe el agua es el principal componente de cualquier fruta, una parte de esta agua esta ligada en diversos niveles, que son: complejos macromoleculares, estructuras gelificantes o fibrosas en el interior de las células y en los carbohidratos. Como desventajas del proceso se tiene que el agua del alimento puede formar cristales de hielo que modifiquen el producto a través del rompimiento de células, los componentes celulares solubles pueden causar la saturación y precipitar, se modifica el pH que afecta a los compuestos coloidales, cambios en la presión osmótica que puede romper membranas semipermeables. (www.geositic.com)

1.2. Proceso de escaldado.

Los alimentos están formados por compuestos proteínicos llamados enzimas, las cuales pueden facilitar el deterioro de los alimentos, por lo cual antes de someter a las frutas a algún proceso, como pelado o prensado, es recomendable escaldarlas, ya que en su mayoría, éstas son termolábiles. El escaldado es una operación unitaria, en la cual se busca la inactivación de enzimas de frutas u hortalizas a través de la aplicación de calor. Generalmente se combina con el pelado y/o la limpieza de la fruta u hortaliza.

Se debe tener cuidado de que el proceso no sea demasiado débil ya que sería inefectivo, lo cual implica que el calor aplicado provoque el rompimiento de los tejidos que con lleva a la liberación de sustratos y no a la inactivación de las enzimas, lo que aceleraría la reacción enzimática. Además de que podría inactivar solo algunas enzimas y activar otras lo que aceleraría el proceso de alteración. Pero tampoco debe ser el proceso muy fuerte porque dañaría la composición física del alimento. En sí, el escaldado no es un método de conservación, sino un pretratamiento aplicado en las manipulaciones de preparación de la materia prima o previa a otras operaciones de conservación. (Potter, 1978 y Fellows, 1994).

En cualquier alimento con alto contenido de catalasa y peroxidasa si no se lleva a cabo el escaldado la actividad enzimática continúa provocando cambios en la clorofila o carótenos, lo que se traduce en: pardeamiento enzimático, modificación del sabor de los carbohidratos, provoca la rancidez de los aceites, cambia el sabor o valor nutritivo de las proteínas o efectúa cambios en la textura de los alimentos por medio de las enzimas pectolíticas. (Braverman, 1984).

La inactivación se da a partir de la pérdida de la estructura de los sitios activos como resultado de la desnaturalización. La velocidad con que se lleve a cabo la inactivación térmica depende de parámetros como: pH, fuerza iónica y estado físico de la enzima. (Cheftel, 1976). Además de

factores de la fruta como son el tipo de fruta, el tamaño, la temperatura de escaldado y el sistema de calentamiento. (Fellows, 1994).

Además de la inactivación de enzimas, en el escaldado tradicional, se logran los siguientes puntos:

1. Ablandar el tejido vegetal de modo que pueda soportar las manipulaciones posteriores y reducir su volumen con el fin de hacer posible su acondicionamiento en los embalajes.
2. Eliminar el aire y otros gases de los espacios intracelulares, para disminuir las reacciones de oxidación.
3. Aumentar la permeabilidad de las paredes celulares, lo que aumenta la velocidad de deshidratación y facilita la posterior rehidratación.
4. Reduce la carga microbiana, lo que contribuye al efecto conservador de operaciones subsiguientes.
5. Destruye las enzimas que pudieran originar alteraciones, especialmente durante el almacenamiento en estado deshidratado o congelado. (Cheftel, 1976).

1.2.1. Métodos de escaldado.

Los dos métodos de escaldado comercialmente más empleados son:

1. Manteniendo durante dos o tres minutos el alimento en una atmósfera de vapor saturado; o
 2. Sumergir el alimento en un baño de agua caliente.
- El éxito comercial de un determinado sistema de escaldado reside en aumentar el rendimiento del producto.

En el caso del empleo de agua en el escaldado, ésta no afecta la calidad del producto o su rendimiento, ya que se recicla la misma, para lo cual es necesario tener estándares de higiene tanto para el producto como para las instalaciones.

1. Escaldadores de vapor.

Es el método de elección para alimentos de gran volumen, como la manzana y duraznos. El escaldador esta formado por una banda transportadora que conduce al alimento por una atmósfera de vapor. El tiempo de permanencia se controla variando la velocidad de la banda. En este proceso los alimentos no se calientan uniformemente en todo el espesor de la carga de la banda. La combinación tiempo/temperatura adecuada para lograr la inactivación enzimática en el centro de la carga, provoca un sobrecalentamiento de los alimentos situados en la parte externa, por consiguiente el deterioro de su textura y características organolépticas. Los equipos que podemos encontrar de este tipo son:

- a) Sistema de escaldado rápido (IQB).
- b) Escaldadores discontinuos de lecho fluidizado.

2. Escaldadores por agua caliente.

En estos se mantiene el alimento por cierto tiempo en agua caliente a 70 °C-100°C y enseguida se trasladan a la sección de escurrido. Como desventajas presentan pérdidas muy elevadas en compuestos hidrosolubles como son las vitaminas, minerales y carbohidratos. Se elevan los gastos por el consumo de agua, aunado al riesgo de contaminación por bacterias termofílicas. Como ventaja presenta mayor eficacia energética que los escaldadores a vapor. Para evitar los cambios en pigmentos se recomienda adicionar carbonato sódico u óxido de calcio para proteger la clorofila. Los equipos de este tipo son:

- a) Escaldador tipo reel blancher.
- b) Escaldadores de tubo.
- c) Escaldador-enfriador.

3. Escaldadores por microondas.

Aunque el empleo de estos a nivel industrial no es muy amplio se está tomando en cuenta por las características que ofrece al

producto escaldado. Encontramos que por afectar las microondas principalmente las partes del alimento con mayor cantidad de agua hacen más rápido el calentamiento, además de que el daño térmico que produce la radiación es mínimo y no provoca cambios en color. Las instalaciones son compactas, limpias y se controlan de forma automática. (Fellows, 1994).

1.3. Métodos físicos de medición.

1.3.1.1. Textura.

Existe una gran cantidad de definiciones de textura, sin embargo se puede decir que la textura de los alimentos tiene las siguientes características.

1. Es un grupo de propiedades físicas que se derivan de la estructura del alimento.
2. Pertenecen a las propiedades físicas de la mecánica y la reología. Se excluyen las propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas, la temperatura y las propiedades térmicas de la definición de textura.
3. Consiste en una serie de propiedades, no en una sola.
4. La textura se percibe por el sentido del tacto, usualmente por la boca.
5. No se relaciona con el sentido químico de probar u oler.
6. La medición significa involucrar la masa, la distancia y el tiempo solamente.

Por lo tanto como la textura es un número de diferentes sensaciones físicas, nos referiremos a ella como propiedades de textura, y las definimos como:

Las propiedades de textura de un alimento son un grupo de características físicas que se originan de los elementos estructurales del mismo, son percibidos por el sentido del tacto, se relacionan con la deformación, desintegración del alimento bajo una fuerza, y son medidos

objetivamente con funciones como son la masa, tiempo y distancia. (Bourne, 1982).

En otra definición se encuentra que la textura no es solo un atributo de la calidad sensorial de un alimento, sino que se compone por varios atributos percibidos por los sentidos humanos y después son integrados por el cerebro como una impresión total de calidad.

Una definición más cercana dice que es la manera o disposición de la unión de las partículas de un cuerpo, de diferentes tipos de células y tejidos en el alimento que se pueden considerar como la textura del alimento. (Sherman, 1979).

Para la realización de este trabajo tomaremos la primera definición - Bourne, 1982- como la más apropiada para la experimentación, ya que se evaluará la textura de las manzanas a partir de la resistencia que éstas opongan a la fuerza del texturómetro.

Dentro de la medición de la textura se tienen varios términos importantes, los cuales se definen a continuación:

Fuerza y deformación. Estos dos fenómenos coexisten dentro del alimento. *La fuerza* es una influencia, la cual causa un cambio en el estado de un material o el cual mantiene un material elástico en una configuración deformada. El movimiento puede consistir en una rotación que no involucra un cambio en la posición relativa de partículas dentro de la masa (movimiento de un cuerpo rígido), y por lo tanto ocurre un cambio en la posición relativa de las partículas dentro del cuerpo.

La deformación es el término generalmente utilizado en referencia a los sólidos. Las deformaciones en general, pueden ser conservadas o disipadas con respecto a la energía mecánica dentro del material deformado.

Presión y tensión. Como resultado de la aplicación de una fuerza, un cuerpo experimenta una deformación, por lo que el cuerpo también desarrolla una presión y tensión interna.

Presión. Es la intensidad a un punto dado, dentro o sobre la superficie de un cuerpo, ésto se expresa en términos de fuerza por unidad de área. Se

habla de tensión compresión (σ) y presión de ruptura (τ); de las dos la tensión se considera positiva.

Tensión es la expresión matemática de un cambio en el tamaño o forma de un cuerpo con referencia a su forma y tamaño original. La tensión es un parámetro no dimensional (razón o por ciento), pero es frecuentemente expresada en pulgadas por pulgada o centímetro por centímetro.

Firmeza. Es una característica de la textura que describe un producto el cual, durante la penetración, tiene una resistencia media al rompimiento.

En manzanas es frecuente utilizar pruebas de penetración utilizando un penetrómetro, ya que valora objetivamente la firmeza. Esto no es una base para asumir una relación inherente entre la fuerza de penetración y el módulo elástico, ya que no basta por suponer una correlación entre el módulo de elasticidad y el tipo de penetración para medir la firmeza en las manzanas. Las pruebas indican que éste tipo de correlación es en realidad variable y despreciable. (Kramer, 1973).

1.3.1.2. Propiedades de estructura y textura de alimentos.

Las propiedades de los alimentos se ven influenciados por su estructura interna. Se ha establecido una relación no detallada entre las propiedades viscoelásticas de frutas y verduras en general y sus estructuras celulares. Las microfibrillas celulares son el marco de las paredes de las células y los espacios entre ellas son llenados con una gran variedad de materiales como la hemicelulosa, lignina, etc., de acuerdo al tipo de tejido. Una analogía puede ser dibujada entre la pared celular de la estructura y láminas artificiales y materiales obligatorios para proveer fuerza y rigidez para una resistencia a la deformación.

Somers en 1972, sugirió que las paredes celulares de las plantas son las principales responsables de un comportamiento viscoelástico. La interacción entre las pectinas y los componentes de la pared celular tienen

una gran influencia sobre las propiedades de textura de la manzana. (Kramer, 1973).

1.3.1.3. Métodos de medición.

Aunque la textura es una propiedad sensorial, ésta se puede medir por métodos físicos.

Szczesniack en 1973 clasificó las mediciones de textura en las siguientes divisiones: 1. Penetrómetros. 2. Compresímetros. 3. Mecanismos de rompimiento. 4. Mecanismos para cortar. 5. Masticómetros. 6. Consistómetros. 7. Viscosímetros. 8. Mediciones de extrusión. 9. Unidades multipropuestas. 10. Texturómetros.

La investigación de métodos instrumentales para medir la textura de un alimento no es un nuevo desarrollo. En 1905 Hankoczy diseñó un aparato para medir la resistencia del gluten, en 1907 Lechman diseñó dos instrumentos para probar la blandura de la carne. (Kramer, 1973)

Un gran número de instrumentos para medir la textura han sido diseñados y descritos en la literatura. Cada uno de los instrumentos solo detecta una porción de los parámetros y algunos una porción mayor. Solo los humanos pueden percibir, analizar, integrar e interpretar totalmente este espectro de textura y evaluar sus características. Además el concepto de textura es muy significativo solo cuando hay una interacción mecánica del humano con las propiedades físicas y químicas del alimento.

Muchos de los métodos instrumentales de descripción de textura se basan en pruebas mecánicas, las cuales involucran la medición de la resistencia del alimento aplicando fuerzas más grandes que la gravedad. En general, todas las propuestas están formadas por cuatro elementos básicos:

1. Una sonda puesta en contacto con la muestra del alimento, esta puede ser un émbolo, un par de cortadores como mandíbulas, una forma de

diente, una varilla penetrante, un cono penetrante, un huso, una hoja cortadora o alambres cortadores.

2. Un mecanismo de manejo para impartir movimiento (vertical, horizontal, rotacional o como palanca), para probar o estimar si el ritmo es constante o variable, éste puede variar de un simple peso y un arreglo de polea a un sofisticado sistema hidráulico o un motor eléctrico.
3. Un elemento sensitivo de lectura el cual detecte la resistencia de la muestra alimenticia a la fuerza que se le aplicó. Puede ser un simple resorte o un sofisticado sistema hidráulico o un motor eléctrico.
4. Un sistema de lectura, el cual puede ser una carátula de fuerza máxima, un osciloscopio, un trazador de fuerza-distancia, una curva de fuerza-tiempo o un integrador electrónico, el cual registra la cantidad de energía consumida.

Existen pocos equipos que involucren la fuerza de gravedad. Algunos de éstos suplen la fuerza por el peso del material que se esta examinando, y el sistema de lectura usualmente consiste de una escala graduada (puede ser lineal o concéntrica) la cual permite determinar el grado de extensión después de un periodo y tiempo específico.

Dentro de las mediciones tenemos las técnicas destructivas y las no destructivas.

Muchas de las mediciones mecánicas de textura son destructivas, es decir, la fuerza aplicada excede a la fuerza de la prueba del alimento el cual se desintegra en el proceso, lo cual impide realizar varias pruebas a la misma muestra. (Kramer, 1973). Un ejemplo de un aparato de este tipo es el penetrómetro, que se aprecia en la Figura 4., la prueba de éste instrumento consiste en medir la fuerza requerida para empujar una fuerza dentro del alimento a una profundidad que cause un aplastamiento irreversible. La prueba de penetración se caracteriza por:

1. Un instrumento para medir la fuerza.

2. Penetración de un sensor de masa constante al alimento, con una fuerza suficiente para producir cambios irreversibles.
3. La profundidad de penetración es usualmente constante. (Sherman, 1979).

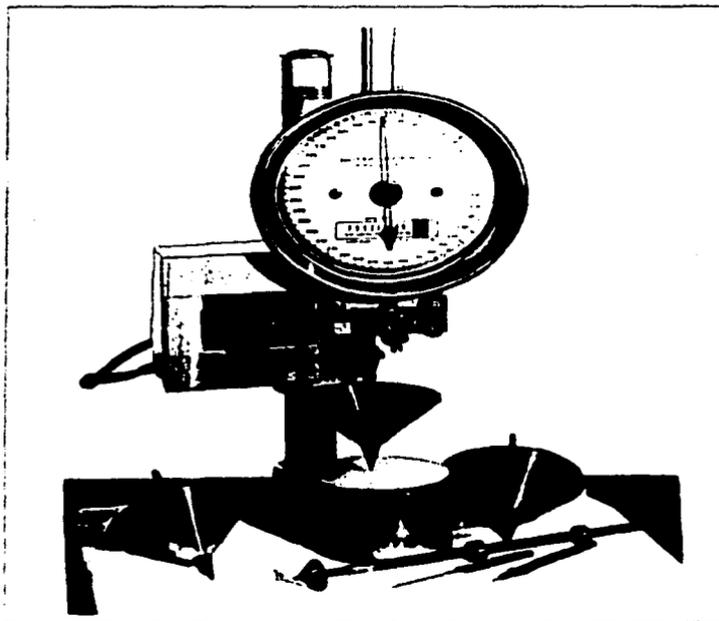


Figura. 4. Penetrómetro y aditamentos de empleo. (Sherman, 1979).

Bajo el mismo principio del penetrómetro se diseñó el texturómetro que para Szczesniak y Hall (1975), es una unidad compuesta de un plato soportado por un brazo flexible, el cual está unido a un péndulo y un resorte calibrado. El péndulo actúa sobre la muestra alimenticia; el resorte detecta la fuerza generada, la cual es grabada sobre una cinta.

General Foods Texturometer generó una curva, la cual es resultado de la fuerza como función del tiempo y se puede observar en la Figura 5., es la curva típica del perfil de textura tiene cinco parámetros medidos y dos calculados, originalmente nombrados por Szczesniak y Friedman, los cuales son:

1. **Fracturabilidad.** Se define como la fuerza en el primer rompimiento en la primera área positiva de mordida o perforación.
 2. **Dureza.** Es el pico de fuerza (PP1) durante el primer ciclo de compresión.
 3. **Cohesividad.** Es el radio del área de fuerza positiva durante el segundo ciclo de compresión hacia el área de fuerza positiva del primer ciclo de compresión.
 4. **Adhesividad.** Es el área de fuerza negativa para la primera mordida (NA1), representa el trabajo requerido para empujar el resorte hacia la muestra alimenticia.
 5. **Elasticidad.** Es la altura en la cual se recupera en el lapso de tiempo que ocurre entre el final de la primera mordida y el inicio de la segunda mordida.
 6. **Viscosidad.** Como el producto de la cohesividad y dureza.
 7. **Masticación.** Es el producto de la viscosidad y elasticidad.
- (Rao, M.A., 1986).

De éstos parámetros los más importantes en esta investigación son la dureza, ya que nos sirve para calcular la fuerza por unidad de área necesaria para penetrar un alimento a una cierta distancia.

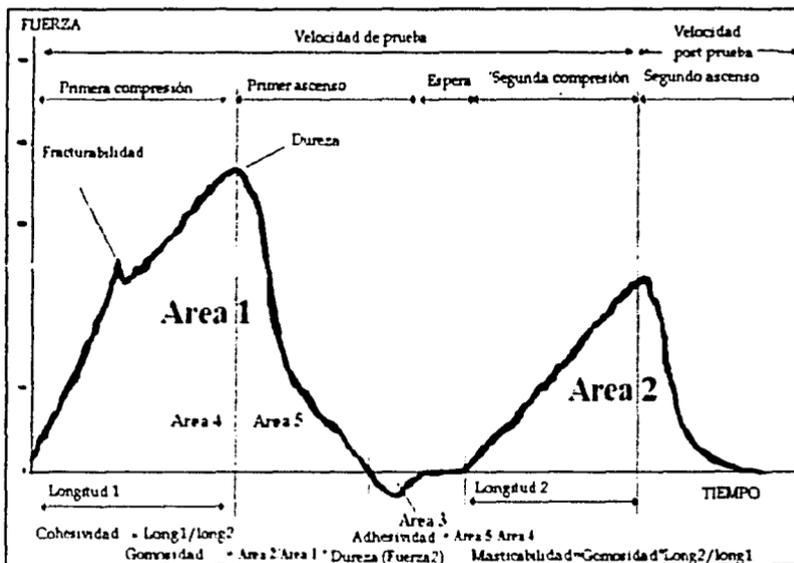


Figura. 5. Curva típica del perfil de textura con dos perforaciones en un ciclo de compresión. (Manual, texturómetro)

El equipo a utilizar durante la etapa experimental es un texturómetro **TA-XT2**, que se observa en la Figura 6., y es un analizador diseñado para dar una fuerza máxima de 5 a 25Kg, para pruebas de alta fuerza, tiene capacidad para pruebas de fuerza de 50, 100, 250 y 500 Kg y para la prueba de alcance de 774mm. El equipo es ideal para tensión y compresión cilíndrica, tensión y pruebas de relajación en alimentos.

Las pruebas cónicas son cuatro y se realizan con ángulos de penetración de 30° a 60° están disponibles para pruebas de penetrabilidad

en muestras con un comportamiento plástico. Los resultados obtenidos por la penetración del cono son relacionados con las mediciones reológicas definidas del alimento.

Como característica, utiliza métodos para pruebas definidas, además de calibración automática de fuerza y peso. (Manual del equipo).

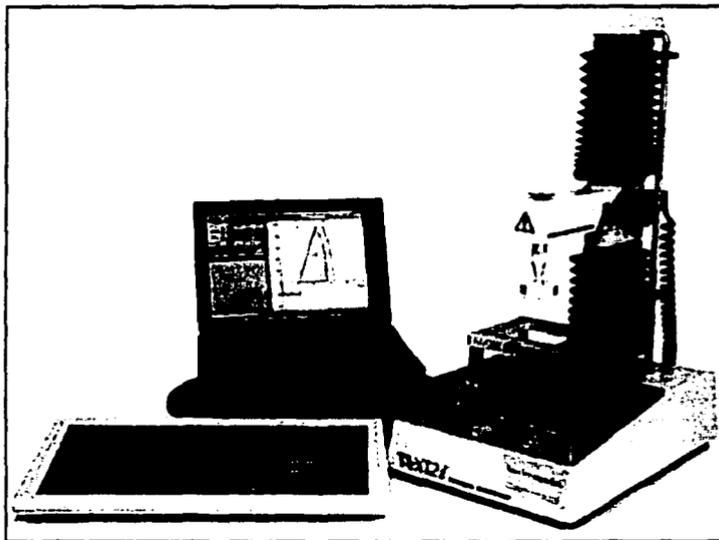


Figura. 6. Texture analyzer TA-XT2. (Manual, texturómetro).

1.3.2. Color.

El color es algo que nosotros observamos, es el resultado de la modificación física de la luz por los colorantes, como se observa por el ojo humano (a éste se le llama un proceso de perceptual) e interpretado por el cerebro. (Billmeyer, 1981).

El color es una de las tres cualidades atribuidas a un alimento junto con su sabor y la textura. Sin embargo, si el color no es atractivo, un consumidor no puede juzgar las otras dos.

El color de un alimento no es una característica física como el tamaño de una partícula, gravedad específica, etc., es una señal del cerebro humano que resulta en la percepción de la apariencia, la cual puede ser influenciada por un número de características físicas y una serie de percepciones fisiológicas como el color de un fondo. El ojo humano es un órgano muy sensible que puede detectar alrededor de 10,000,000 colores diferentes. El color como es visto por el ojo humano es una interpretación por el cerebro del carácter de luz que viene de un objeto, como se puede observar en la Figura 7. Es posible definir el color en un sentido puramente físico en términos de atribuciones físicas del alimento, pero este acercamiento tiene serias limitaciones de calidad. Un acercamiento más satisfactorio para definir el color en un sentido físico, tan agresivamente como sea posible, es interpretar el rendimiento en términos de como se ve el color en el ojo humano. (Fungi, 1991).

Desde el punto de vista físico, la producción de color necesita de tres factores:

1. Fuente de luz (iluminación).
2. Un objeto que es iluminado y que transmite esa luz.
3. El cerebro y el ojo que perciben el color.

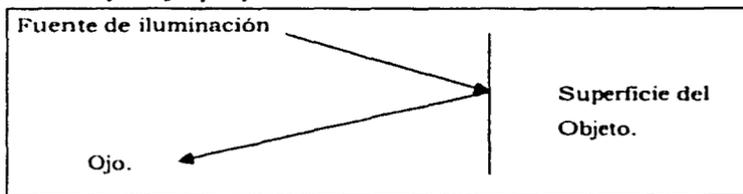


Figura. 7. Producción del color físicamente. (Billmeyer, 1981).

Alternativamente el ojo puede ser sustituido por un detector fotosensitivo y un equipo auxiliar que aproxime la acción de detectar la luz.

I. Objeto.

El objeto es aquel que puede absorber, o por el contrario reflejar o transmitir, una parte o la totalidad de la luz que se recibe. La proporción de la luz que se refleja o transmite puede variar según la longitud de onda de la luz incidente, debido a que los pigmentos absorben a diferentes longitudes de onda que otras. Así, el objeto resulta caracterizado por un espectro de reflexión.

II. Observador.

Se sabe que existen dos tipos de receptores visuales en la retina y que su percepción visual es diferente y está influenciada por la intensidad de la luz.

Un espacio que se construye de coordenadas podría representar, de forma regular, los factores psicológicos que modifican nuestra percepción de colores tales como: 1. El tono, 2. La variación o saturación (croma), 3. Claridad. (Cheftel, 1992).

III. Fuentes de iluminación.

Cualquier fuente de luz es solo un grupo de átomos radiados. Si se pudiera aislar a un átomo para estudiarlo, se encontraría que emite una radiación en una sola frecuencia o longitud de onda durante cualquier intervalo en el que sea radiado. Este tipo de radiación también se llama homogénea o monocromática. En raras excepciones, las fuentes de iluminación por las cuales se observan los colores no producen líneas de espectro. Las fuentes más comunes, como la del sol, el filamento o la lámpara de tungsteno, son sólidos incandescentes, ésta es la razón por la que la radiación de éste se encuentra independiente del material del que

esta compuesto, y solo depende de su temperatura. El radiador térmico más eficiente es un cuerpo negro. Cuando se analiza la radiación de un cuerpo negro por un prisma, se observa que todas las frecuencias o longitudes de onda están presente en él. Un espectro de éste tipo es llamado espectro continuo.

En 1931, la International Commission on Illumination adoptó una fuente teniendo como distribución de energía una iluminación estándar internacional que se pudiera emplear en colorimetría, excepto en condiciones especiales que se deba emplear otras fuentes. Este estándar es conocido como I.C.I. iluminante C.

El iluminante C representa la luz del día, la cual esta formada por una mezcla de componentes que se encuentran en proporciones iguales de espectro, opera a una temperatura de 6770 °K. La luz de una lámpara de tungsteno utilizando un filtro, operada a temperaturas adecuadas, produce una fuente muy aproximada a la luz de día, la cual debe utilizar un filtro con una celda con soluciones C₁ y C₂ cuyas composiciones se encuentran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Composición de las soluciones para iluminante C.

Solución C ₁		Solución C ₂	
Sulfato de cobre.	3.412g	Cobaltosulfato de amonio	30.580g
Manita	3.412g	Sulfato de cobre	22.520g
Piridina	30.0 cc	Ácido sulfúrico	10.0 cc
Agua destilada	1,000.0 cc	Agua destilada	1,000.0 cc

(Massachusetts Institute, 1936)

La misma organización adoptó otros dos estándares, que son:

El iluminante A, que es la forma de representar una fuente teniendo una distribución de energía similar a la de la lámpara de tungsteno operando a 2848 °K.

El iluminante B es una aproximación a la luz de la noche, y es un poco más amarilla que el iluminante C, además es intermedia entre el iluminante A y el C, ésta emplea una lámpara con un espectro igual al iluminante A pero en combinación con un filtro. El filtro consiste en una capa de un centímetro de espesor con soluciones B₁ y B₂, estas soluciones están contenidas en una doble celda construida con un vidrio óptico blanco. La composición de cada solución se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Composición de las soluciones para iluminante B.

Solución B ₁		Solución B ₂	
Sulfato de cobre.	2.452g	Cobaltosulfato de amonio	21.71g
Manita	2.452g	Sulfato de cobre	16.11g
Piridina	30.0 cc	Ácido sulfúrico	10.0 cc
Agua destilada	1,000.0 cc	Agua destilada	1,000.0 cc

(Massachusetts Institute, 1936).

En la siguiente Figura 8. se pueden observar las curvas espectrales de energía de los distintos iluminantes.

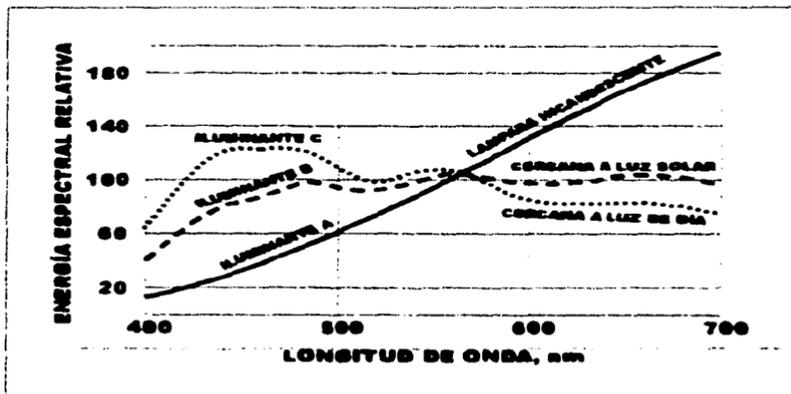


Figura 8. Curva espectral de las fuentes de iluminación. (Manual, Minolta).

Por otro lado, el color puede captarse cuando un objeto absorbe parte de la luz proveniente de una fuente de luz y refleja la luz remanente. Esta luz reflejada entra en el ojo humano, resultando la estimulación de la retina. Cada objeto absorbe y refleja luz de distintas porciones del espectro y en diferentes cantidades, estas difieren en absorbanza y reflectancia, que es lo que hace a los colores diferentes a objetos diferentes. (Minolta, manual).

Es posible estimar rigurosamente el estímulo físico recibido por el ojo humano, los cuales eventualmente son interpretados como color. El ojo humano tiene dos tipos de células sensibles en la retina al color, las barras y los conos. Las barras son sensibles a la claridad y oscuridad, y los conos al color. Hay tres juegos de conos dentro de la retina, uno sensible a la luz roja, el otro a la verde y el último al azul. Los conos envían una señal al cerebro para establecer una respuesta en términos de pares opuestos. Uno es rojo-verde y el otro es azul-amarillo.

La interpretación de las señales desde la retina por el cerebro humano es un fenómeno complejo y es influenciado por una variedad de aspectos psicológicos. Uno es la constancia de color, en otros casos una extensión más grande de color aparece más brillante que un área más pequeña. (Fungi, 1991).

1.3.2.1. Características del color.

El efecto de la luz sobre un objeto puede describirse por su transmitancia espectral o curva de refracción. La curva muestra la fracción de luz reflejada en cada longitud de onda del material transmitido a través de éste. Estas curvas describen el objeto tal como la curva de poder espectral describe a una fuente de luz. (Billmeyer, 1981)

Cuando se clasifican los colores, se pueden expresar en términos de su tono (color), luminosidad (brillantes) y dispersión o saturación (intensidad).

Tono. Es el término utilizado en el mundo del color para clasificar al rojo, amarillo, azul, etc.

Luminosidad. Este cambia verticalmente, se puede separar en colores brillantes y en oscuros.

Dispersión o saturación. Los colores cambian a partir del centro al exterior. Los colores son tenues en el centro y se hacen más intensos al moverse hacia fuera del centro.

Estos tres elementos son atributos del color y se pueden colocar juntos para crear un sólido tridimensional, en donde el tono forma parte del borde exterior del sólido; la luminosidad el eje central y la dispersión la horizontal. (Minolta, manual)

Al proyectar la luz a un objeto, éste puede modificar la luz en las siguientes formas:

1. **Transmisión.** La luz puede pasar esencialmente sin ser cambiada, es decir, puede llegar o transmitirse a través del material, el cual es transparente. Si el material es incoloro toda la luz se transmite, excepto una pequeña cantidad que es reflejada desde dos superficies del objeto. Esta refracción, y lo más importante la dispersión de la luz, ocurre cuando hay un cambio drástico en la cantidad de lo que se llama índice de refracción, el cual mide cuanta luz penetra en un material, relacionándolo con la velocidad del aire. En cada límite entre dos materiales diferentes, la luz cambia su velocidad. Como resultado, una pequeña fracción de luz es reflejada y cambia la dirección del rayo de luz. Para muchos materiales comunes con un índice de refracción cercano al 1.5, la cantidad reflejada es alrededor del 4%, con un límite de aire para una incidencia normal. El cambio de dirección para otro ángulo de incidencia es por una cantidad que depende de la longitud de onda y explica qué cantidad de luz se dispersa en el espectro por un prisma.

2. **Absorción.** Adicional a ser transmitida, la luz puede ser absorbida o perderse como una luz visible. Si el material absorbe parte de la luz, éste aparece coloreado pero continúa transparente; si toda la luz es absorbida, el material es negro y dice que es opaco. Una ley fundamental de la absorción de la luz (ley de Lambert) establece que resultan cantidades iguales de absorción cuando la luz pasa a través de un material con igual espesor. Una segunda ley (de Beer) establece que cantidades iguales de absorción resultan cuando la luz pasa a través de cantidades iguales de material absorbente. Esta ley es importante para explicar los efectos de la concentración del colorante sobre un material absorbente

3. **Dispersión o saturación.** Se dice que cuando hay suficiente dispersión la luz es difusamente reflejada por el material, una parte de la luz que pasa a través del material es difundida y otra parte es transmitida, por lo que se dice que el material es translúcido. Cuando la dispersión es tan intensa que la luz no puede pasar a través del material se le llama opaco. En conclusión el color del material depende de la cantidad y del tipo de dispersión y de la absorción que presente; si no hay absorción y la misma cantidad de dispersión en cada longitud de onda el material se ve blanco.

La dispersión es producida por luces que caen en pequeñas partículas con un índice de refracción diferente al que se presenta alrededor del material. La cantidad de luz dispersada depende fuertemente de la diferencia del índice de refracción de los dos materiales. Cuando los materiales tienen el mismo índice de refracción ninguna luz puede ser dispersada entre los límites de ellos. La cantidad de luz dispersada depende del tamaño de las partículas del dispersante, y éste aumenta el tamaño de sus partículas cuando tiene el mismo tamaño que la longitud de onda de la luz y decrece con partículas largas.

4. **Brillo.** El brillo de los objetos resulta de la refracción espectral de la luz a partir de una superficie plana. Al hacerse la superficie áspera, el

brillo se reduce, e incrementa la refracción de la difusión de la superficie. La refracción difundida también puede aumentar a partir de la dispersión por debajo de la superficie plana. En este caso hay dos refracciones espectrales y difundidas al mismo tiempo. (Billmeyer, 1981).

1.3.2.2. Escalas de color.

En el pasado se han elaborado métodos para cuantificar el color y expresarlo en números. A continuación se presentan algunos de ellos:

1. En 1905 el artista americano A. H. Munsell ideó el método para expresar los colores. El sistema se basa en el principio de una percepción visual igual. El sistema es una colección de muestras pintadas que presentan intervalos iguales de percepción visual entre muestras adyacentes; el sistema describe los colores posibles en términos de sus tres coordenadas que son: tono (Munsell hue), luminosidad (Munsell value) y dispersión (Munsell chroma) para realizar comparaciones visuales de color (Minolta, manual). Tiempo atrás se ajustaron las muestras Munsell para corregir errores obvios del espacio original. Las nuevas designaciones se conocen como el Sistema Rotacional Munsell, el cual es, actualmente, el Sistema Munsell. En este sistema cualquier color se expresa como una combinación de números y letras, en términos de tono (H), valor (V) y croma (C), se evalúa visualmente utilizando los diagramas de color de Munsell. (Billmeyer, 1981)
2. El sistema de escalas de color uniforme formado, por la Sociedad Americana de Óptica (OSA), consiste en 558 colores de espacio de acuerdo con rojos, azules, amarillos y verdes. Excepto por las muestras de los extremos, cada uno de estos tiene 12 vecinos, y entre ellos existe una misma distancia de color que el que se encuentra en el centro.

3. Sistema de color natural. Este sistema ordena el color basado en los pasos de percepción visual. El círculo de tonos se basa en el concepto de cuatro tonos únicos: el rojo (que no se percibe con ningún amarillo o azul), el amarillo (que no contiene rojo o verde) y lo mismo para el azul y verde. Para cada tono existe una escala de igual percepción para la dispersión y una formación triangular para los oscuros. (Billmeyer, 1981).
4. El sistema CIE. La CIE, Commission International de l'Éclairage o International Commission on Illumination, ha desarrollado otros métodos, de los cuales los más ampliamente conocidos son el espacio de color $\mathbf{Y, x, y}$ ideado en 1931 basado en los valores triestímulos $\mathbf{X, Y, Z}$ definidos por la CIE y el espacio de color $\mathbf{L, a, b}$ elaborado en 1976 para proveer diferencias de color más uniformes en relación con las diferencias visuales. (Massachusetts Institute, 1936). A continuación se describe cada uno de éstos sistemas.

a). Valores triestímulos y espacio de color $\mathbf{Y, x, y}$

El actual valor del color de CIE se formó a partir del valor triestímulo $\mathbf{X, Y, Z}$ y la asociada del espacio de color $\mathbf{Y, x, y}$.

El concepto del valor triestímulo $\mathbf{X, Y, Z}$ esta basado en la teoría de la visión de tres componentes, el cual establece que el ojo posee receptores para los tres colores primarios (rojo, verde y azul) y que todos los colores se observan como mezclas de éstos. En 1931 la CIE definió al Observador Estándar para obtener las funciones colorimétricas $\mathbf{X(\lambda), Y(\lambda)}$ y $\mathbf{Z(\lambda)}$. Los valores triestímulos se calculan utilizando las funciones del Observador Estándar.

El valor triestímulo $\mathbf{X, Y, Z}$ se utiliza para definir el color, pero los resultados no son fáciles de visualizar, por lo que la CIE definió el espacio de color en 1931 por una gráfica de color en dos dimensiones, independientes de luminosidad; este es el color de espacio $\mathbf{Y, x, y}$, en el cual \mathbf{Y} es la luminosidad (\mathbf{y} es igual al valor triestímulo \mathbf{Y}) y \mathbf{x} y \mathbf{y} son las

coordenadas de cromaticidad calculadas a partir del valor triestímulo. Las ecuaciones para realizar el cambio del valor triestímulo al espacio de color se presentan a continuación:

El diagrama de cromaticidad CIE x , y para el espacio de color se

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

muestra en la Figura. 9. En éste, los colores acromáticos se encuentran alrededor del centro del diagrama y la cromaticidad aumenta hacia el filo. Si se hace una medición utilizando el espacio de color Y , x , y , se obtienen los valores x , y como coordenadas de cromaticidad. (Manual, Minolta).

El sistema CIE X , Y , Z fue diseñado para indicar si dos colores coinciden teniendo los mismos valores triestímulos.

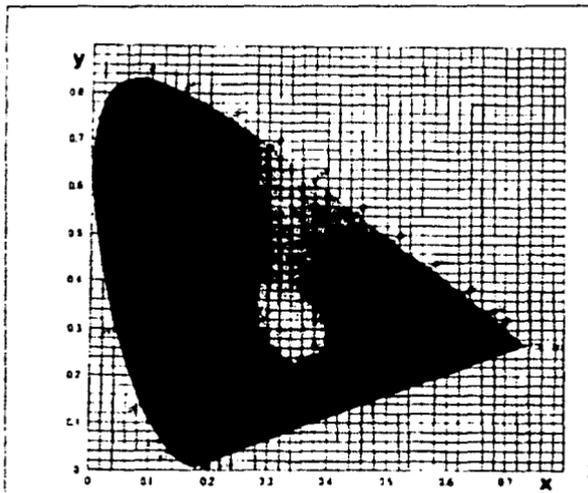


Figura. 9. Coordenadas de cromaticidad Y , x , y . (Manual, Minolta).

Si se calculan las coordenadas de **X, Y, Z** para dos muestras dos colores y éstas son iguales, el par de muestras serán iguales vistas bajo un iluminante. Sin embargo este par de colores pueden tener curvas espectrales distintas y verse igual para un iluminante y un observador.

Por lo tanto se define a un par de objetos que tienen diferentes curvas de reflectancia espectral, pero las mismas coordenadas de color para un solo juego de condiciones como objetos metaméricos o un par metamérico. Pares de objetos que tienen la misma curva de reflectancia espectral, por lo tanto, las mismas coordenadas de color para todas las fuentes son no metaméricas. (Billmeter, 1981).

b). Espacio de color **L, a, b**.

Es actualmente uno de los más populares espacio de colore para medir el color de un objeto y es muy utilizado en todos los campos virtuales, lo definió la CIE en 1976 para reducir uno de los mayores problemas del original espacio de color **Y, x, y**. Las distancias iguales sobre **x, y** del diagrama de cromaticidad no corresponden a la percepción de las diferencias de color. El espacio de color **L** indica la luminosidad y **a** y **b** la cromaticidad. En el diagrama de cromaticidad, ver la Figura. 10, el valor de **a** y **b** indican las direcciones de color: **+a** es la dirección roja, **-a** es la dirección verde, **+b** es la dirección amarilla y **-b** es la dirección azul. El centro es acromático, cuando los valores **a** y **b** se incrementan y el punto se mueve fuera del centro, la dispersión del color se incrementa.

La relación entre el espacio de color **L, a, b** y los valores triestímulos se presentan por ecuaciones, las cuales son:

$$L = 100 \cdot \sqrt[3]{Y}$$

$$a = \frac{17.0456 (X - 0.0030122 X^3 - Y)}{Y}$$

$$b = \frac{7.7825 (Y - 0.0457 Z)}{Y}$$



Figura. 10. Sólido tridimensional (tono, luminosidad y saturación). (*Manual, Minolta*).

En el espacio de color **L, a, b** las diferencias de color pueden expresarse como un solo valor numérico, ΔE_{ab} , el cual indica las diferencias de color, pero no como hacia donde varía el color. La ΔE_{ab} se define como:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

c). Espacio de color L, C, h°.

Utiliza el mismo diagrama que **L, a, b**, pero empleando coordenadas cilíndricas en lugar de coordenadas rectangulares. En este espacio de color, **L** indica la luminosidad y es igual a la **L** de la escala espacio de color **L, a, b**; **C** es el cromá y **h°** es el ángulo del tono. El valor de cromá **C** es cero en el centro y se incrementa de acuerdo a la distancia del centro. El ángulo del tono **h°** define su inicio en **+a**, que es el eje y esta representado en grados 0° puede ser **+a** (rojo), 90° **+b** (amarillo), 180° **-a** (verde) y 270° **-b** (azul). Las ecuaciones para calcular **C**, cromá métrico y el ángulo de tono son las siguientes:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

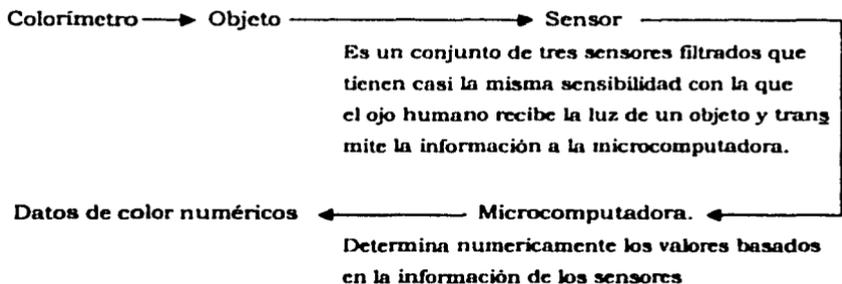
$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) [\text{grados}]$$

d). Hunter Lab espacio de color.

Fue desarrollado por RS Hunter como espacio de color visualmente más uniforme que el CIE 1931 **Y, x, y** color de espacio. Similar al CIE **L, a, b** color de espacio, este se utiliza en varios campos. (Manual Minolta).

1.3.2.3. Funcionamiento del colorímetro.

Aunque el ojo humano no puede cuantificar los colores, es simple utilizando un colorímetro, ya que expresa numéricamente colores de acuerdo a estándares internacionales. El funcionamiento de un colorímetro es el siguiente:



Las mediciones que se obtienen de un colorímetro son las siguientes:

Valor triestímulo.	X,Y,Z
Espacio de color.	Y,x,y
Espacio de color.	L,a,b
Espacio de color.	L,C,h
Espacio de color del laboratorio Hunter.	HL,a,b

Aunque la percepción de una persona de un solo color puede cambiar dependiendo del fondo o de la fuente de luz que ilumina el color, los colorímetros tienen una sensibilidad que corresponde a la del ojo humano, ya que siempre toman mediciones utilizando la misma fuente de luz y el método de iluminación; las condiciones de medición pueden ser las mismas a pesar del clima, si es de día o de noche, una habitación cerrada o abierta. En la siguiente Figura, 11. se observa el colorímetro empleado en este trabajo.

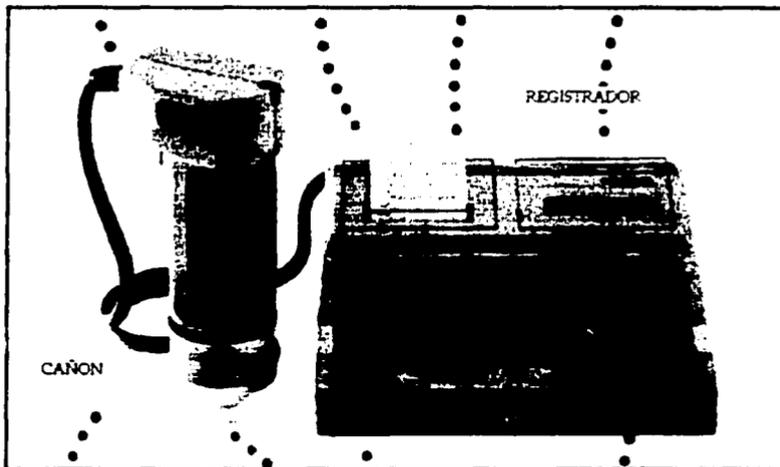


Figura. 11. Colorimetro Hunter de la marca Minolta. *(Manual, Minolta).*

1.4. Mecanismos de transferencia de calor.

1. Conducción.

Se logra a través de dos mecanismos. El primero es la interacción molecular, en el cual las moléculas de niveles energéticos relativamente mayores ceden energía a moléculas adyacentes en niveles inferiores. Este tipo de transferencia sucede en los sistemas que tienen moléculas de sólidos, líquidos o gases y en los que hay un gradiente de temperatura. El segundo mecanismo es el de electrones libres, los cuales se presentan principalmente en los sólidos metálicos puros.

La conducción es un fenómeno molecular que requiere de un gradiente de temperatura como fuerza motriz.

La ecuación de Fourier es:

$$\frac{q_x}{A} = -K \frac{\delta T}{\delta X}$$

q_x : es la razón de flujo de calor en dirección de las X (BTU/hr)

A : es el área normal a la dirección de flujo de calor (ft²)

$\delta T/\delta X$: es el gradiente de temperatura en dirección de las X (F/ft).

K : es la conductividad térmica (BTU/hr - °F/ ft²/ft).

La expresión completa es:

$$\frac{q}{A} = \frac{K \Delta T}{\Delta X}$$

q : es el vector de flujo de calor.

ΔT : es el gradiente de temperatura en forma vectorial.

El signo negativo se debe a que el flujo de calor por conducción sucede en la dirección de un gradiente de temperatura decreciente.

El flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura, dicha proporcionalidad es la conductividad térmica K.

2. Convección.

Involucra el cambio de energía entre un fluido y una superficie o interfase. Existen dos clases: 1. Convección forzada. Forza el movimiento de un fluido por una superficie debido al efecto de un agente externo.

2. Convección natural o libre. En ésta los cambios de densidad en el fluido a consecuencia del intercambio de energía provocan un movimiento natural del fluido.

La ecuación es la ley de Newton de Enfriamiento, que es la siguiente:

$$q = hA(T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}})$$

q : es la relación de la transferencia convectiva de calor (BTU/hr)

A : es el área normal a la dirección del flujo de calor (ft²).

$T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}}$: es la fuerza matriz de la temperatura (°F).

h : es el coeficiente convectivo de transferencia de calor (BTU/hr - °F/ft²/ft).

3. Radiación.

La transferencia de calor por radiación no requiere de un medio para propagarse. De hecho, el intercambio radiante entre las superficies es máximo cuando no hay material que ocupe el espacio intermedio. El intercambio de energía radiante puede ocurrir entre dos superficies. La transferencia de energía por radiación es un fenómeno electromagnético. (Welty, 1994).

1.4.1. Antecedentes de las microondas.

El calentamiento por microondas es un desarrollo realizado a partir de la tecnología del radar efectuada durante la segunda guerra mundial. Durante éste periodo se inventaron y perfeccionaron tubos vacíos llamados magnetrones, para generar kilowatts de poder electromagnético a frecuencias no obtenidas anteriormente, a las cuales se les dio el nombre de microondas. (Buffler, 1993).

Las microondas cubren un extenso espectro de frecuencia, usualmente consideradas como rango de 300MHz a 300GHz, ver la Figura 12. El término microonda denota técnicas y conceptos usados para un rango o frecuencia, (Poza, 1990). Las microondas cambian de dirección

cuando viajan de un material dieléctrico a otro similar, en forma de rayos ligeros cuando son refractados del aire al agua.

Las microondas viajan de igual manera que las ondas ligeras, son reflejadas por objetos metálicos, absorbidos por algunos materiales dieléctricos y transmitidos por otros materiales dieléctricos. (Buffler, 1993).

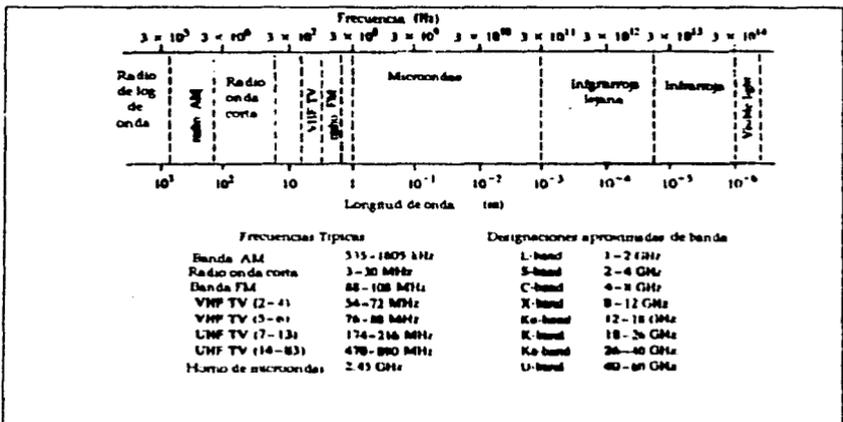


Figura. 12. Esquema de espectro electromagnético. (Pozar, 1990).

Las cargas y corrientes eléctricas producen fuerzas entre ellas. Como modelo de éste fenómeno se ha pensado que las cargas y corrientes no existen solas, pero juntas influyen sus campos, electricidad E y magnetismo H. E se asocia con la carga y H con la corriente. Similarmente la variación de la carga es corriente y la variación de E produce H y viceversa.

El comportamiento de los campos, como una función de las cargas y corrientes en la muestra, está dada por la solución de las ecuaciones de

Maxwell. La transformación de las cargas dentro de la corriente en la fuente produce que ésta ascienda, en el espacio circundante, para la transformación $E \longleftrightarrow H$, la cual muestra que la propagación electromagnética es similar a la mecánica. Como consecuencia, las ondas electromagnéticas tienden a llenar todos los espacios. Lo anterior se puede visualizar en la Figura 13.

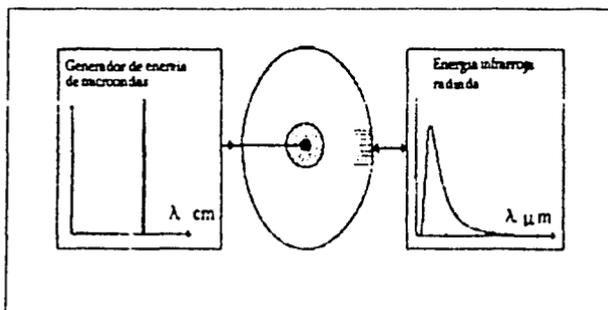


Figura. 13. Generación de microondas en el horno. (Mathlouthi, 1994)

El horno de microondas hace uso de frecuencias muy altas, las variaciones son rápidas en contra del tiempo y son un vínculo con las variaciones sensitivas con el espacio. Los puntos fríos y calientes existen en bajas frecuencias.

Una aproximación fenomenológica de una onda electromagnética puede encontrarse en una analogía mecánica con un barco en movimiento sobre la superficie del mar.

El movimiento producirá ondas, las cuales cargan la energía gastada por la máquina. Esta onda es una onda mecánica similar a una electromagnética. Un pequeño barco puede ser sensible a la onda, y las ondas son más importantes que el bote, por lo que se puede o no captar la energía mecánica. Lo anterior es similar a las cargas dotadas

eléctricamente en un alimento (la cual puede convertir la energía mecánica en calor).

La longitud de onda es la distancia entre dos picos cercanos. El comportamiento del bote es una función de su tamaño comparado con la longitud de onda λ . La longitud de onda es la unidad efectiva de longitud. Es lo mismo que ocurre en el microondas, en el aire del horno, la unidad de longitud es aproximadamente 12 cm.

En un horno, el tamaño del producto tiene aproximadamente el mismo orden de magnitud que la longitud de onda. La difracción producida por la carga hace difícil predecir el campo de configuración en el producto, y como consecuencia, la temperatura. La longitud de onda λ en vacío o en aire se da por la relación:

$$\lambda = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s} \text{ divididos por la frecuencia del generador.}$$

1.4.2. Generación de las microondas.

La energía electromagnética es un tipo de energía mecánica potencial. No se puede usar por sí misma, pero necesita cargas eléctricas para convertirse en energía mecánica. En productos alimenticios, esta energía mecánica puede convertirse por medio de choques en energía térmica. (Mathlouthi, 1994).

La energía de las microondas se genera a partir de energía eléctrica que es convertida en energía electromagnética, la cual es producida por un magnetrón, y se propaga adentro de la carga donde es convertida en calor. La propagación es modificada por las paredes del horno, el resultado es un levantamiento de las cargas donde se producen puntos de calor y frío. La interacción entre la onda y el tipo de alimento se describe en el proceso de absorción de cargas libres (conducción) y molecular (absorción dipolar).

El horno de microondas no calienta como uno convencional, las bases físicas de esta interacción es la electricidad. La energía transmitida por el generador es radiada por las ondas, captadas por el alimento, y él

mismo las transforma en calor interno. Una de las consecuencias de la propagación es la existencia de ondas estacionarias en los hornos, las cuales producen puntos de calor y frío.

El magnetrón es un tubo vacío en la cual los electrones emitidos por un cátodo, giran alrededor por la acción de un campo eléctrico continuo. El movimiento de estas cargas libres producen la radiación electromagnética, la cual lleva hacia fuera la mayor parte de la energía mecánica cedida por el abastecedor de poder.

En la Figura 14 se presentan las principales líneas de operación y la transferencia de energía. Cuando rotan, los electrones se unen por el ánodo, el cual es similar a la estructura de una celda periódica lenta. Este anillo rodante se asemeja a un rotor generador de baja frecuencia, la frecuencia de rotación puede ser muy alta porque las cargas libres están en vacío. Cuando rotan, el anillo induce una corriente en la antena, la cual a su vez irradia la energía dentro del horno. Usualmente se utiliza una guía onda, o antena, entre el magnetrón y el horno para formar campos más seguros. (Mathlouthi, 1994).

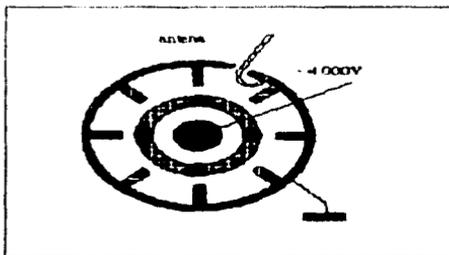


Figura. 14. Producción de ondas por un magnetrón. (Mathlouthi, 1994)

Es importante recalcar que en un horno de microondas, los alimentos son puestos en un campo electromagnético a temperatura ambiente y el calor es generado por los propios componentes del alimento.

Es importante reconocer que las microondas son una forma de energía no una forma de calentamiento y son sólo manifestaciones de calor. (Robertson,1993)

1.4.3. Partes que conforman a un horno de microondas.

Un horno de microondas opera a una frecuencia de 2,450 millones de ciclos por segundo (2,450MHz) y en un espacio libre, la longitud de onda asociada con esta frecuencia se define como ($\lambda=c/v$), donde: λ es la longitud de onda, c = la velocidad de la luz 3×10^8 m/s y v = frecuencia) es de 122.4 mm.

La industria que fabrica hornos de microondas opera con un estándar voluntario de 10mW/cm², establecido en 1950 para proteger a los técnicos que trabajan con equipo de radar y que pudieran captar niveles dañinos de microondas. (Decareau, 1992)

El procedimiento para medir el poder de rendimiento del horno de microondas es calentar una cantidad medida de agua fría por un periodo de tiempo específico. En la industria de hornos de microondas se calienta un litro de agua por dos minutos. La temperatura del agua no debe ser mayor a 20°C para evitar que el calentamiento después de dos minutos llegue hasta una temperatura final de evaporación, ya que la evaporación consume mucha energía dando un resultado no favorable. Cuando se realiza la medición con menos agua el tiempo de calentamiento se reduce proporcionalmente.

Se mostró que los niveles de poder decrecen su eficiencia cuando hay una menor cantidad de pequeñas cargas y el tiempo de calentamiento se necesita incrementar para obtener una mayor temperatura. (Decareau, 1992)

Las partes básicas de un horno de microondas son: la cavidad del horno, espacio donde se colocan los alimentos; la puerta, que permite el acceso del alimento al espacio de cocción; generador de microondas,

llamado magnetrón que suministra la energía para el cocimiento; el guía onda, que es un ducto rectangular que conduce la energía del magnetrón a la cavidad del horno; ventilador o aletas de enfriamiento, produce la uniformidad del calentamiento dentro del horno; la fuente de poder que convierte la corriente alterna del contacto a la corriente directa con el voltaje necesario para que opere el magnetrón; y los controles que permiten el ajuste del poder y el tiempo de cocción. En la Figura 15. se puede observar detalladamente cada una de las partes arriba mencionadas.

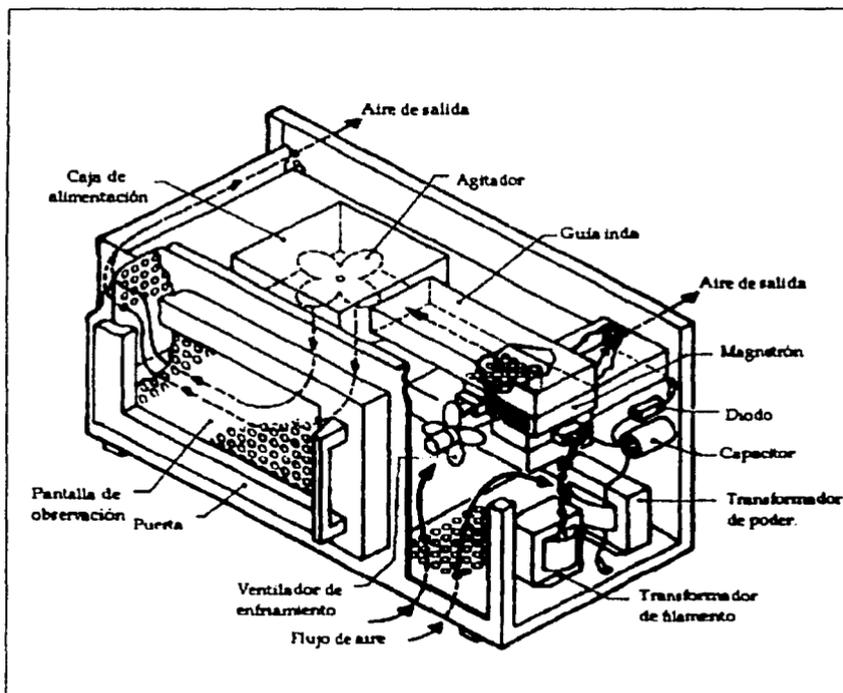


Figura. 15. Esquema de un horno de microondas. (Bluffler, 1993).

1. *Cavidad del horno.* La cavidad del horno o el espacio de cocimiento es por lo general una caja rectangular de metal, la cavidad debe ser hecha con acero inoxidable, aluminio o de acero enrollado en frío con un recubrimiento de acrílico. Muchos hornos de microondas han sido diseñados para tener resonancia, es decir que las microondas deben ser reflejadas por todos los lados para proporcionar un modelo de puntos fríos y calientes. Las dimensiones del horno pueden variar considerablemente y el volumen tiene un rango de 0.5 pies cúbicos a 1.5 pies cúbicos. Realmente el espacio utilizable del horno es considerablemente menor al volumen del horno. La mayoría de los hornos poseen una repisa común, que puede ser piso de cerámica o un platón de vidrio templado. Esta repisa sirve para dar posición a la carga del alimento sobre el piso de metal, de tal forma que la energía del microondas pueda ser reflejada de la parte alta del piso del horno al alimento para que éste sea calentado también como en las otras direcciones. El platón de vidrio también sirve como protección de las cargas cuando el horno funciona vacío. Los modelos de puntos fríos y calientes se propagan en las tres dimensiones, por lo tanto la uniformidad del calentamiento no solo depende de la colocación del alimento, sino también del peso del producto.
2. *La puerta del horno.* Es una de las partes más importantes del horno, ya que no solo permite el acceso del alimento sino que cuando se encuentra el horno cerrado previene la emisión de energía de microondas al horno durante la operación. La puerta presenta un diseño específico en el cual los niveles de emisión de microondas del horno estén por debajo del estándar federal. La ley también requiere que la puerta del horno este equipada con dos trabas y un monitor, lo anterior para que si el horno esta funcionando y se abra la puerta éste interrumpa la operación. (Decareau, 1992)

3. **Magnetron.** Es un tubo vacío cubierto por un soporte armado con aletas fijas. En la parte superior sale un tubo guía o antena de 2cm de longitud, el cual genera el poder irradiado por las microondas. La parte interna que genera el poder es llamado diodo, el cual consiste en un tubo cilíndrico de cobre de aproximadamente 1.75 in de diámetro por 1.25 in de largo, el tubo está cubierto en sus dos salidas por placas de cobre para que la parte interna pueda ser evacuada y produzca vacío. Dentro del tubo y extendiéndose hacia el centro hay doce placas o aspas de cobre dejando un espacio para los filamentos, el cilindro de cobre y las aspas son llamados ánodos. La forma en que opera es la siguiente: se calienta el filamento, con lo que los electrones excitados desde su superficie metálica generan una nube de electrones en el centro del diodo. Cuando se aplican 4,000V entre el ánodo y el filamento se produce un campo eléctrico **E** que acelera radialmente a lo lejos de la nube hacia el ánodo. Arriba y fuera de la estructura ánodo-filamento hay dos anillos magnéticos. Estos magnetos producen un campo magnético **H** que es paralelo al eje del filamento, al cilindro y al ánodo y están perpendiculares al campo eléctrico. Los electrones movidos hacia el exterior como rayos de rueda son forzados dentro de la curva que lleva el campo magnético. Si se ajusta adecuadamente la fuerza del campo magnético, los electrones solo se resbalan por la punta del aspa sin golpearlos. Si el campo es muy débil, los electrones se colapsan con el aspa, si es muy fuerte, se regresa y colapsa con el filamento. Los electrones cargados negativamente cercanos al aspa tienen una carga igual pero positiva al aspa. Si el aspa es conectada eléctricamente a otras dos aspas localizadas fuera, se les transmitirá una carga positiva. El proceso de conectar otra aspa se llama atamiento, las conexiones eléctricas son atadas. El aspa localizada entre dos aspas cargadas positivamente tienen una carga negativa inducida. Si las aspas son atadas en forma similar estas pueden ser cargadas negativamente. Alternas o adyacentemente las aspas pueden

ser positivas o negativas. Como cargas distintas se atraen y opuestas se repelen, éstos electrones se encuentran adyacentes a las aspas de carga positivas que pueden acelerarse y las aspas negativas pueden retardarse. (Buffler, 1993).

4. *Guía onda.* Es una sección de metal rectangular con un final fijo sobre el techo o en la pared de la cavidad y con una terminación corta o cerrada, por lo cual el tubo de poder del magnetrón se localiza a una distancia específica. La energía de microondas del magnetrón fluye hacia abajo de la guía onda y dentro del horno. La longitud de la guía onda es crítica para deliberar la eficiencia de la energía de microondas dentro del horno.
5. *Modo de agitación.* Las microondas entrantes en la cavidad del horno por la guía onda, que esta fija en la parte alta de la cavidad, son interceptados por la agitación generada por el ventilador, localizado justo debajo del cielo del horno, que en pocas revoluciones por minuto provocan múltiples reflexiones de energía, lo cual minimiza el número de puntos fríos y calientes que se presentan normalmente. Puede ser un motor manejado por una corriente de aire del sistema del magnetrón. Es posible crear uniformidad de calentamiento mediante un platón giratorio.
6. *Fuente de poder.* La energía se produce a través de transformadores, capacitores, diodos y un circuito de cableado que convierte la corriente alterna del interruptor de la pared en una corriente directa de alto voltaje, con la cual opera el magnetrón. (Decareau, 1992).
7. *Antena.* La antena del magnetrón permite radiar directamente dentro del espacio, y el poder generado puede no ser bien aprovechado. Para dirigir la aplicación del poder hacia la carga descada, la antena usualmente se inserta en un tubo rectangular que es la guía onda. Los canales de la guía onda radian directamente dentro de la cavidad del horno o primero dentro de la caja de alimentación con un agitador y

después dentro de la cavidad donde se calienta el alimento. (Buffler, 1993).

8. **Controles.** Principalmente cuenta con un sensor de temperatura, el cual sirve para controlar la cocción en el horno. Tiene un reloj y un selector de potencia, esto indica a la pequeña computadora los parámetros que el horno debe de tomar para el calentamiento. Usualmente los hornos comerciales solo cuentan con cinco variaciones de potencia, aunque existen con diez, la diferencia radica en que son raras las ocasiones que se utilizan temperaturas de cocción tan drásticas. Cuando el horno cumple con las condiciones de calentamiento establecidas se para automáticamente y suena un timbre indicando el fin. (Decareau, 1992).

1.4.4. Mecanismos de generación de calor en los alimentos.

1. **Rotación dipolar.** Las moléculas de agua prevalecen en muchos alimentos y materiales y se componen de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. La estructura de las moléculas es en forma de V con los dos átomos de hidrógeno unidos con el átomo de oxígeno haciendo un ángulo de 105° . Cada átomo de hidrógeno consiste de una carga positiva, y el átomo de oxígeno de dos cargas negativas. Las cargas son físicamente separadas y de esta forma se llama dipolo. Las moléculas con cargas separadas son llamadas moléculas polares. El dipolo es un equivalente a la aguja de un campo eléctrico y actúa en un campo magnético. En las moléculas de agua se localizan en una región de campo eléctrico oscilante, donde experimentarían un torque o una fuerza rotacional tratando de orientarlas en dirección del campo.

Antes de que se aplique el campo eléctrico de microondas, todas las moléculas en los alimentos son térmicamente agitadas de forma aleatoria correspondiente a la temperatura inicial de la muestra a calentarse. Cuando se aplica el campo todas las moléculas intentan alinearse en dirección del campo inicial. Se colapsan aleatoriamente

con sus vecinos. Cuando el campo se invierte, tratan de retroceder hacia la otra dirección para que haya más colisiones. Las colisiones adicionan al trasfondo una agitación térmica, la cual se percibe como un aumento de la temperatura. La energía, entonces, se extrae del campo eléctrico oscilante por los dipolos y se transfiere a otras moléculas por la colisión.

La interacción de moléculas polares, como es el agua, es la segunda forma de interacción de microondas. Para alimentos es predominante una interacción de microondas, excepto con alimentos muy salados como el jamón. Las microondas no son calor. El campo de microondas son una forma de energía, y las microondas se convierten en calor por la interacción con partículas cargadas y moléculas polares; la agitación se define como calor.

2. Rotación iónica. En un horno de microondas el magnetrón produce el campo eléctrico alterno dentro de la cavidad del horno. Estas altas frecuencias de campo oscilatorio se llaman campo eléctrico de microondas. En la cavidad del horno de microondas, el campo no se da en una sola dirección, sino que se extiende en tres direcciones perpendiculares al horno: de la parte alta hacia abajo, lado a lado y del frente hacia atrás.

Por lo tanto, cualquier partícula que se encuentre en el horno experimenta una fuerza alterna en tres direcciones ortogonales a 2.45 billones de veces por segundo. La fuerza propagada en los tres campos puede darse en direcciones arbitrarias de espacio, dependiendo de la amplitud de las tres fuerzas individuales. La fuerza primero acelera la partícula en una dirección y después en la opuesta, y las partículas de carga opuesta son aceleradas en direcciones opuestas. Si se aceleran partículas y chocan con una partícula adyacente, ésta le impartirá energía cinética y le proveerá un movimiento más agitado que el que tenía. Desde que el calor se define como la agitación de partículas o moléculas, las temperaturas de las partículas se incrementan. Al estar

más agitada, la partícula interacciona con su vecino y éste le transfiere calor por agitación a ellas. Esta energía de agitación, o calor, se transfiere a otras partes del material. Esta energía se transfiere del campo de microondas a partículas agitadas en el mecanismo de calentamiento por microondas.

Los productos alimenticios o cualquier material contiene iones capaces de interactuar con cualquier campo eléctrico, incluyendo el campo eléctrico en una cavidad con microondas. La energía transferida a los iones y después a sus átomos vecinos o moléculas es el mecanismo de calentamiento por microondas. (Buffler, 1993).

1.4.5. Propiedades dieléctricas.

Las radiaciones de microondas se comportan de forma muy parecida en el espectro de la luz visible. Similarmente a las leyes de la óptica, los materiales interaccionan con las microondas en tres caminos: 1. Reflejan la radiación de microondas chocando sobre ellas. 2. Transmiten las microondas que entran en ellas. 3. Absorben algo de energía de microondas transmitida por ellas.

La constante dieléctrica (ϵ') es la razón de la capacidad con la cual pasa la corriente a través de un material, o la capacidad de la corriente a la cual debe fluir si la intensidad del mismo campo fuera aplicada a un espacio libre. Esta es la medida de la rapidez que la onda electromecánica lleva a través de un material. La frecuencia de las ondas en las microondas es constante (2450 MHz) a pesar del medio que atraviesan.

El factor de pérdida dieléctrica (ϵ'') es una propiedad intrínseca del alimento y es una medida de la habilidad de un material para disipar la energía eléctrica esto indica que la eficiencia con la radiación electromecánica es convertida a calor. Además una mayor pérdida indica que el alimento puede ser calentado rápidamente. Los materiales con un alto factor de pérdida son llamados materiales de pérdida y son muy

convenientes para calentamiento en microondas. Se ha encontrado que el factor de pérdida depende de la frecuencia de la radiación y la temperatura.

Las ecuaciones de Maxwell predicen el comportamiento de la interacción de las radiaciones electromagnéticas con cualquier tipo de materia y geometría. Por esto se necesita describir dos pares de parámetros, los cuales se conocen como permeabilidad y permitividad, los cuales se definen como:

$$\mu = \mu' - j\mu''$$

μ = permeabilidad.

μ' = factor de pérdida magnética.

μ'' = factor de pérdida magnética.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$$

ϵ = pérdida dieléctrica.

ϵ' = permitividad.

$j\epsilon''$ = factor de pérdida dieléctrica.

Las ecuaciones representan los valores absolutos de permeabilidad y permitividad de un material, los valores referencian el espacio libre. (Buffler, 1993).

Dentro del campo encontramos las siguientes variables:

Tangente de pérdida.

La tangente de pérdida, también conocida como factor de disipación, es la razón del factor de pérdida de la constante dieléctrica y representa la pérdida de energía característica del material.

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

(Robertson, 1993).

Factor de pérdida dieléctrica.

Desde que la fuerza del campo y la frecuencia son constantes esenciales para el horno de microondas, el factor de pérdida (ϵ'') es solo

una variable. El término pérdida se origina por la energía perdida cuando ésta cruza el capacitor y circula cuando se prende o apaga. El factor de pérdida es una cantidad medible y es un volumen considerable de datos de pérdida dieléctrica que se van acumulando. El factor dieléctrico es el producto de dos propiedades medibles: la constante dieléctrica (ϵ') y la tangente de pérdida ($\tan \delta$). Estos datos varían con la temperatura y frecuencia. (Decareau, 1992).

1.4.6. Penetración de onda.

Cuando las microondas golpean la superficie de un material, ellas llegan con un nivel inicial de poder (P_0), el cual es una función del poder producido por el magnetrón, el tamaño de la cavidad del horno y uniformidad de los campos. Como la longitud de onda penetra el material, algo del poder es absorbido y la longitud de onda cambia, dependiendo de la constante dieléctrica del material. Para su uso práctico las propiedades dieléctricas son convertidas a un factor de atenuación o su inverso, la profundidad de penetración, la cual se define como la profundidad dentro del material a la cual la energía ha decrecido a $1/e$ (alrededor de 37% desde $e=2.718282$). La penetración es también expresada a la mitad del poder de profundidad.

La ecuación para convertir los datos de las propiedades dieléctricas en profundidad de penetración es:

$$dp = 1/2 \alpha \text{ (para } 1/e) \qquad dp = 1/2.886 \alpha \text{ (mitad de poder)}$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left[\frac{\epsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1 \right) \right]^{1/2}$$

donde α = constante de atenuación.

λ_0 es la longitud de onda.

ϵ' es la permitividad.

Tan δ es la tangente de pérdida.

(Decareau, 1992)

La profundidad de penetración se puede calcular a partir del inverso de la constante de atenuación:

$$d = \frac{\lambda_0}{2\pi} \left[\frac{2}{\epsilon'' \left[(1 + \tan^2 \delta)^{1/2} - 1 \right]} \right]^{1/2}$$

La principal diferencia entre el calentamiento por microondas y otros métodos es que las microondas tienen una mayor onda de penetración en los materiales alimenticios. (Robertson,1993)

1.4.7. Ventajas y desventajas del calentamiento en un horno de microondas.

Dentro de las ventajas del calentamiento por microondas encontramos que:

1. La energía del microondas no es absorbida homogéneamente en los productos alimenticios.
2. La forma y densidad del alimento es importante para obtener una uniformidad de calentamiento. En formas no uniformes, bordeadas o curvadas resultan con un calentamiento local y no uniforme. (Singh, 1993)
3. El contenido de humedad de un alimento afecta directamente la cantidad de absorción de microondas. Una cantidad muy alta de agua en los alimentos incrementa el factor de pérdida dieléctrica. En el caso de alimentos con bajo contenido de humedad, la influencia del calor específico sobre el proceso de calentamiento es más pronunciado que la del factor de pérdida dieléctrica, además, debido a su bajo calor específico, los alimentos con bajo contenido de humedad también calientan a cantidades aceptables de microondas. Si el alimento es altamente poroso con una cantidad significativa de aire, entonces

debido a la baja conductividad térmica del aire el material actuará como un buen aislante.

4. Desde el punto de vista térmico o eléctrico los alimentos no son homogéneos. Algunos absorben energía de microondas mejor que otros. Si la conductividad térmica es menor, lo cual ocurre en la mayoría de los alimentos y si la densidad del poder de microondas es alto, el resultado puede ser un proceso equilibrado. La temperatura de puntos calientes pueden llegar a niveles muy altos y pueden producir efectos de secado, explosiones por presión de vapor, etc. (Mathlouthi, 1994)
5. La velocidad de calentamiento de un material dieléctrico es directamente proporcional al poder de producción del sistema de microondas. La rapidez de calentamiento de microondas se regula por controles de producción de poder, el poder requerido para el calentamiento es también proporcional a la masa del producto. Definimos poder, como la velocidad a la cual se realiza el trabajo y el trabajo es la transferencia de una forma de energía a otra, usualmente para la aplicación de una fuerza que produzca movimiento. Para concluir, poder es la velocidad a la cual la energía es utilizada. (Buefler, 1993).

En adición a las propiedades dieléctricas de los alimentos hay varios factores que afectan el comportamiento del calentamiento por microondas. Muchos de los problemas más serios pueden ser atribuidos a un calentamiento no uniforme. Un número de factores contribuyen a la no uniformidad del calentamiento por microondas, los principales son:

1. Distribución del campo indeseable, la energía de microondas es significativamente más intensa alrededor de la periferia que en el centro del horno.

2. La energía de microondas entra a través de las paredes del contenedor. El calentamiento del alimento es más fuerte cerca de las paredes y muy poco se reduce en la región central.
3. Existe una diferencia de absorción de energía de microondas para descongelar alimentos.
4. Geometría, la esfera es la figura ideal en la que la energía tiende a enfocarse para calentar en el o alrededor del centro de la esfera. Obviamente si el diámetro aumenta es imposible calentar el centro, excepto por la conducción. Con velocidades de calentamiento en microondas bajas, se emplea mayor tiempo para el calentamiento por conducción.
5. Protección, es el empleo de materiales para reflejar la energía de microondas en ciertas áreas del alimento con la finalidad de reducir la velocidad de calentamiento en esas partes.
6. Relaciones posicionales, algunos alimentos se calientan más rápido que otros y su calentamiento puede retardarse poniéndolo en el centro de la cavidad. El calentamiento también puede retardarse colocando el alimento cerca del borde de la cavidad con las áreas más espesas hacia el lado opuesto.
7. Densidad, usualmente existe una relación entre la densidad y el contenido de humedad del alimento, involucrándose la conductividad térmica del mismo. El componente del alimento más poroso o con una mayor cantidad de agua se calentará más rápidamente que un alimento que no presente estas características.
8. La conductividad térmica es una medición de la habilidad de transferir calor en respuesta a un gradiente de temperaturas. La conducción

depende de las diferentes temperaturas. (Robertson,1993 y Decareau,1992).

Entre las diferencias con el calentamiento en un horno convencional, encontramos que las moléculas del alimento reaccionan desde la superficie hacia adentro, de manera que las capas sucesivas de moléculas se calientan cada una a su vez, lo que produce un desnivel de temperaturas en el exterior, lo que implica que se queme mientras que en el interior no haya aumentado la temperatura.

Las microondas penetran hasta una profundidad de varios centímetros provocando el movimiento de todas las moléculas de agua y éstas a su vez agitan a las demás moléculas polares. El calor no se transmite por conducción desde la superficie hacia adentro, sino que se genera rápida y uniformemente a través de la masa; el resultado de la ebullición interna es eliminar la humedad, el vapor también calienta los alimentos sólidos adyacentes por conducción. Mientras se está convirtiendo el agua libre en vapor, la temperatura del alimento sube muy poco arriba del punto de ebullición del agua, salvo si el vapor dentro del alimento genera presión al tratar de liberarse, por lo cual el dorado y la formación de costra en la superficie es nula por el calor excesivo al exterior. (Potter, 1970) .

Capítulo 2
DISEÑO
EXPERIMENTAL

2.1. Desarrollo experimental.

El desarrollo metodológico se dividió en tres objetivos, ver Figura 16. En el primero se lleva a cabo la caracterización del horno de microondas, con la finalidad de localizar el área de mayor incidencia de microondas y en esa zona colocar la muestra a escaldar.

El segundo objetivo se subdivide en ocho actividades. En la primera se identifican las zonas del alimento que se van a evaluar, con el fin de que sean las mismas durante toda la experimentación, a continuación se toman las mediciones físicas de la manzana como son el diámetro, la altura y el peso. En la segunda actividad se realizan las mediciones de color y textura de la manzana antes del escaldado. Ya obtenidos los valores se escaldan las manzanas manteniendo la potencia constante, 1,400Mhertz, y variando los tiempos de exposición a las microondas. El resto de las actividades consisten en medir de nuevo los parámetros de diámetro, altura, peso, color y textura.

En el tercer objetivo se calcula la cantidad de enzimas inactivadas a través de la ecuación de la cinética de destrucción de microorganismos. Estos datos junto con las pérdidas de color y textura nos llevarán a proponer el mejor tiempo de exposición a las microondas para llevar a cabo un buen escaldado.

Terminada la experimentación se realizarán las conclusiones sobre el proyecto.

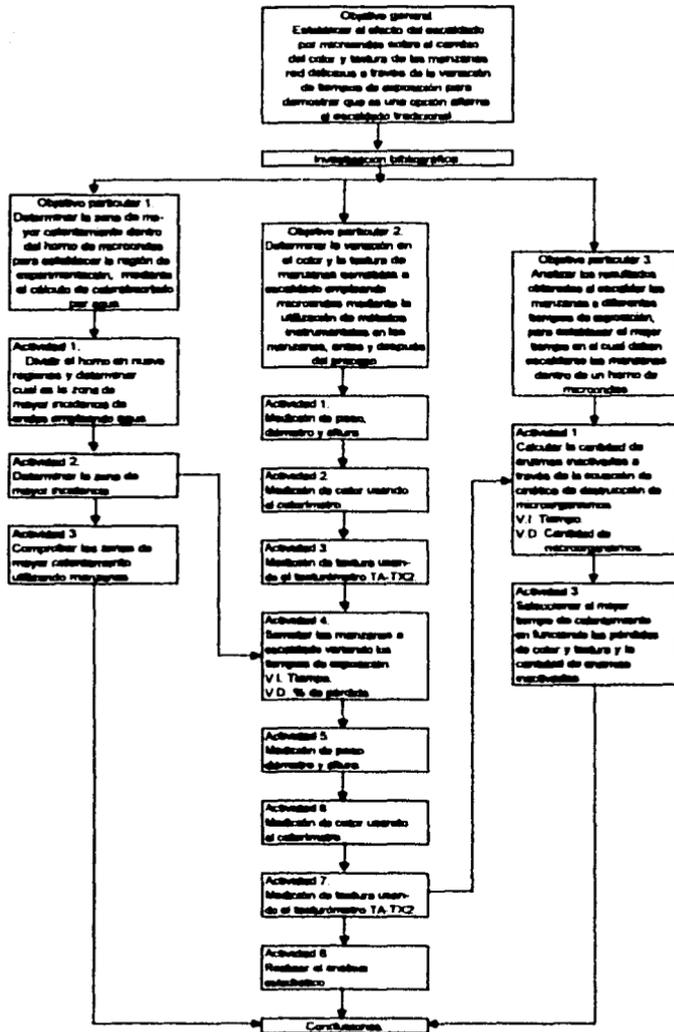


Figura 16. Cuadro metodológico del desarrollo teórico y experimental de la tesis.

2.2. Diseño experimental.

OBJETIVO 1.

Actividad 1. Caracterización del horno de microondas.

Justificación. La caracterización del horno de microondas se realiza para localizar el área de mayor incidencia de microondas, ya que como se sabe las ondas se emiten en tres direcciones: de la cima al fondo, lado a lado y del frente hacia atrás, lo que implica que existan zonas de mayor calentamiento que otras. En la actividad se utilizó agua ya que ésta no presenta compuestos que pudieran modificar la caracterización.

Materiales:

- Horno de microondas sin plato giratorio.
- Termopar para horno de microondas.
- Vaso de precipitado de 500 ml.
- Agua.
- Flexómetro.

Procedimiento.

Determinación de tiempo.

Para la realización de la actividad primeramente se dividió la base del horno de microondas en nueve secciones de igual tamaño cada una, en la Figura 2.16, se observan las zonas y su correspondiente numeración. Se vació en el vaso de precipitado 500 ml de agua y se colocó el termopar dentro del vaso de manera que durante la experimentación siempre quedara en el mismo lugar. Al utilizar el termopar se seleccionó la temperatura a la que se deseaba llegar, en este caso se empleó 70°C ó 160°F evitando así que se llegara a ebullición, y se cuantificó el tiempo que

se llevó en alcanzarla, de no hacerlo de esta forma el horno no puede emplear el termopar. Las temperaturas iniciales y finales del agua se mantuvieron constantes, al igual que la potencia de 1,400 MHz.

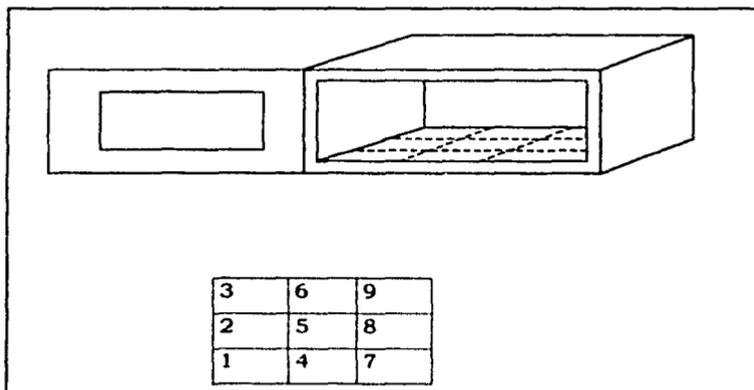


Figura. 17. Diagrama del horno de microondas y regiones a analizar.

El registro de datos se realizó ocupando la siguiente tabla:

Zona	Manzana	Tiempo (s)

Determinación de temperatura.

Para esta actividad no se ocupó el termopar, ya que como se mencionó, éste solo funciona con temperaturas fijas. Por lo tanto se colocó el vaso de precipitado con 500 ml de agua en las diferentes zonas a experimentar. Se midió la temperatura inicial y final del agua y se fijó el tiempo de exposición a tres minutos. Se empleó la siguiente tabla de registro:

Zona	Manzana	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)

Actividad 2. Calcular la cantidad de calor absorbido por el agua en cada zona.

Justificación. Aunque las microondas son una fuente de energía y no de calentamiento, éstas ocasionan que los propios componentes del alimento generen calor, que en este caso es sensible, es por esta razón que el cálculo del calor sensible nos llevó a determinar las zonas de mayor calentamiento dentro del horno de microondas.

Procedimiento.

1. Se tabularon las temperaturas finales de la experimentación de determinación de calor sensible.
2. Con los datos anteriores se calculó el calor por región utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_o = \frac{mC_p \Delta T}{t}$$

Donde:

M : es la masa en Kg.

C_p : es la capacidad calorífica del agua 1Kcal/Kg°C.

ΔT : es la diferencia de temperaturas en °C.

T : es el tiempo en segundos.

La tabla que se empleó para el registro de los calores calculados es la siguiente:

Zona	Qo (Kcal/s)	Media	Desv. Estándar.

Número de repeticiones: tres por zona.

Análisis de datos: Se calculó la media, la desviación estándar.

(Ver anexo 1).

Actividad 3. Comprobar las zonas de calentamiento utilizando manzanas.

Justificación. Se verificó si la composición de las manzanas tiene un efecto considerable sobre la velocidad de calentamiento en cada zona dentro del horno de microondas en comparación con el agua.

Materiales.

- Horno de microondas sin plato giratorio.
- Termopar para horno de microondas.
- Nueve manzanas rojas del mismo tamaño, de preferencia de forma esférica. No importan ni el color ni la madurez de las mismas.

Procedimiento.

Continuando con las nueve zonas del horno de microondas se colocó una manzana por región, previamente colocado el termopar a una distancia de 4.5 cm hacia adentro de la manzana. Se conectó el termopar al microondas y se fijó la temperatura de 70°C ó 160°F. Lo anterior se realizó en cada zona del microondas. Para finalizar se tabularon los tiempos obtenidos y se compararon con los del agua.

OBJETIVO 2.

Actividad 1. Análisis físicos de las manzanas.

Justificación. Las pruebas físicas resultan de gran ayuda para determinar si el tratamiento térmico es tan fuerte que ocasione pérdidas significativas de agua en el alimento, las cuales se traducen en disminución de sus dimensiones. Además es importante seleccionar y fijar las zonas en que se realizaron las mediciones, ya que así se evitó introducir otra variable.

Materiales.

- Se emplearon lotes de cinco manzanas de la variedad Red Delicious, las cuales se compraron siempre en el mismo lugar,.
- Vernier.
- Balanza granataria digital.

Procedimiento.

Se prepararon lotes de cinco manzanas por cada tiempo de proceso, las manzanas previamente identificadas con un número, se dividieron en cuatro regiones donde se llevaron a cabo las distintas mediciones, éstas se observan en la Figura 2.18. La señalización de las regiones se hizo con la finalidad de que se evaluará la misma parte de la fruta para obtener resultados representativos.

Ya identificadas las manzanas y las regiones a evaluar, se midió el diámetro y la altura empleando un vernier, el peso se midió utilizando una balanza granataria digital.

Los datos se registraran en la tabla:

Manzana	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)

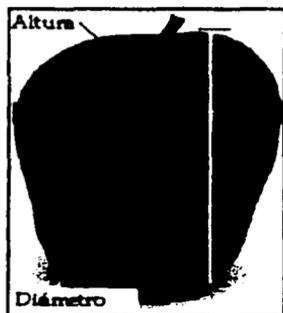


Figura 18. Zonas de medición de diámetro y altura

Número de repeticiones: Cinco por cada lote.

Análisis de datos: Calcular la media, la desviación estándar.

Actividad 2. Medición de color.

Justificación. Al no poderse emplear pruebas destructivas para determinar la madurez de las manzanas, se tomó la coloración de la cáscara como parámetro de madurez, además de servir de indicador en los cambios que sufren durante el proceso de escaldado.

Materiales.

- Manzanas, previamente identificadas.
- Colorímetro Hunter marca minolta.
- Placa para calibrar.

Procedimiento:

Antes de efectuar las mediciones es importante la calibración del equipo para lo cual se empleó una placa con una base blanca y sobre ésta se realizó la medición con el cañón del equipo, la lectura que presentó la

pantalla del colorímetro fue igual a la que proporcionó el fabricante, de tal forma que no haya algún error en la medición.

Ya calibrado el equipo se procedió a la medición de las manzanas en las zonas indicadas en la siguiente Figura, 2.19:

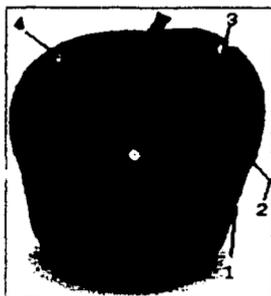


Figura. 19. Regiones de identificación de la manzana.

De los datos obtenidos se toman las mediciones CIE L, a, b . En el espacio de color L, a, b , la diferencia de color puede expresarse como un solo valor numérico que es ΔE_{ab} , el cual indica el rango de las diferencias de color, pero no hacia que lugar se va la diferencia de colores. La ΔE se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

La tabla que se utilizó para vaciar los datos es la siguiente:

Zona /	1			2			3			4			E
Manzana	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	

Número de repeticiones: Cinco por variación de tiempo.

Análisis de datos: Realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

Actividad 3. Medición de textura.

Justificación. La textura es uno de los parámetros más importantes a evaluar ya que nos indica la deformación de los tejidos estructurales de la manzana después de someterlas al escaldado.

Materiales.

- Manzanas previamente identificadas.
- Texturómetro TA- XT2.

Procedimiento.

Antes de iniciar la experimentación hay que calibrar el texturómetro TA- XT2, asegurándose que las condiciones de operación sean las mismas:

Velocidad de la prueba:	0.5 mm/s
Distancia de ruptura:	1.0 mm.
Distancia de penetración:	2.0 mm.
Fuerza del cono:	100 g.
Tiempo de penetración:	5 s.
Altura del brazo.	250 mm.

Utilizar el cono con ángulo de penetración de 30°, ya que es el que se sugiere para frutas.

Se colocó la manzana sobre la base del texturómetro y se iniciaron las mediciones vía la computadora del texturómetro. La penetración solo se realiza una vez, acabando regresa el brazo del texturómetro a su lugar inicial y acto seguido se muestra la gráfica de penetración, de la cual lo

que se tomó en cuenta fue la fuerza que se aplicó en el pico más alto. La tabla que se utilizó para registrar los datos es la siguiente:

Zona/manzana	1	2	3	4	Variación (%)

Número de repeticiones: Cinco por lote.

Análisis de datos: Realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

Actividad 4. Escaldado.

Justificación. La realización de la actividad nos indica si los cambios que sufre el producto durante la operación en realidad son mínimos en comparación con el método tradicional de escaldado.

Materiales.

- Las manzanas previamente identificadas.
- Horno de microondas sin plato giratorio.

Procedimiento.

El lote de manzanas se colocó con la etiqueta del número hacia el frente y en la zona del microondas previamente seleccionada.

El horno de microondas empleado durante la experimentación es un horno marca mabe, hotpoint Dual Wave III, con una frecuencia de lámpara de 60 Hertz y de horno de 1,400 MHz.

Con los controles del horno se fijó la potencia de 10, que equivale a 1,400 MHz, y se ingresó el tiempo de exposición a las microondas.

Los tiempos propuestos de variación se determinaron basados en un trabajo previo (Balderas y Vera, 1998), del cual se obtuvo como mejor

tiempo de escaldado 1:15 minutos. Partiendo de este tiempo se propuso aumentar el tiempo de exposición a las microondas, sin embargo se tomó un tiempo por debajo para tener un mejor enfoque.

Variables presentes:

- Variable independiente: Tiempo de exposición.
- Variable dependiente: Porcentaje de pérdida de color.
- Variable de respuesta: Tiempo adecuado de escaldado.

Niveles de variación: 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 y 1:30 minutos.

Análisis de datos: Análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

Actividad 5. Medición de diámetro, altura y peso.

Materiales.

- Se emplearán lotes de cinco manzanas ya escaldadas.
- Vernier.
- Balanza granataria digital.

Procedimiento.

Se midieron las regiones previamente señaladas tomando lecturas de diámetro y altura, empleando un vernier, y del peso, utilizando una balanza granataria digital.

Manzana	Peso (g)	Diámetro(cm)	Altura(cm)

Variables presentes.

- Variable independiente: Tiempo de escaldado.
- Variable dependiente: Porcentaje de pérdida de peso.
- Variable de respuesta: Tiempo adecuado de escaldado.

Número de repeticiones: Cinco por variación de tiempo.

Análisis de datos: Calcular la media, la desviación estándar y porcentaje de pérdida.

Actividad 6. Medición de color.

Materiales.

- Manzanas, previamente identificadas.
- Colorímetro Hunter marca minolta.

Procedimiento:

Se realizaron las mediciones en las zonas previamente marcadas, para obtener los parámetros CIE **L**, **a**, **b** con las que obtuvo ΔE a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + \left(\frac{\Delta a}{100}\right)^2 + (\Delta b)^2}$$

La tabla empleada para registrar los datos obtenidos se presenta en:

Zona /	1			2			3			4			E
Manzana	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	

Variables presentes.

Variable independiente:

Tiempo de escaldado.

Variable dependiente:

Porcentaje de pérdida de color.

Variable de respuesta:

Tiempo adecuado de escaldado.

Número de repeticiones: Cinco por variación de tiempo.

Análisis de datos: Análisis de varianza (ANOVA), porcentaje de pérdida y prueba de Tukey.

Actividad 7. Medición de textura.

Materiales.

- Manzanas previamente identificadas y escaldadas.
- Texturómetro TA-XT2

Procedimiento.

Se colocó la manzana sobre la base del texturómetro, la penetración se realizó en las mismas áreas que la medición inicial. Una vez penetrada la manzana se obtuvieron las gráficas de penetración, las cuales se almacenaron. Los datos que se ocuparon fue la fuerza aplicada en el pico más alto de cada gráfica durante cada penetración. Los datos se registraron en la siguiente tabla:

Zona/manzana	1	2	3	4	Variación (%)

Variables presentes.

- Variable independiente: Tiempo de escaldado.
- Variable dependiente: Porcentaje de pérdida de textura.
- Variable de respuesta: Tiempo adecuado de escaldado.

Número de repeticiones: Cinco por variación de tiempo.

Análisis de datos: Análisis de varianza (ANOVA), porcentaje de pérdida y la prueba de Tukey.

OBJETIVO 3.

Actividad 1. Cálculo de la cantidad de enzimas inactivadas.

Justificación. Las principales enzimas presentes en el pardeamiento enzimático de frutas (manzanas) son la peroxidasa y catalasa. Si el escaldado se realizó adecuadamente las enzimas deben de quedar inactivadas.

Procedimiento.

La forma de calcular la cantidad de enzimas inactivadas es utilizando la ecuación de cinética de destrucción de microorganismos, en la que se involucra el tiempo de reducción decimal y el tiempo en el que las manzanas se expusieron a las microondas

. La ecuación empleada es la siguiente (National Canners Association, 1968):

$$b = a * 10^{-t/D}$$

Donde:

a = porcentaje inicial de enzimas.

t = Tiempo de exposición a las microondas.

D = Tiempo de reducción decimal (bibliográfico).

En este caso el tiempo de reducción decimal para las manzanas a una temperatura menor a 100°C es de 0.5 min. (Brennan, 1976)

Actividad 2. Seleccionar el tiempo de calentamiento.

Procedimiento.

Basado en los datos obtenidos, los valores estadísticos, porcentajes de pérdidas y las observaciones realizadas durante la experimentación se determinó el mejor tiempo de exposición, en el cual las pérdidas de color, textura y componentes químicos fueron mínimos y se llevó a cabo la inactivación enzimática en todo el producto.

Capítulo 3
RESULTADOS Y
ANALISIS DE
RESULTADOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1. Análisis de la caracterización del horno de microondas.

Como se mencionó en primer lugar se dividió la base del microondas en nueve zonas de igual tamaño, las medidas de cada rectángulo fueron de 12.8cm x 10.8cm. Para la determinación del tiempo se dejó fija la temperatura final del agua, que fue de 70 °C ó 160 °F, los tiempos cuantificados se presentan en el Cuadro 3.1, se observan las temperaturas que se alcanzaron al dejar fijo el tiempo de exposición a las microondas, 3 minutos.

Cuadro 3.1. Temperatura alcanzada y tiempo empleado en cada zona.

ZONA	TEMPERATURA (° C) del agua después de 3 min.	TIEMPO (min) para llegar a 70°C.
1	82	1.57
2	73	1.18
3	69	2.32
4	71	2.14
5	71	2.32
6	72	2.27
7	69	2.21
8	68	2.32
9	69	3.15

Como se observa en los valores de temperatura alcanzada, en cada zona existe una uniformidad de las mismas en la zona central (zona 4, 5 y 6) e izquierda (zona 7, 8 y 9) del horno de microondas, sin embargo en los tiempos no se sigue un comportamiento, aunque en la zona central se presentan tiempos muy cercanos. Lo anterior comprueba que la irradiación de microondas es aleatoria y que éstas disminuyen en la zona

derecha del horno (zona 1, 2 y 3) . En conclusión la parte central es la mejor para escaldar las manzanas.

Actividad 2. Cálculo del calor sensible.

Aunque ya sabemos que la zona del horno de microondas en donde hay mayor incidencia de ondas es la central, no conocemos dentro de la misma la mejor, es decir cual de las zonas 4, 5 ó 6 presenta una mayor captación de calor, por lo que el cálculo del calor sensible y los tiempos alcanzados en cada zona nos llevaran a determinar la zona. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$Q_o = \frac{mC_p \Delta T}{t}$$

Donde la temperatura inicial del agua se mantuvo constante a 27 °C.

En el Cuadro 3.2. se presentan los valores obtenidos al igual que los tiempos de exposición de los 500 ml de agua a las microondas.

Cuadro 3.2. Tiempo y calor obtenido en cada zona.

ZONA	TIEMPO (min) .	Qo (Kcal/s)
1	1.57	0.156
2	1.18	0.131
3	2.32	0.117
4	2.14	0.125
5	2.32	0.125
6	2.27	0.128
7	2.21	0.119
8	2.32	0.117
9	3.15	0.119

Aunque en la zona uno se tienen las mejores valores de calor y tiempo, 0.156 Kcal/s en 1.57 minutos respectivamente, observamos que en esa parte del horno de microondas, derecha, la irradiación de microondas no es uniforme por lo que se supone que puede variar la incidencia de las mismas. De esta forma desechamos la zona uno y seleccionamos la zona 6, la cual alcanzó un calor sensible de 0.128 Kcal/s en 2.27 minutos, y se fijó esta zona para llevar a cabo el escaldado de las manzanas variedad red delicious.

Actividad 4.

Como se sabe la composición química de la manzana es principalmente agua, la cual es uno de los demás compuestos, a parte de la grasa, que se excita con mayor facilidad al paso de las microondas. La finalidad de esta actividad es visualizar si la presencia de los componentes de la manzana influye en la excitación de las moléculas del agua.

Para obtener el calor sensible de las manzanas se utilizó la fórmula de Cp por componentes de Heldman y Singh, 1981, que se escribe a continuación:

$$Cp = 1.424 X_{\text{CARBOHIDRATOS}} + 1.549 X_{\text{PROTEINAS}} + 1.675 X_{\text{GRASA}} + 4.187 X_{\text{AGUA}}$$

Y en la fórmula de calor sensible se utilizó como masa promedio 165gr por manzana.

Los resultados del calor obtenido en las manzanas colocadas en las distintas zonas del horno de microondas se presentan en el Cuadro 3.3:

Cuadro 3.3. Calores obtenidos empleando agua y calor.

ZONA	Qo (Kcal/s)	Qo (Kcal/s)
	Agua	Manzana
1	0.156	0.308
2	0.131	0.105
3	0.117	0.262
4	0.125	0.221
5	0.125	0.236
6	0.128	0.236
7	0.119	0.236
8	0.117	0.191
9	0.119	0.228

En el Cuadro 3.3. se observa que aún empleando manzanas persiste la falta de uniformidad en las zonas 1, 2 y 3 en la irradiación de microondas al igual que usando agua, aunque tanto en agua como en manzanas se obtienen los calores sensibles mayores, lo anterior lo atribuimos al rebote de las microondas en la pared, en el caso de la manzana empleada en la zona número uno el calor sensible que se obtuvo fue mayor debido a que el tiempo en el que llegó a los 70°C fue menor que en las otras zonas. Este aumento del calor en las zonas 1, 2 y 3 sería benéfico para nosotros ya que implicaría la reducción del tiempo de exposición del alimento a las microondas, sin embargo se tiene latente la posibilidad de que el calor en la región disminuya y no cumpla con su objetivo que es la inactivación de las enzimas.

Por otro lado se muestra que la composición química de las manzanas, incluyendo su grado de madurez, no modifica en gran escala la excitación de las moléculas para su consiguiente generación de calor sensible dentro de los alimentos, y se ratifica la zona seis como la de mejor incidencia y homogeneidad de microondas por presentar el calor sensible

más alto tanto en agua como en manzana (0.128 Kcal/s y 0.236 Kcal/s, respectivamente) y por observarse que las zonas circundantes presentan un calor homogéneo, lo cual asegura la no presencia de puntos fuera de control.

3.2. Análisis de datos de peso y dimensiones.

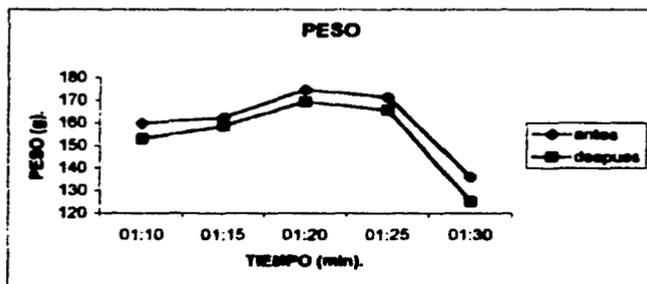
Actividad 1. Análisis físicos de las manzanas.

Peso.

Al ser las moléculas de agua, principalmente, las que se excitan por el paso de las microondas, éstas elevan su temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición, lo que implica la generación de vapor y éste a su vez hace que la presión interna sea mayor que la externa. Si la temperatura del alimento continúa aumentando puede explotar, sin embargo dentro de la experimentación se cuidó que esto no ocurriera, existe una pequeña pérdida de agua por liberación de vapor o por la salida de agua. Lo cual se traduce principalmente en pérdida de peso, y si la exposición a las microondas es mayor de dos minutos se ocasiona una reducción en las dimensiones de la manzana. En el Cuadro 3.4. se presenta la tabla de pesos de las manzanas antes y después de escaldarlas.

Como se puede observar del Cuadro 3.4. que existe una pequeña disminución de los pesos de las manzanas debido a la evaporación de agua y a la pérdida de aire de los espacios intracelulares. De las condiciones de las manzanas la madurez es la más difícil de controlar, a ésta atribuimos que la pérdida de peso no siguiera un comportamiento lineal. Con el tiempo de exposición 1:30 se confirma que al ser mayor el tiempo de incidencia de microondas la pérdida de agua y aire son mayores y se pueden visualizar en las propiedades físicas de la manzana. La gráfica se presenta en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.4. Efecto del calor sobre la pérdida de peso por eliminación del agua



interna de las manzanas.

Tiempo (min)	Peso antes (g)	Peso después (g)	Variación de pesos (%)
1:10	159.84	153.02	4.26
1:15	162.46	158.77	2.27
1:20	174.22	168.36	3.36
1:25	171.47	165.79	3.31
1:30	135.84	125.19	7.84

Cuadro 3.5 Gráfica de pérdida de peso a diferentes tiempos de experimentación.

Diámetro y altura.

Como se había mencionado, la medición de estos parámetros no son de vital importancia, sin embargo nos indican si la pérdida de agua afecto o no la composición química del alimento. A continuación en los Cuadros 3.6 y 3.7., se resumen los resultados obtenidos:

Cuadro 3.6 Diámetros de las manzanas antes y después del escaldado.

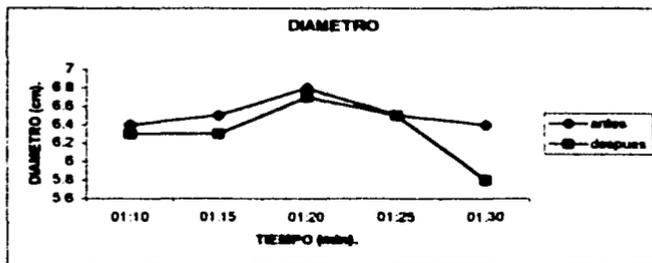
Tiempo (min).	Diámetro antes (cm).	Diámetro después (cm).	Variación (%)
1:10	6.4	6.3	1.56
1:15	6.5	6.3	3.07
1:20	6.8	6.7	1.56
1:25	6.5	6.5	0
1:30	6.4	5.8	9.37

Cuadro 3.7. Alturas de las manzanas antes y después del escaldado.

Tiempo (min).	Altura antes (cm).	Altura después (cm).	Variación (%)
1:10	6.9	6.6	4.34
1:15	6.7	6.5	2.98
1:20	7.0	6.7	4.28
1:25	7.1	6.9	2.81
1:30	5.9	5.3	10.16

Encontramos que inicialmente las manzanas presentan dimensiones, tanto de diámetro como de altura, muy parecidas y después de la exposición a las microondas las éstas sufren una variación mayor del 4%, lo cual indica que los tiempos de exposición propuestos no son tan altos como para producir daños en la composición química del alimento, es decir, una contracción en el volumen de la manzana. Tanto en los cuadros 3.6 y 3.7 se puede visualizar que no se modifican las características químicas de las manzanas.

Cuadro 3.8 Gráfica de pérdida de altura a diferentes tiempos durante la experimentación.



En la gráfica del Cuadro 3.8 se puede observar que inicialmente las manzanas empleadas en la variación de los tiempos: 1:10, 1:15 y 1:25 presentan características similares, pero los resultados que muestran después del escaldado indican que las microondas no producen un cambio significativo, aunque en el punto de tiempo 1:30 nos marca una pérdida mayor, lo que se ratifica con la eliminación de humedad y aire intracelular.

3.3 Análisis de los datos de color.

Como se indicó en la fase experimental, las mediciones de color se hicieron empleando el colorímetro Hunter, del cual se registraron los datos de espacio de color L^* , a^* y b^* , que se presentan a continuación en el Cuadro 3.9., en donde se muestran los datos de las distintas variaciones de color a lo largo de la experimentación.

Cuadro 3.9 Valores del espacio de color L^* , a^* y b^* antes y después de escaldar las manzanas.

Tiempo (min)	L^* Luminosidad	a^* cromaticidad	b^* cromaticidad	L^* después	a^* después	b^* Después
1:10	35.517	21.729	7.95	37.998	12.132	11.456
1:15	36.827	19.603	5.591	36.62	12.843	9.28
1:20	30.612	17.633	5.046	34.001	12.452	6.25
1:25	32.99	16.612	4.098	33.017	11.239	6.16
1:30	41.699	17.474	4.405	43.954	12.782	5.863

Antes del escaldado.

Al no poder realizar pruebas de madurez a las manzanas por ser éstas destructivas, se determinó a través de las mediciones de color utilizando como los valores promedios de cromaticidad de a^* un valor de 18.61 y de b^* de 5.418, lo que indica que entre las mismas manzanas se tiene una madurez estándar.

Recordando que la luminosidad tiene un valor de 100 para el blanco y de cero para el negro y que la cromaticidad $+a^*$ indica rojo y $+b^*$ amarillo, a simple vista estos valores nos indican que las manzanas variedad red delicious utilizadas en la experimentación tienen una

coloración roja oscura. Si graficamos los valores medidos en las manzanas en el diagrama de cromaticidad situaríamos los puntos en la región de coloración oscura, es decir, las manzanas utilizadas no son rojas, refiriéndonos al rojo que se observa en el espectro visible en una onda electromagnética. Para incorporar tanto la luminosidad (**L**) como la cromaticidad **a** y **b** se obtuvo el ΔE , el cual indica el rango de las diferencias de color, pero no hacia que lugar se van las diferencias de colores. La ΔE se

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

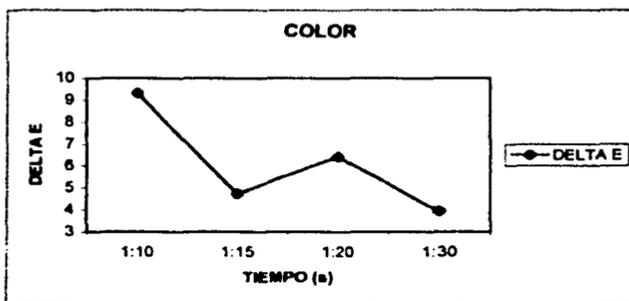
calculó a partir de la siguiente ecuación:

En el Cuadro 3.7. se presentan los valores de las ΔE obtenidas de las mediciones de color de las manzanas antes y después de someterlas a los diferentes tiempos de escaldado, además su respectiva gráfica (Cuadro 3.10 y Cuadro 3.11).

Cuadro 3.10 ΔE 's evaluadas a lo largo de la experimentación.

Tiempo (min).	E antes	E después	Variación (%)
1:10	45.1	43.14	4.23
1:15	44.5	41.24	7.3
1:20	36.5	37.18	1.77
1:25	36.4	32.86	9.86
1:30	43.7	44.73	2.38

Cuadro 3.11. Gráfica de las ΔE 's obtenidas en la experimentación.



Después del escaldado.

De acuerdo a los valores de L obtenidos se observa que el color inicial de las manzanas disminuyó, es decir se hizo menos oscuro. Con respecto a los valores de cromaticidad a y b se mantienen en la zona oscura, pero a diferencia de las lecturas iniciales que tendían hacia la zona roja, las finales se localizan hacia el negro completamente. Aunado a la pérdida de color indicadas por la luminosidad, se observa una disminución en el brillo en todas las manzanas utilizadas en la experimentación.

Con respecto a las ΔE se visualiza que existe una diferencia de color mínima (del 9%) entre los valores iniciales y los finales, lo que se traduce en una pérdida de color y brillo casi nula en las manzanas escaldadas. Ver Cuadro 3.11.

El empleo de la prueba de Tukey en las distintas actividades nos indica cuales manzanas utilizadas en las variaciones de tiempos tienen características semejantes para así poder realizar un análisis

partiendo de las mismas características. Utilizando dicha prueba estadística sobre los valores de ΔE obtenidos de las distintas variaciones de tiempo antes del escaldado, encontramos que los valores iniciales de las manzanas no tienen una variación mayor al 9% entre ellos.

Como se menciona estadísticamente las manzanas utilizadas en estos tiempos muestran características de color semejantes por lo que entre éstas se puede realizar una comparación. Ya escaldadas las manzanas, se puede observar que en el tiempo 1:30 existe una menor pérdida de color.

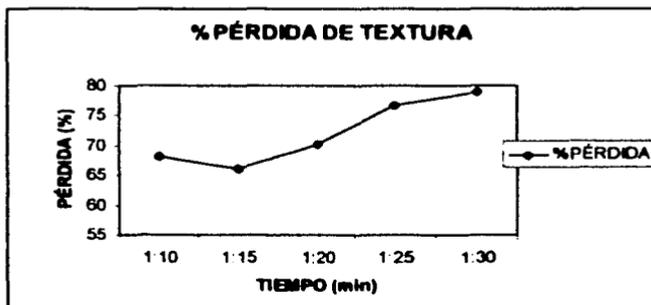
3.4. Análisis de los datos de textura.

La textura al igual que el color y las demás características de las frutas dependen considerablemente de factores como el grado de madurez y demás características del alimento. Se esperaba que al aumentar el tiempo e exposición a las microondas las pérdidas de textura aumentarían de igual forma, los resultados obtenidos de la experimentación son los siguientes (Cuadro 3.12 y 3.13):

Cuadro 3.12. Efecto del calor sobre la variación de textura.

Tiempo (min).	Fuerza inicial (g).	Fuerza final (g).	Variación (%).
1:10	375.62	105.8	71.83
1:15	307.57	94.5	69.27
1:20	372.17	121.75	67.28
1:25	377.3	112.85	70.09
1:30	292.97	59.7	79.62

Cuadro.3.13. Porcentaje de pérdida de textura a través de la variación de tiempos.



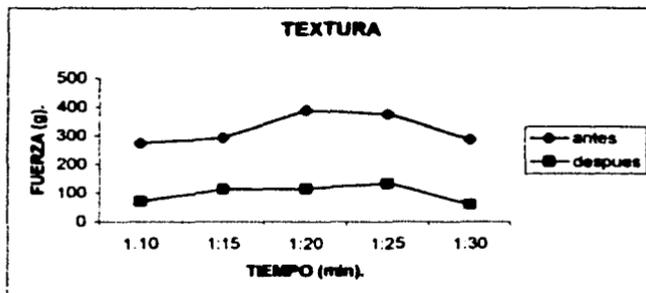
Después del escaldado.

Como se observa el tiempo 1:30 es el que presenta una mayor pérdida de textura en comparación con las demás variaciones de tiempo. Este resultado lo atribuimos a que mientras sea mayor el tiempo de

exposición a las microondas la humedad que pierde el alimento por su ebullición es mayor, haciendo que los tejidos celulares pierdan fuerza.

En la gráfica, (ver cuadro 3.14), se visualiza que en un inicio todas las manzanas poseen una textura diferente, sin embargo las únicas con las que se puede realizar una comparación efectiva y basándonos en la prueba de Tukey son con los datos de los tiempos de 1:10, 1:15, 1:25 y 1:30.

Cuadro 3.14. Comportamiento de la textura de las manzanas antes y después del escaldado.



Tomando en cuenta solo estos tiempos se ratifican dos cosas:

1. La pérdida de textura es proporcional al aumento del tiempo de exposición a las microondas.
2. El aumento a los tiempos de exposición no debe ser tan alto que produzca una pérdida excesiva de humedad mediante la ebullición de la misma.

Para la característica de textura consideramos que el tiempo 1:15 es en donde las manzanas presenta mejores condiciones, ya que no se ablandan demasiado los tejidos celulares.

3.5. Cantidad de enzimas inactivadas.

Como se recordara las pruebas que demuestran si el escaldado cumplió con su objetivo es el de la peroxidasa y oxidasa, principales enzimas, sin embargo por la carencia de reactivos y equipo, se decidió calcular la cantidad de enzimas inactivadas utilizando la ecuación de cinética de destrucción de microorganismos

Cuadro 3.15. Cantidad enzimática no inactivada en los distintos tiempos de exposición.

Tiempo de exposición (min)	Microorganismos no inactivados (%)
1:10	1.86
1:15	0.316
1:20	0.215
1:25	0.146
1:30	0.1

Con los datos confirmamos que no importando los tiempos de exposición a las microondas siempre se van a inactivar las enzimas, aunque la inactivación de enzimas es proporcional al aumento de los tiempos de exposición.

Todas las manzanas mostraron que aunque el tiempo de exposición a las microondas fuera distinto, éstos eran suficientes para un proceso de escaldado completo.

3.6. Determinación del tiempo de escaldado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la experimentación, el tiempo que presenta un mejor comportamiento y menores pérdidas tanto en color, textura y peso es empleando 1:15 minutos. Como se recordará la potencia utilizada durante la experimentación es 10, lo que es igual a 1,400Mhtz. En este caso la inactivación enzimática fue efectiva en todos los tiempos de exposición a las microondas, por lo que se corrobora como mejor tiempo el de 1:15.

El parámetro más importante que consideramos para la selección del tiempo fue la ausencia de oxidación en las manzanas escaldadas, el segundo punto fue la textura, lo anterior porque buscamos la menor pérdida de la misma, aunado a la apariencia que presente, como últimos parámetros se tomaron el color y la pérdida de peso.

Como respaldo de la experimentación realizada en este trabajo se llevó a cabo el escaldado de manzanas variedad red delicious empleando como medio calefactor agua a 70°C por cinco minutos cada manzana. Previo al escaldado se les realizaron mediciones de altura, diámetro, peso, color y textura. Simultáneamente se efectuaron las mismas evaluaciones a manzanas escaldadas en microondas. A continuación se presentan las fotografías de las manzanas escaldadas por ambos métodos.

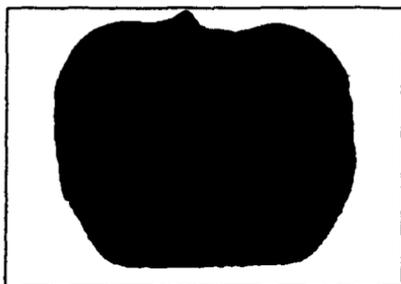


Figura. 20. Manzanas escaldadas por ambos métodos.

En la Figura 20., se observa del lado izquierdo la manzana escaldada empleando microondas y del lado derecho la escaldada utilizando agua caliente.



Figura. 21. Fotografía de manzanas comparativas

En la Figura 21. del lado izquierdo se, observan las tres manzanas escaldadas utilizando agua caliente y las dos restantes del lado derecho son las escaldadas utilizando microondas. Como se observa en ambas imágenes la pérdida de color, principalmente de brillo, en las manzanas escaldadas utilizando agua es drástico, no así con las manzanas escaldadas utilizando microondas, ya que estas tienen una pérdida mínima de su color inicial.

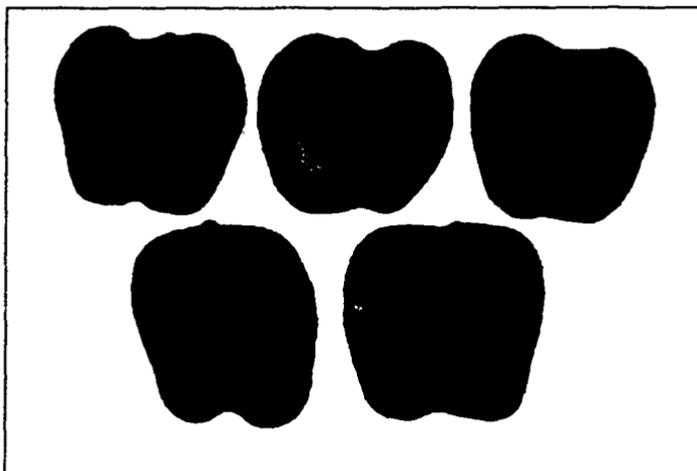


Figura 22. Fotografías de las mitades escaldadas por los dos métodos.

En ésta Figura 22. se observan las manzanas partidas a la mitad. Las tres de la parte superior se escaldaron utilizando agua caliente y las dos inferiores utilizando microondas.

Las tres primeras presentan una línea de color oscuro, de la cáscara hacia adentro, que rodea toda la manzana, ésta es la parte de la manzana que tuvo contacto con el calor del agua, el resto que se aprecia de color blanco es la pulpa que no se escaldó.

En las manzanas escaldadas utilizando microondas se presenta la misma línea pero partiendo del centro hacia la epidermis, el espacio que hay entre ellos es la parte que no llegó a tener transferencia de calor, cabe recordar que la transferencia de calor se realiza del centro hacia la superficie.

Cuantificando el tiempo de escaldado y los resultados obtenidos por ambos métodos concluimos que el escaldado empleando un horno de microondas presenta mejores resultados.

Es importante tener en cuenta que las variaciones que puede sufrir el alimento al ser escaldado dependen principalmente de las características de la manzana como son la variedad, la época de cosecha, el lugar de cosecha, características del árbol, manipulación y almacenamiento de las mismas.

No proponemos la realización del escaldado a mayores tiempos de exposición porque la presión interna que se llega a formar dentro de la manzana es muy alta lo que provoca que la manzana explote, además de que los cambios en la textura pueden ser severos.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Este trabajo tuvo como finalidad realizar el escaldado empleando un horno de microondas como otra alternativa, en la cual el tiempo individual de la manzana es menor que el empleado en el escaldado tradicional, ya sea ocupando vapor saturado o agua caliente como medio calefactor, y lo más importante es que las propiedades (color y textura principalmente) no se modifican drásticamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos concluir lo siguiente:

Confirmamos que las microondas generadas por el magnetrón no se irradian en la misma cantidad a todos los puntos del horno, como se recordará elegimos como zona de mayor incidencia de ondas a la número seis, parte posterior central del horno, la determinación de la zona se hizo mediante el cálculo de la cantidad de calor sensible absorbida por el agua en cada zona y por el tiempo que se empleó en alcanzar una cierta temperatura (70°C). Con lo cual se cumple con el primer objetivo particular.

Por otra parte la determinación de las características iniciales de diámetro, altura, peso, color y textura de las manzanas y con la ayuda de la prueba de Tukey como método estadístico, nos permitió determinar cuales manzanas poseían características similares para llevar a cabo un análisis de datos confiable.

La variación de tiempos se inicio en 1:10 minutos, tiempo tomado de un trabajo experimental previo (Balderas y Vera, 1998). Al ir aumentando cada cinco segundos el tiempo inicial nos permitió visualizar con mayor

CONCLUSIONES.

determinamiento los cambios físicos y químicos de las manzanas. Al tener como tiempo máximo de exposición 1:30 min, se observó que al aumentar demasiado el tiempo de exposición existe una pérdida de humedad considerable, provocando mayores cambios de color y sobre todo de textura.

Aunque se llevó a cabo la medición cuantitativa de distintas variables, la más importante para decidir en que tiempo se presentó menor pérdida de las mismas fue la textura, ya que el método nos proporcionó datos confiables, pero lo más importante es que la medición no depende de la persona que la realiza o del enfoque que ésta le dé al análisis, como en el caso del color. Con respecto a la inactivación enzimática se observó que en todos los tiempos utilizados durante la experimentación el porcentaje no inactivado es mínimo (alrededor del 1.86%), por lo que en ese aspecto, cualquier tiempo cumple con las características que debe tener un escaldado.

De acuerdo a los cuadros 3.10 y 3.12, el tiempo en el que se presentó un mejor comportamiento y menores pérdidas tanto en color, textura y peso fue empleando 1:15 minutos de exposición, con una potencia de 1,400 MHz.

Con los puntos anteriores concluimos que se cumplió con los objetivos particulares dos y tres.

El escaldado por microondas presenta muchos beneficios a la industria alimentaria si lo que se busca es obtener un producto con menores pérdidas de color, textura, peso y la reducción de costos con respecto a cualquier medio calefactor empleado en el escaldado tradicional. Aunque como desventaja el costo del equipo es muy alto, pero si se observan los

CONCLUSIONES.

beneficios, los cuales son mayores, se estará realizando una buena inversión a futuro.

Dentro de las ventajas encontramos que el uso de las microondas como generador de calor implica la no destrucción drástica del tejido vegetal, lo que se refleja en la pérdida mínima de la textura, al igual que la degradación de las antocianinas en el color y la eliminación de grandes cantidades de agua. Pese a que el escaldado se realizara individualmente, el tiempo de exposición a las microondas no es muy amplio debido a que el mayor porcentaje de compuestos químicos del alimento lo conforma el agua. Además de que se garantiza que el calentamiento del alimento sea uniforme y completo, es decir que al cortar el alimento no existan puntos en los cuales no penetraron microondas y otras zonas en las que la incidencia de microondas fue excesiva, además, en el escaldado utilizando como medio calefactor agua se recomienda la adición de carbonato de sodio u óxido de calcio para protección de la clorofila y con las microondas se evita el empleo de éstos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA.

1. **ÁLVAREZ REQUEJO.** El manzano. 5ta ed. Ed AEDOS. México, 1989.
2. **BALDERAS Y VERA.** Escaldado utilizando un horno de microondas de distintas frutas. Serv. Social. Cuautitlán Izcalli, 1998.
3. **BELITZ.** Química de los Alimentos. 2da ed. Ed Acribia. Zaragoza, España, 1997.
4. **BILLMEYER, FRED AND SALTZMAN MAX.** Principles of Color Technology. 2da ed. Ed. John Wiler and Sons. USA, 1981..
5. **BENNION, MARION.** The Science of Food. Ed. Wiley. USA, 1980
6. **BOURNE, MALCOLM C.** Food Texture and Viscosity. Ed. Academic Press. New York, 1982..
7. **BRAVERMAN, J.B.S.** La Bioquímica de los Alimentos. Ed. Manual Moderno. México, D.F., 1984.
8. **BRENNAN, J.A., et al.** Las Operaciones de la Ingeniería de los alimentos. 2da. De. ed. Zaragoza. España, 1976.
9. **BUFFLER.** Microwave Oven and Cooking. Ed. AVI Book. USA, 1993
10. **CHEFTEL, JEAN-CLAUDE.** Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Vol. 1. Trad. Fco. López-Capont. España, 1976.
11. **CHEFTEL, J.C. et al.** Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. 2da ed. Ed. Acribia. Zaragoza, España, 1992
12. **DANIEL, WAYNE.** Bioestadística. 3ra ed, Trad. Manuel Guzmán. Ec. Noriega Editores, México D.F., 1993.
13. **DECAREAU, ROBERT.** Microwave Foods: New Products Development. Ed. Food and Nutrition Press. INC. USA, Connecticut, 1992.
14. **DOWNING, DONALD.** Processed apple products. Ed. AVI Book. USA, 1989.

BIBLIOGRAFÍA.

15. ENSIMINGER, AUDREY. Food and Nutrition Enciclopedia. 2da ed. Ed. CRC Press. Vol. 1. USA, 1994.
16. FELLOWS, PETER. Tecnología del Procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas. Trad. Francisco Sala. Ed Acribia. Esapaña, Zaragoza, 1994.
17. FIDLER, J.C. Refrigeración de Manzanas y Peras. Ed Acribia. Zaragoza, España, 1984.
18. FUNGI, DANIEL AND MATTHEWS, RICHARD. Instrumental Methods for Quality Assurance in Foods. Ed. Quality Process AS QC. USA, 1991.
19. HEID, J.L. Food Processing Operations. 3era ed. Ed AVI Publishing. USA, 1963.
20. [htt://www.geocitic.com/collegetpark/Lad/2960/congelacionbody.htm](http://www.geocitic.com/collegetpark/Lad/2960/congelacionbody.htm)
21. KRAMER, AMIHUD Y SZCZESNIAK, ALINA. Texture Meassurements of Foods. Ed. Reidel publishing company. Netherlands, 1973.
22. LIOUTAS, THEODORE. Cambios en el empaque de atmósferas controladas y modificadas: La perspectiva de una compañía. Food Technology. Septiembre, 1988.
23. LLOYD, RYALL. Handling Transportation and Storage of Fruits and Vegetables, Fruit and Tree Nuts. 2da ed. Vol. 2. Ed. AVI. Connecticut, 1982.
24. MACRAE, R. Food Science, Food Technology and Nutrition. Ed. Academic Press. Vol. 1. Gran Bretaña, 1993.
25. Manual Colorimetro marca MINOLTA.
26. Manual del Texture Analyzer TA-XT2. Stable Micro systems
27. MARKAKIS, PERICLES. Anthocyanins as Food Colors. Ed. Academic Press. Michigan, 1982.

BIBLIOGRAFÍA.

28. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Handbook of Colorimetry. Ed. The Technology Press. USA, 1959.
29. MATHLOUTHI, M. Food Packaging and Preservation. Ed. Chapman and Hall. USA, 1994.
30. MILLER, IRWIN, et al. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. 4ta ed. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. México D.F., 1992.
31. NATIONAL CANNERS ASSOCIATION RESEARCH LABORATORIES, Microbiology and Processing. Laboratory Manual for Food Canners and Processors. De. AVI, U.S.A., 1968.
32. POTTER, NORMAN. La Ciencia de los Alimentos. Ed. Edutex. México, D.F., 1978.
- POTTER, NORMAN. La Ciencia de los Alimentos. 2da ed. Ed. EDUTEX. México, D.F., 1970.
33. POZAR, DAVID. Microwave Engineering. Ed. Addison-Wesley Publishing Company. USA, 1990.
34. RAU, M.A. Y RIZU, H.S.S. Engineering Properties of Foods. Ed. Marcel Dekker, INC. New York, USA, 1986.
35. ROBERTSON, G. L. Food Packaging. Ed Marcel. USA., 1993.
36. SHERMAN, P. Food Texture and Rheology. Ed. Academic Press. Gran Bretaña, 1979.
37. SINGH, P. Introduction to Food Engineering. Ed. Academic Press. USA, 1993.
38. WALPOLE, RONALD AND MYERS, RAYMOND. Probabilidad y Estadística. 4ta de. Ed. Mcgraw Hill. México, 1992.
- WELTY, JAMES. Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería. Ed. Limusa. Trad. Sergio Fernández. México, 1994.

ANEXO 1

ANEXO 1.

Media aritmética

Es la medida de tendencia central más conocida y se obtiene sumando todos los valores en una población o muestra dividiendo el valor obtenido entre el número de valores que se sumaron se define como:

$$X = \frac{X1 + X2 + X3 + \dots + Xn}{n}$$

El valor que se obtiene de la fórmula anterior, es el típico o representativo del conjunto de datos, como dicho valor tiende a ubicarse en el centro, la media se le conoce como medida de centralización.

Desviación estándar.

El grado en que los datos numéricos tienden a alejarse de un valor medio o promedio, se le llama variación o dispersión de datos, entre estos se encuentra la desviación estándar (S). y es útil como una medida de variación dentro de un determinado conjunto de datos.

La desviación estándar de una serie de números se representa por la letra S y se define por la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{(X1 - X)^2 + (X2 - X)^2 + (X3 - X)^2 + \dots + (Xn - X)^2}{n}}$$

ANEXO 1.

Coefficiente de variación (V).

Es una medida de variación relativa, el coeficiente de variación da a la desviación estándar como un porcentaje de la media.

$$V = \frac{S}{X} \cdot 100$$

(Miller, 1992).

Análisis de varianza. Análisis de varianza para el diseño completamente aleatorizado.

Fuente de variación.	Suma de cuadrados.	Grados de libertad.	Cuadrado de la media.	Razón de la varianza.
Entre los grupos.	$SC_{\text{entre}} = \sum_{j=1}^k n_j (X_{.j} - X_{..})^2$ $= \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{n_j} - \frac{T_{..}^2}{N}$	K-1	$CM_{\text{entre}} = SC_{\text{entre}} / (K-1)$	$VR = \frac{CM_{\text{entre}}}{CM_{\text{dentro}}}$
Dentro de los grupos.	$SC_{\text{dentro}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - X_{.j})^2$ $= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \frac{(T_{.j})^2}{n_j}$	N-k	$CM_{\text{dentro}} = SC_{\text{dentro}} / (N-k)$	
Total.	$SC_{\text{total}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - X_{..})^2$ $= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N}$	N-1		

Prueba de diferencia verdaderamente significativa de Tukey.

Utiliza un solo valor con el cual se comparan todas las diferencias. Este valor, llamado DVS, es dado por la expresión:

$$DVS = Q_{\alpha, k, N, -k} \sqrt{\frac{CM_{residual}}{n}}$$

donde:

α = Nivel de significación elegido.

k= medidas en el experimento.

N= número total de observaciones en el experimento.

n= número de observaciones en el tratamiento.

$CM_{residual}$ = cuadrado medio residual o del error de la tabla ANDEVA.

Q= se obtiene de la tabla k.

(Daniel, 1993).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN