



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

Efecto del proceso de escaldado en el secado de Manzana
variedad Golden Delicious

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

EDUARDO JURADO HERNÁNDEZ

ASESOR: Dra. María Elena Vargas Ugalde

COASESOR: I.A. Francisco Javier López Martínez

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



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.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme tan bonita experiencia.... La vida.

A mis amados padres por siempre siempre siempre ser mi apoyo incondicional aún en mis mayores errores que al final del día se convirtieron en aprendizajes. ¡Los amo!

A mis primos (Pichy y Alan) que formaron parte importante de cada decisión en mi vida.

A mi familia por jalarme las orejas cuando era necesario y por siempre brindarme un caluroso abrazo en los peores momentos.

A Antonio Trejo, por su invaluable amistad y apoyo para que esto al fin se culminara.

Al profe Paco, por su amistad, apoyo, confianza y sobre todo por enseñarme que el nombre de la UNAM pesa más de lo que uno se puede imaginar.

A Edgar Arechavaleta, por ser un amigo fuera y dentro del aula pero sobre todo por siempre hacerme dudar de lo que ya estaba seguro.

A mis Sinodales por su apoyo, entrega y compromiso en este proyecto.

A mis profesores que han llegado a ser muy buenas amistades y que me enseñaron más allá del aula... de la vida. Son los mejores de toda la Universidad y por lo tanto de todo México.

A mi Universidad por siempre brindarme todo a cambio de nada.

A Rubí, por su carácter y porque siempre de buena o mala manera me empujó a dar este importante paso. ¡Te amo!

A todos que han formado parte importante de este desarrollo y esta culminación.

A todos... absolutamente a TODOS

¡GRACIAS!

Se agradece el apoyo financiero del proyecto **DGAPA PAPIME PE208917 “LEM ALIMENTOS: TEORÍA, PLANTEAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EXPERIMENTALES POR METODOS COMPUTACIONALES”** para la realización de esta tesis.

Índice

Resumen

Introducción

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Generalidades de la manzana

1.1.1. Origen

1.1.2. Variedades y sus características

1.1.3. Composición química y valor nutricional

1.1.4. Producción nacional

1.2. Oscurecimiento de frutas.

1.2.1. Enzimas y su clasificación.

1.2.2. Peroxidasa y Polifenol oxidasa

1.3. Métodos de conservación en la manzana

1.3.1. Térmicos

1.3.1.1. Escaldado

1.3.1.1.1. Objetivo

1.3.1.1.2. Tipos de escaldado y equipos

1.3.1.1.2.1. Agua en ebullición

1.3.1.1.2.2. Vapor

1.3.1.1.2.3. Microondas

1.3.1.2. Deshidratación

1.3.1.2.1. Fundamentos del proceso de secado

1.4 Transferencia de energía

1.4.1 Propiedades térmicas de los alimentos

1.4.2 Mecanismos de transferencia de calor.

1.4.2.1 Convección

- 1.4.2.1.1 Ley de enfriamiento de Newton
- 1.4.2.2 Conducción
- 1.4.2.3 Radiación
- 1.5 Transferencia de materia
- 1.5.1 Mecanismos de transferencia de materia
- 1.5.1.1 Coeficiente de transferencia de masa por convección.
- 1.5.1.2 Ley de Fick
- 1.6 Propiedades físicas de los alimentos
- 1.6.1 Textura
- 1.6.2 Color
- 1.6.3 Volumen

Capítulo 2. Metodología

- 2.1 Actividades preliminares
- 2.1.1 Validación de termopares
- 2.1.2 Preparación de la solución para determinación de *peroxidasa*.
- 2.1.3 Determinación de los parámetros iniciales (Textura, color y actividad enzimática).
- 2.2 Diagrama general de trabajo
- 2.2.1 Problema
- 2.2.2 Objetivo general
- 2.2.3 Objetivos particulares
- 2.2.3.1 Objetivo particular 1
- 2.2.3.2 Objetivo particular 2
- 2.2.3.3 Objetivo particular 3
- 2.3 Materiales y métodos
- 2.3.1 Materia prima
- 2.3.2 Tratamiento de las muestras
- 2.3.3 Diagrama de proceso
- 2.3.4 Determinación de las propiedades físicas de la muestra
- 2.3.5 Técnicas analíticas
- 2.3.5.1 Color
- 2.3.5.2 Textura
- 2.3.5.3 Actividad enzimática
- 2.3.5.3.1 Extracción de la enzima

2.3.5.3.2 Determinación enzimática

Capítulo 3. Análisis de resultados.

3.1 Actividades preliminares

3.2 Objetivo particular 1

3.2.1 Estandarización de selección con respecto a madurez de la manzana.

3.2.2 Cálculo de reducción decimal

3.2.3 Historias térmicas

3.2.4 Actividad Residual Enzimática (ARE)

3.3 Objetivo particular 2

3.3.1 Cinética de secado

3.3.2 Colorimetría

3.4 Análisis estadístico

3.5 Conclusiones y recomendaciones

3.6 Referencias

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición Química de la manzana variedad “Golden Delicious”	11
Cuadro 2. Enzimas que generan alteraciones en los alimentos.	14
Cuadro 3. Uso de enzimas para determinar la calidad en los alimentos.....	15
Cuadro 4.- Valores obtenidos del cálculo de Reducción Decimal.....	37
Cuadro 5.- Resultados de ARE en diferentes etapas del proceso.....	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volumen de producción, rendimiento e importación de manzana en México.....	12
Figura 2. Estados productores de mayor volumen de manzana.....	13
Figura 3.- Validación de Termopares en agua en ebullición.....	31
Figura 4.- Selección de madurez a través de parámetros de color.	36
Figura 5.- Historia térmica de escaldado con agua. (Convencional).....	38
Figura 6. Historia térmica de escaldado con microondas.	38
Figura 7. Representación de la ARE en diferentes etapas del proceso.....	39

Figura 8. Determinación de Textura en manzana para ambos tipos de escaldado.....	40
Figura 9. Cinética de secado de la experimentación.....	41
Figura 10. Cinética de secado del dulce sin sacarosa añadida.	41
Figura 11. Cinética de secado del dulce con Sacarosa añadida.	42
Figura 12. Comportamiento colorimétrico en escaldado convencional de manzana.....	43
Figura 13. Efectos principales para Humedad Final.....	44
Figura 14. Efectos principales para Delta E.....	45
Figura 15. Efectos principales para Textura.....	46
Figura 16. Interacción de factores (Humedad final)	47
Figura 17. Interacción de factores (Delta E).	48
Figura 18. Interacción de factores (Textura).....	48

RESUMEN.

En el presente trabajo se utilizó manzana de la variedad "*Golden Delicious*" que fue adquirida en el mercado de la Merced de la Ciudad de México. La selección de los frutos se realizó con base en su estado de madurez, la similitud de su forma, tamaño, masa, y ausencia de lesiones visibles.

Las manzanas fueron lavadas y escaldadas por el método tradicional así como por el uso del horno de microondas. Posteriormente se les retiró el pericarpio, se descorazonaron y se homogeneizó la pulpa de las manzanas. Se extrajo una muestra y se formaron placas planas con dimensiones definidas que cumplieran los criterios para que la transferencia de calor y de masa se realice en una sola dirección y como operación final, se sometieron las muestras al proceso de deshidratación.

Las características evaluadas durante el proceso de escaldado y de deshidratación fueron color, textura, humedad final, así como la actividad enzimática residual para el proceso de escaldado y de secado respectivamente.

Este proyecto tiene como finalidad poder establecer una nueva alternativa para realizar el proceso de escaldado, específicamente en manzana "*Golden Delicious*", así como correlacionar parámetros del proceso de secado con los parámetros de medición de color, de esta manera también se busca apoyar a la industria que se dedica a deshidratar manzanas "*Golden Delicious*" para tener una metodología validada para determinar humedad del proceso mediante tomas fotográficas de la muestra.

INTRODUCCIÓN.

Todos los alimentos, tanto los que proceden de tejidos u órganos animales como de tejidos u órganos vegetales, son productos de carácter perecedero y, por consiguiente, sometidos al deterioro gradual determinado por numerosas reacciones bioquímicas (Gil, 2015).

Las alteraciones fundamentales que se producen en los alimentos son el crecimiento microbiano así como los cambios químicos y bioquímicos, consecuencia de actividades enzimáticas, que alteran su estructura y funcionalidad, a la vez que aparecen nuevos compuestos que, por su naturaleza tóxica o por su influencia negativa sobre la estructura y las características organolépticas de los alimentos, hacen que estos sean inaceptables para el consumo. Todas esas acciones y reacciones ocurren muy rápidamente en condiciones de actividad de agua elevada, así como con temperaturas favorables para el desarrollo de las funciones vitales y con valores de pH cercanos a la neutralidad (Gil, 2015).

Los alimentos se procesan con la finalidad de alcanzar determinados objetivos:

- Eliminar el riesgo de transmisión de enfermedades asociado a la presencia de microorganismos en los productos crudos.
- Mejorar sus características organolépticas, haciéndolos más agradables al paladar.
- Aumentar su vida útil.
- Impedir el deterioro químico o bioquímico de los nutrimentos.

Dentro de estos procesos se incluyen: (Gil, 2015).

- ❖ Tratamientos a baja temperatura (Refrigeración o Congelación).
- ❖ Eliminación de agua por concentración y deshidratación.
- ❖ Tratamientos térmicos convencionales (Pasteurización, escaldado, esterilización, entre otras).
- ❖ Tratamientos no térmicos (Altas presiones, irradiaciones, entre otras).
- ❖ Tratamientos biológicos (Disminución de pH, fermentación).
- ❖ Adición de agentes (Disminución de pH, inhibición de crecimiento de microorganismos y de reacciones químicas y bioquímicas).

El escaldado siempre se ha considerado como uno de los métodos térmicos de conservación más sencillos en los alimentos. El objetivo principal del proceso de escaldado es la inactivación enzimática del producto, lo anterior con el fin de evitar el pardeamiento enzimático en el alimento. Sin embargo, dicho proceso conlleva más ventajas, como son la reducción de la carga microbiana y apoyar en la limpieza del producto. No obstante, el proceso de escaldado se considera como una operación unitaria, la cual, generalmente se encuentra previa a otro proceso, es decir, que generalmente después de escaldar le sigue una operación unitaria final.

ANTECEDENTES.

1.1 Generalidades de la manzana.

1.1.1. Origen.

La manzana en general, es considerada el fruto del manzano, un árbol de la familia de las Rosáceas que pueden alcanzar los 10 metros de altura y que se encuentra distribuido por las regiones templadas de todo el mundo.

El fruto es un pomo, por lo general de forma ovoide, en cuyo interior se esconden numerosas semillas de color pardo (Gil, 2015).

Las semillas de manzanas, pueden contener cantidades considerables de sustancias que liberan cianuro (Glucósidos cianogénicos), de manera que se debe evitar comer estos huesos y semillas para prevenir intoxicaciones accidentales con cianuro (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2006).

Se desconoce el origen exacto del manzano. Unos autores señalan que procede de las montañas del Cáucaso, mientras que otros indican que el *Malus sieversii* (Ledeb.) es una especie silvestre que crece en las regiones montañosas de Asia media y podría ser el manzano del que se habrían originado hace 15,000 o 20,000 años las primeras especies cultivadas de este árbol.

El manzano ha sido un cultivo de gran importancia y es simbólico a lo largo de la historia. Fue introducido en España por los pueblos del norte de África y durante el proceso de romanización de la península. En el siglo XVI, los conquistadores españoles extendieron el cultivo de la manzana al nuevo mundo y cien años después, desde Iberoamérica, el manzano emigró a América del Norte y posteriormente a África septentrional y Australia.

Chihuahua ocupa el primer lugar en producción en el cultivo de manzana a nivel nacional, con aproximadamente 26,882 hectáreas de superficie plantadas, principalmente de las variedades: *Golden Delicious*, *Red Delicious*, *Rome Beauty* y *Galas*, con una producción de 684,669 toneladas y un valor de la producción de 3,238.48 millones de pesos (Rocha, 2015).

1.1.2. Variedades y sus características.

Las principales variedades que se cultivan las serranías de Hidalgo y Querétaro son "*Golden Delicious*", "*Red Delicious*" y "*Rayada*", los cuales poseen buenos atributos de calidad pero presentan serias limitantes en la comercialización, debido a daños por granizo, roña (*Venturia inaequalis*), mosca de la manzana (*Ghagoletis pomonella*), heladas durante la floración o por maduración tardía (Fernández *et. al.*, 2010).

Su taxonomía se encuentra compuesta por la familia: *Rosaceae*; Especia: *Pyrus malus L.* Alcanza como máximo 10 metros de altura y tiene una copa globosa. Compuesto por un tronco derecho que normalmente alcanza de 2 a 2.5 metros de altura.

Su piel es casi siempre brillante y lisa. Las manzanas más comercializadas son aquellas cuyo calibre va desde los 75 milímetros hasta los 85 o más. Su masa oscila desde 170 gramos hasta 350 gramos.

Los diferentes colores de la piel hacen que se diferencien las frutas en cuatro grupos: verdes, rojas, amarillas y bicolors. La pulpa puede ser dura o blanda pero siempre manteniendo la característica de ser refrescante y jugosa. Su sabor va desde el muy dulce al muy ácido pasando por toda una mezcla de gustos acidulados y azucarados.

Existen más de mil variedades de manzanas en todo el mundo, si bien, la gama que se ofrece en el mercado es limitada, ya que tan solo podemos elegir entre poco más de media docena de variedades, entre las cuales destacan las siguientes:

Golden Delicious:

Es de origen americano, posee una piel amarilla verdosa con pequeños puntos oscuros que se llaman "lenticelas" y que son los órganos respiratorios de la fruta. Su forma es redonda y regular.

El fruto es grande y de color amarillo dorado, es más largo que ancho, con la carne blanca amarillenta, fija, jugosa y perfumada. El pedúnculo es largo y la piel delgada pero resistente, cubierta con lenticelas grisáceas. Es una excelente polinizadora para la mayoría de las variedades comerciales. Es sensible al mal blanco, moteado y pulgón lanífero. Se trata de una variedad muy productiva cuya recolección se da entre los meses de Septiembre y Octubre (El cultivo de la manzana, 2015).

Red Delicious:

Es una variedad estadounidense que proporciona frutos grandes y alargados, de piel color rojo brillante. Su pulpa es jugosa, muy blanda, de sabor dulce, nada ácido y muy aromático (El cultivo de la manzana, 2015).

Manzana Granny Smith:

Variedad de origen australiano, que compite en el mercado con la *Golden Delicious*. Su piel es de color verde intenso, con numerosas lenticelas de color blanquecino. El fruto es casi esférico, de carne blanca, jugosa y ligeramente ácida (Gil, 2015).

Es una variedad procedente de Australia y es fácil de reconocer porque es muy redonda y de carne blanca, muy crujiente y jugosa, así mismo es algo ácido y poco aromática.

Royal Gala:

Manzana que presenta rayas de coloración rojo carmín sobre un fondo naranja uniforme, su carne es blanca, crujiente, consistente, jugosa y muy aromática.

1.1.3. Composición química y Valor Nutricional.

Desde el punto de vista nutritivo, la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta, el 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares (en mayor parte fructosa y en menor proporción glucosa y sacarosa) son los nutrimentos más abundantes en este producto después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de Vitamina C. Es rica en potasio, el cual es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad (Salazar, 2013).

Las manzanas son ricas en pectina, una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados que ayudan a eliminar toxinas y a reducir el colesterol. También cuentan con ácido málico, que es capaz de neutralizar los derivados de ácidos y dada su riqueza en fibra, resultan un remedio natural para combatir el estreñimiento y la diarrea, mejorando así el tránsito intestinal y ayudando en la digestión. Reducen además el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares e incluso son ideales para diabéticos, ya que ayudan a controlar la diabetes al reducir los niveles de azúcar en la sangre (Salazar, 2013).

Cuadro 1. Composición Química de la manzana variedad “Golden Delicious” (Eroskiconsumer, 2011)

Compuesto (%)	Porción por 100 gramos de materia.
Hidratos de Carbono	10.5
Fibra	2.3
Potasio	10
Magnesio	5.6
Vitamina C	12.4
Vitamina E	0,4
Provitamina A (µg)	0.4

1.1.4. Producción nacional.

La producción de manzana en México alcanza cerca de 3 mil millones de pesos anuales y la superficie destinada a este cultivo es de 62 mil hectáreas, principalmente en el norte del país. Hasta 2011, el volumen de producción fue de cerca de 600 mil toneladas, sin embargo, en 2012 se observó una caída de 40% respecto al año anterior, llegando apenas a las 375 mil toneladas, debido a la sequía que predominó en la zona norte y que se reflejó en una caída del rendimiento desde 10 ton/ha en los últimos diez años a 6 ton/ha.

En 2016, las mejores condiciones climáticas incentivaron una producción record, que de acuerdo con estimaciones de SAGARPA, fue de 867 mil toneladas y un rendimiento de 14.7 ton/ha.

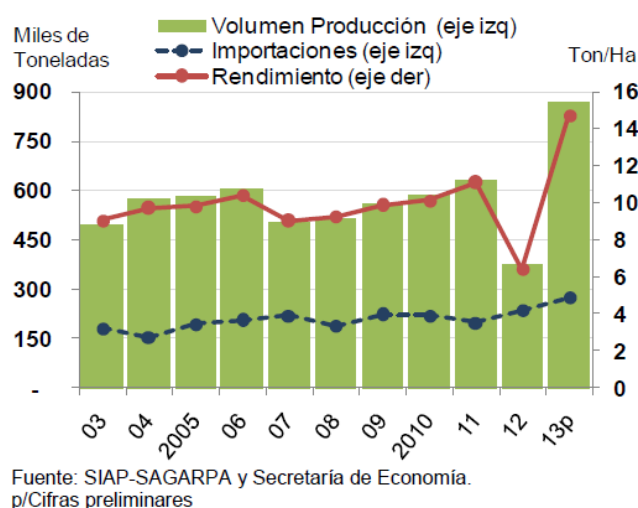


Figura 1. Volumen de producción, rendimiento e importación de manzana en México.

Chihuahua es el mayor productor de manzana del país, entre los años 2016 y 2017 participó en promedio con el 67.4% del volumen y el 66.5% del valor generado. Durango, Coahuila y Puebla son también entidades importantes en el cultivo de esta fruta y en conjunto generaron el 25.4% del volumen y el 26.5% del valor.

La cosecha de manzana se realiza entre mayo y diciembre, sin embargo, el 96% del volumen producido se concentra en tres meses: Agosto, Septiembre y Octubre. El consumo aparente en México es de cerca de 800 mil toneladas anuales y las importaciones en los últimos 10 años han sido en promedio de 210 mil toneladas, entre el 21% y 30% del consumo.

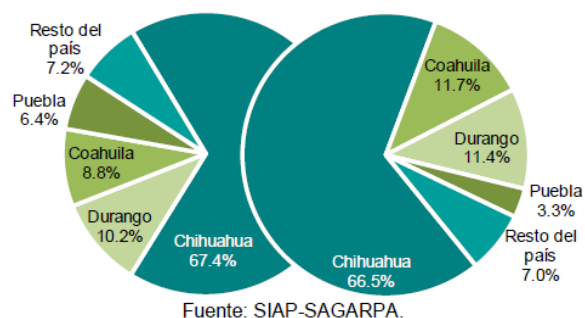


Figura 2. Estados productores de mayor volumen de manzana

En 2012, las importaciones se incrementaron un 19% respecto a 2011, pasando de 198 a 236 mil toneladas, como efecto del desabasto generado por la sequía, lo que se tradujo en un incremento en precios. Para 2013, dada la producción record se supondría un mejoramiento del abasto nacional, sin embargo, las importaciones no disminuyeron, sino que se incrementaron un 17% respecto a 2012, alcanzándose 275 mil toneladas, lo cual ha ocasionado que este 2014 el mercado se encuentre saturado y los precios desciendan de forma importante. Los productores se han visto imposibilitados para colocar el volumen adicional de producción en vista de la mayor importación y de la baja capacidad para refrigerar la fruta y evitar inundar el mercado (Financiera nacional de desarrollo, 2014).

1.2 Oscurecimiento de frutas.

El pardeamiento en frutas puede ser considerado como un conjunto de reacciones bioquímicas que van deteriorando la calidad del alimento. Esto ocasiona problemas en la industria procesadora de frutas, debido a la generación de características sensoriales indeseables.

Entre las causas que existen para describir este fenómeno se encuentran:

- Pardeamiento enzimático.
- Pardeamiento no enzimático:
 - Reacción de Maillard.
 - Caramelización.
 - Oxidación de ácido ascórbico.

Las reacciones de pardeamiento no oxidativo, pueden incluir enzimas en las primeras etapas. Durante la oxidación de ácido ascórbico este es convertido a ácido dehidroascórbico, que reacciona posteriormente con aminoácidos para producir polímeros rojos y pardos (Fennema, 2000).

Durante la reacción de Maillard ocurren un grupo de reacciones complejas en las que se forman compuestos de alto peso molecular de color oscuro llamados melaninas. Se requiere de un azúcar reductor y un grupo amino libre proveniente de un aminoácido o de una proteína.

La caramelización también es llamada pirolisis y se presenta en alimentos tratados térmicamente de manera drástica. Los azúcares son calentados por encima de su punto de fusión (Fennema, 2000).

1.2.1. Enzimas y su clasificación.

Todas las enzimas son consideradas proteínas, tienen una estructura dimensional globular, están formadas generalmente por una sola cadena polipeptídica y logran ser activas cuando los polímeros desarrollan una conformación que permite establecer su centro activo (Fennema, 2000).

Las enzimas presentes en la mayoría de los materiales alimenticios frescos tienen la capacidad de causar cambios deseables o indeseables en los alimentos. Así, el manejo de estas enzimas naturales es una consideración importante en la tecnología de alimentos. Las enzimas específicas de las frutas y vegetales están involucradas en la síntesis de varios precursores del sabor, los cuales son convertidos al sabor en sí (Whitaker, 1994). Las enzimas también están asociadas con los cambios en el color de los alimentos por ejemplo, del verde al amarillo, en la maduración de frutos o el oscurecimiento catalizado por fenolasas, lipólisis catalizada por lipasas y oxidaciones causadas por lipoxidasas (Fennema, 2000). Las enzimas catalizan reacciones biológicas y al igual que otros catalizadores influyen en la velocidad a la cual se obtiene el equilibrio. Las enzimas tienen la capacidad de efectuar la reacción química a través de una ruta que requiere de una menor energía libre de activación que la necesaria cuando se efectúa sin catalizador (Whitaker, 1994).

En el Cuadro 2 se muestran las enzimas presentes en vegetales que pueden contribuir a la pérdida de calidad de los mismos durante el almacenamiento.

Cuadro 2. Enzimas que generan alteraciones en los alimentos.

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

(Zendejas, 2005)

Con algunas excepciones, la peroxidasa está presente en todos los vegetales, es considerada como “la enzima indicadora universal” en el escaldado de vegetales, debido a que es la enzima más termorresistente, por lo que, si se inactiva, se asegura que el resto de las enzimas causantes del deterioro de la calidad de los vegetales también se inactiven.

La *peroxidasa* es una enzima endógena presente en todos los vegetales superiores.

Otras enzimas también son usadas como indicadores de la deficiencia del escaldado, por ejemplo, la *polifenoloxidasa*, que se utiliza para la prevención de colores indeseables en frutas, la *poligalacturonasa* para la prevención de la pérdida de consistencia de tomates y papas (Zendejas, 2005).

Cuadro 3. Uso de enzimas para determinar la calidad en los alimentos (González-Fesler *et.al.*, 2007).

Objeto	Enzima	Alimento
Tratamiento térmico adecuado	Peroxidasa	Frutas y Hortalizas
	Fosfatasa Alcalina	Jamón cocido, leche y productos lácteos
	β -Acetilglucosaminidasa	Huevos
Congelación y descongelación	Enzima málico	Ostras
	Glutamato oxalacetato transaminasa	Carne
	Fosfatasa ácida	Carne, huevos
	Catalasa	Leche
	Reductasa	Leche
	Glutamato descaboxilasa	Leche
Infestación por insectos	Catalasa	Judías verdes
	Uricasa	Cereales almacenados, frutas y derivados
Frescura	Lisolecitinas	Pescado
	Xantina oxidasa	Hipoxantina en pescado
Madurez	Sacarosa sintetasa	Patatas
	Pectinasa	Peras
Brotos	Amilasa	Harina
	Peroxidasa	Trigo
Color	Polifenoloxidasa	Café, trigo, aguacate
	Succinato deshidrogenasa	Carne
Sabor	Aliinasa	Cebojjas, ajo
	Glutaminil transpeptidasa	Cebollas
Calidad Nutritiva	Proteasas	Digestibilidad, Inhibidores de proteínas
	Lisina descarboxilasa	Lisina

La especificidad de la enzima llevó a postular un mecanismo del tipo de “cerradura y llave”. La molécula de sustrato, combinándose de forma especial con el sitio activo de la enzima, es activada para la reacción que ha de llevarse a cabo. El sitio activo sobre una enzima puede consistir en más de un “sitio” sobre la molécula proteica; un sitio puede atacar una parte de la molécula de sustrato, mientras otro sitio enlaza otra parte de la molécula de sustrato. En general el modelo de cerradura y llave parece ser correcto (Castellan, 1998).

1.2.2. Peroxidasa y Polifenoloxidasa.

Polifenoloxidasa y *peroxidasa* son las enzimas involucradas en el proceso de oscurecimiento. El oscurecimiento ocurre casi instantáneamente cuando la estructura celular es destruida y la enzima y el sustrato se mezclan. La *peroxidasa* es un indicador de deterioro de calidad así como de pérdida de sabor y de varias reacciones de biodegradación, además esta enzima se encuentra limitada a su disponibilidad de un aceptor de electrones como el peróxido de hidrógeno.

El ácido ascórbico es insuficiente al momento de controlar el pardeamiento y manteniendo el valor comercial de productos frescos. Por otro lado, el tratamiento térmico inactiva de manera efectiva la enzima (Ji-Hyun *et. al.*, 2010).

1.3 Métodos térmicos de conservación

El efecto del calor se basa en la desnaturalización de proteínas, lo que produce una desactivación de las enzimas, y por lo tanto, la desaparición de los efectos de sus actividades, incluida la paralización y eliminación de los microorganismos. Se puede considerar como uno de los primeros sistemas de conservación de los alimentos. La temperatura es un factor de gran importancia, que afecta el índice de crecimiento de los microorganismos, la mayoría de ellos tiene un rango de temperatura óptimo muy bien definido en el cual su actividad tiene un mayor desarrollo, generalmente este rango es muy amplio, ya que puede oscilar entre -7°C hasta 98°C.

1.3.1.1. Escaldado.

El escaldado es un tratamiento térmico de corta duración, consiste en mantener el producto algunos minutos a una temperatura de 95-100°C, el escaldado, es una operación previa al proceso de conservación (Casp & Abril, 1999).

Se sabe que el escaldado continuamente produce alteraciones estructurales profundas (Rompimiento de la pared celular, disrupción de la membrana, contracción de los espacios intracelulares, etc.) que pudiera afectar el fenómeno de transporte de masa durante los siguientes pasos. Así mismo, dependiendo del área de contacto con el agua o vapor, de la concentración de solutos en el agua y de la agitación, se producen más o menos pérdidas de nutrientes, especialmente de vitaminas y minerales, debidas al efecto térmico, a los arrastres por disolución de algunos de los componentes del alimento en el fluido de tratamiento y a los efectos oxidativos del proceso (González-Fesler *et.al.*, 2007).

1.3.1.1.1. Objetivo.

El escaldado es comúnmente usado como un pretratamiento llevado a cabo para prevenir la eliminación de sabores y cambios de color resultando de la reacción enzimática y disminuir la carga total de microorganismos (González-Fesler *et.al.*, 2007).

El propósito es acondicionar el material en diversos sentidos: ablandar para obtener un mejor llenado de los envases, inactivar enzimas causantes de malos olores, sabores y detectar fallas en el color natural del producto (Morlan, 2013).

Todos los vegetales, excepto las cebollas, tienen que ser escaldados con agua o vapor para reducir la carga microbiana e inactivar las enzimas que pueden causar el desarrollo de sabores anormales durante el almacenamiento, especialmente las *polifenoloxidasas*, responsables del pardeamiento enzimático.

1.3.1.1.2. Tipos de escaldado y Equipos.

Existen diferentes formas de llevar a cabo este proceso:

1.3.1.1.2.1. Agua en ebullición.

Este procedimiento es el más empleado en la actualidad, consiste en sumergir las frutas y hortalizas, enteras o troceadas, dentro de un baño de agua caliente. El tiempo y la temperatura del tratamiento dependen del tipo y tamaño del producto, oscilando normalmente de 3 a 10 minutos y de 85 a 100°C (Zendejas, 2005).

Equipos.

La máquina más común para realizar el escaldado con agua es la marmita de volteo y el escaldador de cinta, este último consiste en un transportador de tornillo en un depósito lleno de agua caliente. Los vegetales atraviesan el agua sobre el transportador de tornillo que controla el tiempo de permanencia y después enfría el agua (Zendejas, 2005).

1.3.1.1.2.2. Vapor.

Existe una forma de escaldar de manera individual llamada IQB (Individual Quick Blancher). En este sistema, las piezas de frutas o vegetales se extienden en una capa fina sobre una cinta de malla metálica, que moviéndose rápidamente atraviesa una cámara de vapor en donde son rociadas por el vapor. El tiempo que permanecen bajo condiciones adiabáticas da como resultado equilibrar la temperatura en el producto, la cual es la temperatura necesaria para inactivar las enzimas. El proceso IQB ofrece la ventaja de que requiere un 90% menos de vapor y produce un 90% menos efluente que un escaldador de agua (Zendejas, 2005).

Equipos.

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

1.3.1.1.2.3. Microondas.

Las microondas son energía electromagnética no ionizante que causan movimiento molecular por migración de iones y por rotación de dipolos, pero no causan cambios en la estructura molecular, por lo tanto, no existe la posibilidad de la formación de compuestos tóxicos o producción de reacciones diferentes a las producidas por cualquier otro medio de calentamiento. La longitud de onda de estas ondas electromagnéticas se encuentra entre 250 y 7,500 millones de Amperes (A) lo cual equivale a una frecuencia de 300 a 300,000 MHz. Para la aplicación en alimentos, las frecuencias aprobadas son de 915 y 2,450 MHz. En algunos hornos de microondas se cuenta con la posibilidad de poder cambiar la potencia, dependiendo de las necesidades de calentamiento que se tengan. La potencia menor (Potencia 1) equivale al 10% de lo que equivale la potencia mayor (Potencia 10) a las potencias siguientes de la menor, les corresponden incrementos subsecuentes del 10%, hasta llegar a la potencia máxima (Zendejas, 2005).

Las propiedades dieléctricas en los alimentos reflejan su capacidad de almacenar y disipar la energía. El factor de disipación se refiere al factor de pérdida (ϵ'') entre su constante eléctrica (ϵ'):

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (1)$$

La constante dieléctrica mide la capacidad de la muestra de almacenar la energía eléctrica y el factor de pérdida mide la capacidad de la muestra de disipar esa energía en calor. La palabra pérdida se refiere a la cantidad de energía de microondas que es convertida en calor. Existen tres clases de materiales para la interacción con las microondas: reflectivos (metales, transparentes (bajas pérdidas) y absorbentes (altas pérdidas). Los recipientes donde se colocan las muestras que van a ser calentadas, deben ser de un material que sea transparente a las microondas, o bien, que absorba la mínima cantidad de energía, de tal forma que ésta pueda atravesar el recipiente y llegar íntegra a la muestra. (Zendejas, 2005)

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

En el escaldado por microondas, el calentamiento se inicia en la zona central del producto, generándose el calor de manera rápida y uniformemente a través de la masa. Las microondas se adaptan especialmente al escaldado de frutas y hortalizas sin las pérdidas por lixiviación que causan el agua caliente o el vapor, tampoco se cuece excesivamente el exterior antes de lograr la inactivación de las enzimas del núcleo central. (Potter, 1978)

1.3.1.2. Deshidratación.

La operación unitaria de secado se define como la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire. (Geankoplis, 1998)

La deshidratación de frutas y hortalizas tienen por objeto disminuir su contenido de humedad, provocando así la concentración de sus elementos químicos en disolución y la plasmolización de los microorganismos, es decir, la pérdida de agua de estos, generando así, las condiciones que le impiden multiplicarse (Hernández, 1993).

La disponibilidad de agua en el medio nutritivo es un factor vital que determina los tipos de microorganismos que lo proliferen y con qué ritmo pueden crecer. Los hongos producirán descomposición en productos donde la actividad acuosa sea de 0.7 o más y algunas levaduras pueden causar descomposición en actividades acuosas bajas como el 0.6.

La eliminación del agua por deshidratación o secado conduce a una detención del crecimiento de los microorganismos, a una reducción de la velocidad de numerosas reacciones bioquímicas y químicas como el pardeamiento enzimático y no enzimático, a limitar la oxidación de lípidos y de proteínas y a aumentar la estabilidad de algunas vitaminas como la tiamina. (Gil, 2015)

Un alimento deshidratado de calidad debe tener sabor, olor y apariencia comparable con la de un producto fresco, retener los valores nutritivos y tener buena estabilidad de almacenamiento. En el secado un alimento pierde su contenido de humedad, lo cual da como resultado un aumento en la concentración de nutrientes de la masa restante. Las proteínas, grasas y carbohidratos están presentes en mayor cantidad por unidad de peso en los alimentos deshidratados que en los frescos (Vázquez et. Al. 1997).

La literatura existente indica que cuando se selecciona la operación de secado por aire como una alternativa para alargar la vida útil del producto impregnado, la influencia de las operaciones anteriores difiere ampliamente en las propiedades, como las del tejido, las cuales cambian de un producto alimenticio a otro. (González-Fesler *et.al.*, 2007)

1.3.1.2.1. Fundamentos del proceso de secado.

El secado transcurre a temperatura de vaporización durante un período de tiempo considerable; es decir, que gran parte del líquido se puede vaporizar a temperatura inferior a la del medio de calefacción. En las etapas finales del secado la temperatura de los sólidos asciende hasta la Temperatura de estancamiento (la cual es la temperatura que llegaría a adquirir el mismo si pasase adiabáticamente a velocidad cero, sin producir trabajo) que puede ser ligeramente superior a la temperatura de vaporización.

El tiempo de secado puede ser de pocos segundos o de horas. Los sólidos pueden estar a la temperatura de vaporización durante la mayor parte del ciclo de secado o durante una pequeña fracción del mismo. Los sólidos se calientan rápidamente desde la Temperatura de la temperatura inicial hasta la temperatura de vaporización, la temperatura de vaporización es constante puesto que la temperatura húmeda no varía. El gas caliente entra en el secador generalmente con poca humedad, se enfría rápidamente al principio y después más lentamente a medida que disminuye la diferencia de temperatura. Su humedad aumenta continuamente a medida que se va evaporando el líquido (McCabe, 1991).

1.4 Transferencia de energía.

1.4.1. Propiedades térmicas de los alimentos.

En los procesos térmicos, las propiedades térmicas son las que modifican la transferencia de calor en los alimentos, algunos ejemplos de estas propiedades son: el calor específico, la conductividad térmica y la difusividad. Estas propiedades dependen de la composición química y estructura de los materiales.

Las propiedades térmicas son parámetros necesarios para llevar a cabo cálculos de transferencia de calor para procesos de calentamiento y enfriamiento de alimentos, y son datos esenciales en el diseño de equipo y de ingeniería de alimentos. Las propiedades térmicas son parámetros que reflejan la capacidad de predicción de las velocidades de transferencia de calor para calentamiento o congelamiento de productos alimenticios (Orrego, 2003).

1.4.2. Mecanismos de transferencia de calor.

El calor se define como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y a transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura. El calor se puede transmitir en tres modos diferentes: Conducción, Convección y Radiación (Çengel, 2012).

1.4.2.1. Convección.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección.

Se le llama convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido, también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso (Çengel, 2012).

1.4.2.1.1. Ley de enfriamiento de Newton.

Durante un proceso térmico se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la Ley de enfriamiento de Newton.

$$Q = h A (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Donde:

$h =$ Coeficiente de transferencia de calor por convección en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

A

= Área superficial a través de la cual sucede la transferencia de calor por convección (m^2)

$T =$ Temperatura ($^\circ C$)

1.4.2.2. Conducción.

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, hay una transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura, se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura (Holman, 1998).

La conducción es la transferencia de energía de las partículas, más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre partículas (Çengel, 2012).

De acuerdo a la ley de Fourier, la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\delta T}{\delta x} \quad (3)$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad:

$$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x} \quad (4)$$

Donde q es el flujo de calor y $\delta t/\delta x$ es el gradiente de temperatura en dirección del flujo de calor. La constante positiva k se llama conductividad térmica del material y se ha puesto el signo negativo para satisfacer el segundo principio de la termodinámica, esto es, el calor debe fluir hacia las temperaturas decrecientes. La ecuación anterior se llama ley de Fourier de la conducción de calor. Es importante mencionar que dicha ecuación define a la conductividad térmica y que k tiene las unidades de vatios por metro y por grado Celsius en un sistema de unidades en el que el flujo de calor se exprese en vatios (Holman, 1998).

1.4.2.3. Radiación.

La radiación es la energía que emite la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.

A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio. De hecho, este tipo de transferencia es la más rápida, lo anterior, debido a que se lleva a cabo a la velocidad de la luz, y no experimenta ninguna atenuación en el vacío.

En los estudios de transferencia de calor, el interés se halla en la radiación térmica, que es la forma de radiación que emiten los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica (Holman, 1998).

La tasa máxima de radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura absoluta T_s , se determina mediante la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\frac{q}{A} = \sigma \epsilon T_A^4 \quad (5)$$

Donde A es el área superficial y $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta tasa máxima se le llama cuerpo negro. La emisividad ($0 < \epsilon < 1$), es una medida de que tan cerca se aproxima una superficie a un cuerpo negro, para el cual la emisividad es igual a 1.

1.5. Transferencia de Materia.

Las operaciones de transferencia de masa se caracterizan por transferir una sustancia a través de otras a escala molecular. Dicha transferencia es un resultado de la diferencia de concentraciones, o gradiente, en donde la sustancia que se difunde abandona un lugar en que está muy concentrada y pasa a un lugar de baja concentración (Treybal, 1980).

En las operaciones de transferencia de masa, ninguna de las fases en el equilibrio consta de un único componente. Por ello, cuando inicialmente se ponen en contacto las dos fases, no constan de la composición que tienen en el equilibrio, entonces, el sistema trata de alcanzar el equilibrio mediante un movimiento de difusión relativamente lento de los componentes, los cuales se transfieren parcialmente entre las fases en el proceso. Por tanto, las separaciones nunca se completan, aunque, como se mostrará, pueden llevarse tanto como se desee hacia la terminación (pero no totalmente) mediante manipulaciones apropiadas (Treybal, 1980).

Los tres estados de agregación de la materia, gas, líquido y sólido permiten seis posibilidades de contacto interfacial: (Treybal, 1980).

1) Gas – Gas.

Puesto que (con pocas excepciones) todos los gases son completamente solubles entre sí, esta categoría no se realiza prácticamente.

2) Gas – Líquido.

Las dos fases pueden ser soluciones, sin embargo, ambas poseen sólo un componente común que se distribuye entre las fases. Un ejemplo claro de esto es la operación de absorción y la operación de humidificación.

3) Gas – sólido.

Si un sólido humedecido con un líquido volátil se expone a un gas relativamente seco, el líquido abandona el sólido y se difunde en el gas, operación que también es conocido como secado o desorción.

4) Líquido – Líquido.

Las separaciones en que interviene el contacto entre dos fases líquidas insolubles se conoce como operaciones de extracción líquida.

5) Líquido – Sólido.

Cuando todos los componentes están presentes en las dos fases en el equilibrio, la operación se llama cristalización fraccionada.

6) Sólido – Sólido

Debido a la extraordinariamente lenta velocidad de difusión entre dos fases sólidas, no existen operaciones industriales de separación dentro de esta categoría.

1.5.1. Mecanismos de transferencia de materia.

La mayoría de las operaciones de transferencia de masa que se utilizan para separar los componentes de una solución, logran hacerlo al poner la solución que va a separarse en contacto con otra fase insoluble. La transferencia termina cuando se alcance el equilibrio (Treybal, 1980).

Los dos mecanismos de transferencia de calor, esto es la conducción y la convección, son análogos a la difusión molecular y a la transferencia convectiva de masa (Geankoplis, 1998).

La difusión molecular puede definirse como la transferencia o desplazamiento de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas. Puesto que las moléculas se desplazan en trayectorias al azar, la difusión molecular a veces se llama también proceso con proyección aleatoria (Geankoplis, 1998).

Tómese primero en cuenta que la difusión de moléculas cuando la totalidad del fluido está inmóvil, es decir, estacionario. La difusión de las moléculas se debe a un gradiente de concentración (Geankoplis, 1998).

La ecuación general de la ley de Fick puede escribirse como sigue para una mezcla binaria de A y B:

$$J_{AB} = -cD_{AB} \frac{dx_A}{dz} \quad (6)$$

Donde c es la concentración total de A y B en Kg mol A+B/m³ y X_A es la fracción mol de A en la mezcla de A y B. Si c es constante, entonces, puesto que C_A = C X_A

$$c dx_A = d(cx_A) = dc_A \quad (7)$$

Sustituyendo la primera ecuación, se obtiene la siguiente ecuación para una concentración total constante.

$$J_{AB} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \quad (8)$$

Esta ecuación es la de uso más común en muchos procesos de difusión molecular. Cuando c varía un poco, se aplica un valor promedio en dicha ecuación.

1.5.1.1. Coeficiente de transferencia de masa por convección.

Cuando un material fluye por el exterior de una superficie sólida en movimiento de convección forzada, podemos expresar la velocidad de transferencia de masa convectiva desde la superficie hasta el fluido o viceversa, mediante la siguiente ecuación:

$$N_A = k_c(C_{L1} - C_{Li}) \quad (9)$$

Donde K_c es un coeficiente de transferencia de masa en m/s, C_{L1} la concentración de fluido general en Kg mol A/m³ y C_{Li} la concentración en el fluido cerca de la superficie del sólido. Este coeficiente de transferencia de masa es muy parecido al coeficiente de transferencia de calor h y es función de la geometría del sistema, de las propiedades del fluido y de su velocidad. (Geankoplis, 1998)

1.5.1.2. Coeficiente de Difusión. (Ley de Fick)

Para describir el proceso de difusión del agua en los alimentos, la ley de difusión de Fick ha sido utilizada por diversos investigadores (Azzouz et. al. 2002; Fasina et al. 2002, Kayacier y Singh, 2004, entre otros) y en ella se consideran dos parámetros: la dimensión del alimento y el coeficiente de difusión efectivo. Es muy común considerar alguna geometría finita del alimento como una configuración de lámina infinita y despreciar la difusión en las otras direcciones. (Corzo et. al., 2011)

La solución de la segunda ley de la difusión establecida por Fick para la configuración de una lámina infinita, corresponde a: (Corzo et. al., 2011)

$$MR = \frac{X_1 - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{r^2} \int_{n=0}^{n=3} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \frac{-(2n+1)^2 r^2 D_e t}{4L^2} \quad (10)$$

Siendo MR la relación de los contenidos de agua, X_t , X_e y X_o , los contenidos de agua en el alimento al cabo de un tiempo de secado “t”, en el equilibrio y al inicio del secado, D_e , es el coeficiente de difusión efectivo de agua, L la mitad del espesor de las láminas cuando la transferencia de masa ocurre por los dos lados, y el tiempo de secado.

Esta solución es válida solamente para la etapa de secado a velocidad decreciente en la cual el proceso de secado está controlado por la difusión (Corzo, 2011), por lo tanto, el contenido de humedad inicial corresponde al crítico y el tiempo de secado para cada muestra corresponde al tiempo medio menos el crítico.

La dependencia del coeficiente de difusión efectivo del agua con la temperatura del aire de secado se representó por la ecuación de Arrhenius.

$$\ln D_e = \ln D_{e_0} - \frac{E_a}{RT} \quad (11)$$

Siendo el factor de frecuencia (min^{-1}), la energía de activación (KJ/mol), R es la constante universal de los gases (8.314 J/mol K) y la Temperatura absoluta (K).

1.6. Propiedades físicas de los alimentos.

En el estudio de los alimentos y sus tratamientos térmicos siempre están en juego las propiedades físicas y químicas de estos. Las propiedades son aquellas características que definen el estado de equilibrio de un sistema termodinámico, estas últimas no dependen de como se ha alcanzado ese estado del sistema sino que son solo función de ese estado, es decir, las propiedades son independientes del proceso por el cual el sistema ha alcanzado su estado. Algunas de estas propiedades se presentan a continuación:

1.6.1. Textura.

Textura se refiere a la sensación humana de los alimentos derivada de su comportamiento reológico durante la masticación y deglución. Obtener una descripción cuantitativa de textura usando datos instrumentales es muy complicado porque ningún instrumento puede duplicar las capacidades humanas. (Steffe, 1993)

En general hay dos métodos para evaluar la textura de los alimentos: Sensorial e instrumental.

Los alimentos están sometidos a fuerzas durante su proceso, particularmente durante las operaciones unitarias tales como el escaldado y la esterilización.

En cuanto a las propiedades mecánicas, estas hacen referencia a la manera en que los materiales responden a la aplicación de fuerzas, a consecuencia de las cuales se deforman o fluyen en función del tiempo. La medición de esta respuesta constituye el campo de la reología y la textura. El consumidor percibe con precisión de la textura cuando come o bebe sólidos y líquidos, y no puede dudar de que la textura es un factor importante en la calidad del alimento. En el proceso de

masticación, las fuerzas a las que se somete un alimento son complejas. El masticado rompe el alimento y lo hace más digerible. (Rosenthal, 2001)

1.6.2. Color.

El color es un hecho de la visión que resulta de las diferencias de percepciones del ojo a distintas longitudes de onda que componen lo que se denomina el “Espectro” de luz blanca reflejada en una hoja de papel. Estas ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 700 nanómetros; más allá de estos límites siguen existiendo radiaciones, pero ya no son percibidos por nuestra vista.

Lo que ocurre cuando percibimos un objeto de un determinado color, es que la superficie de ese objeto refleja una parte del espectro de luz blanca que recibe y absorbe las demás. (Teoría del color, 2015)

Un espacio de color puede ser descrito como un método para expresar el color de un objeto usando algún tipo de anotación, como pueden ser los números. La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), es considerada como la autoridad en la ciencia de la luz y el color, ha definido espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE L*C*h, y CIE L*a*b*, para comunicar y expresar el color objetivamente.

El espacio de color L*a*b*, también referido como CIELAB, es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes usado para evaluar el color de un objeto. Este espacio de color es ampliamente funcional porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana.

Cuando se clasifican los colores, se les puede expresar en términos de matiz (Color) luminosidad (Brillo) y saturación (Vividez). Al crear escalas para éstos atributos, el color se puede expresar en forma precisa. El espacio de color L*a*b* fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo. Como se muestra a continuación, L* indica la luminosidad, a* y b* son las coordenadas cromáticas.

L*= Luminosidad

a*= Coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b*= Coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Los instrumentos de medición de color (espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar éstos atributos de color fácilmente. Ellos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada L*, a* y b*.

La diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se le conoce como Delta (Δ). Deltas de L* (ΔL^*), a* (Δa^*) y b* (Δb^*) pueden ser positivas o negativas. La diferencia total, Delta E (ΔE), sin embargo, siempre es positiva.

Para determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas, se debe usar la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (12)$$

Es importante destacar que Delta E solo indica la magnitud de la diferencia total de color pero no indica cuán correcta es, lo anterior, debido a que la forma en cómo se tomen las lecturas puede afectar de manera importante los resultados. (Teoría del color, 2015)

1.6.3. Volumen.

El proceso de secado puede llevarse a cabo por diversos sistemas, pero la elección va a depender siempre de la naturaleza del producto, la forma y calidad requerida, el costo del procesamiento y las condiciones de operación. El secado puede reducir de manera parcial o total el volumen de agua libre en el alimento, obteniéndose una mejora en las condiciones microbiológicas, organolépticas y fisicoquímicas (Valderrama, 2004).

Cuando un alimento se somete a la deshidratación se contrae en proporción a la salida progresiva de agua fuera de las células. Esta contracción es mucho más pronunciada cuando la deshidratación es lenta y se produce a pesar de la resistencia de los elementos estructurales de los tejidos.

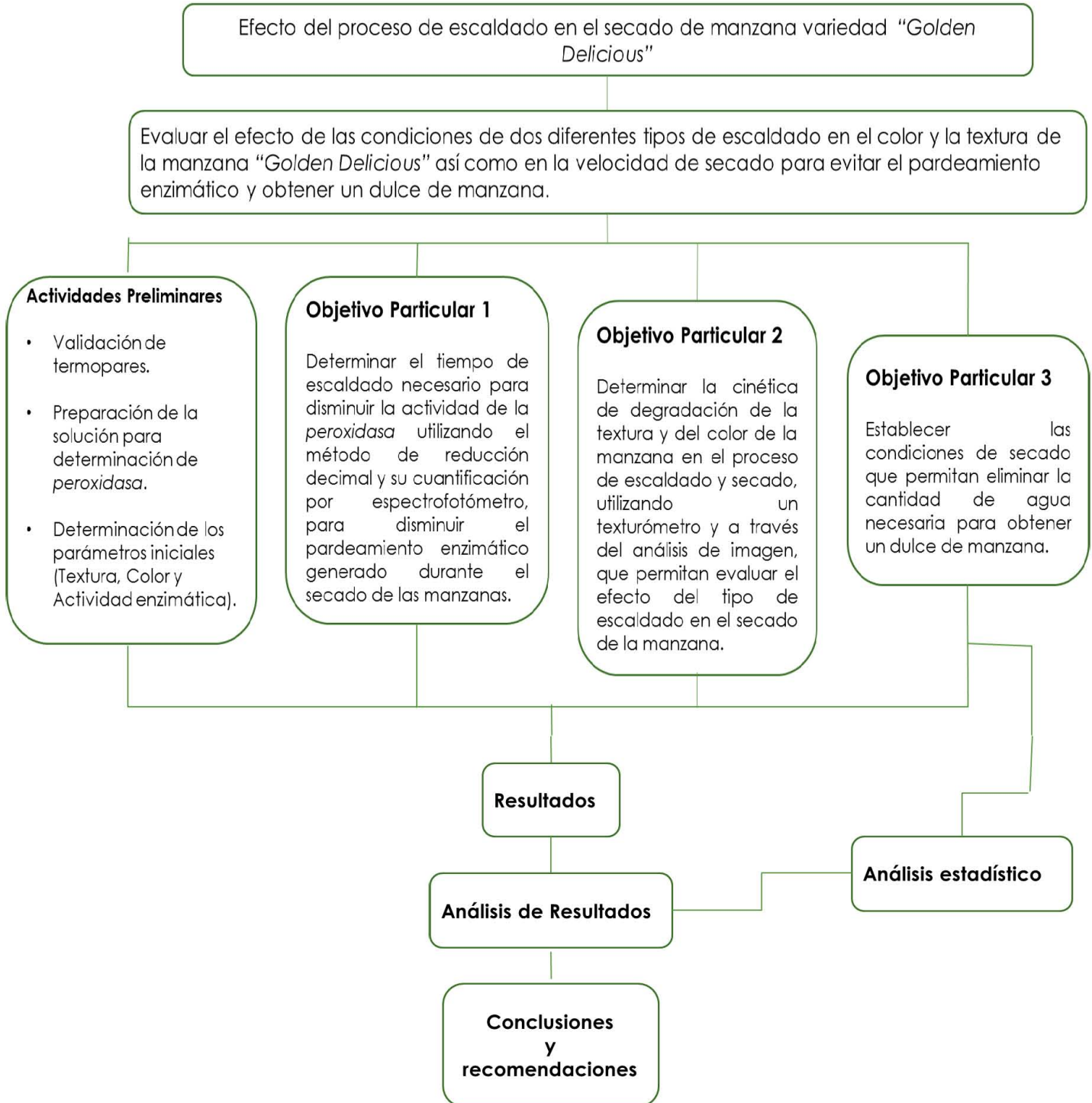
Por el contrario, si la deshidratación es rápida se forma inmediatamente una capa seca y rígida en la superficie del alimento que "fija" el volumen final del producto.

La deshidratación posterior de las partes profundas, va acompañada de desgarramientos y vacíos internos. Entonces, se obtienen productos que conservan su forma inicial, pero que debido a su estructura porosa se rehidratan rápidamente y de manera adecuada. (Peralta et. al., 1996).

Capítulo 2. Metodología.

En este capítulo se muestra la metodología que se siguió durante toda la experimentación para poder cumplir los objetivos planteados. Así mismo, se presenta el diagrama general de trabajo el cual indica la estructura de esta metodología.

2.1 Diagrama General de Trabajo.



2.1. Actividades preliminares.

Para la elaboración de este proyecto fue necesario llevar a cabo ciertas actividades antes de poder efectuar la experimentación que resolvería los objetivos planteados para la solución del problema.

2.1.1. Validación de termopares.

Para determinar si los termopares se encontraban en condiciones adecuadas de operación, se realizó la verificación de que dichos termopares indicarán la temperatura real del proceso. Estos datos junto con su análisis se muestran en el apartado de resultados.

2.1.1.2 Preparación de la solución para determinación de *peroxidasa*.

Para la determinación de *peroxidasa* se utilizaron 3 diferentes reactivos:

- Buffer de Fosfatos.
- Peróxido de Hidrogeno.
- Guayacol.

De los reactivos anteriores, el Buffer de fosfatos se elaboró mezclando 27.8 g/L de fosfato monobásico y 35.65 g/L de fosfato di-básico. Para obtener un buffer de pH de 6.5, se realizó la mezcla de las anteriores soluciones de la siguiente manera: 685ml de la solución de fosfato monobásico y 315 ml de la solución de fosfato di-básico más un litro de agua, al final se obtienen 2 litros de solución buffer de fosfatos lista para su uso en la determinación de la enzima.

2.1.1.3 Determinación de los parámetros iniciales (Textura, Color y Actividad enzimática).

Se determinó la textura, el color y la actividad enzimática de la manzana antes de realizar el escaldado (primer paso de la experimentación) con el fin de establecer los parámetros iniciales de la materia prima.

2.2 Diagrama general de trabajo.

2.2.1. Problema.

Efecto del proceso de escaldado en el secado de manzana variedad "*Golden Delicious*".

2.2.2 Objetivo general.

Evaluar el efecto de las condiciones de dos diferentes tipos de escaldado en el color y la textura de la manzana "*Golden Delicious*" así como en la velocidad de secado para evitar el pardeamiento enzimático y obtener un dulce de manzana.

2.2.3. Objetivo Particulares.

2.2.3.1. Objetivo Particular 1.

Determinar el tiempo de escaldado necesario para disminuir la actividad de la enzima *peroxidasa* utilizando el método de reducción decimal así como su cuantificación por espectrofotómetro, para reducir el pardeamiento enzimático generado durante el secado de las manzanas.

Objetivo Particular 2.

Determinar la cinética de degradación de la textura y del color de la manzana en los procesos de escaldado y secado, utilizando un texturómetro y a través del análisis de imágenes, que permitan evaluar el efecto del tipo de escaldado en el secado de la manzana.

Objetivo Particular 3.

Establecer las condiciones de secado que permitan eliminar la cantidad de agua necesaria para obtener un dulce de manzana.

2.3. Materiales y métodos.

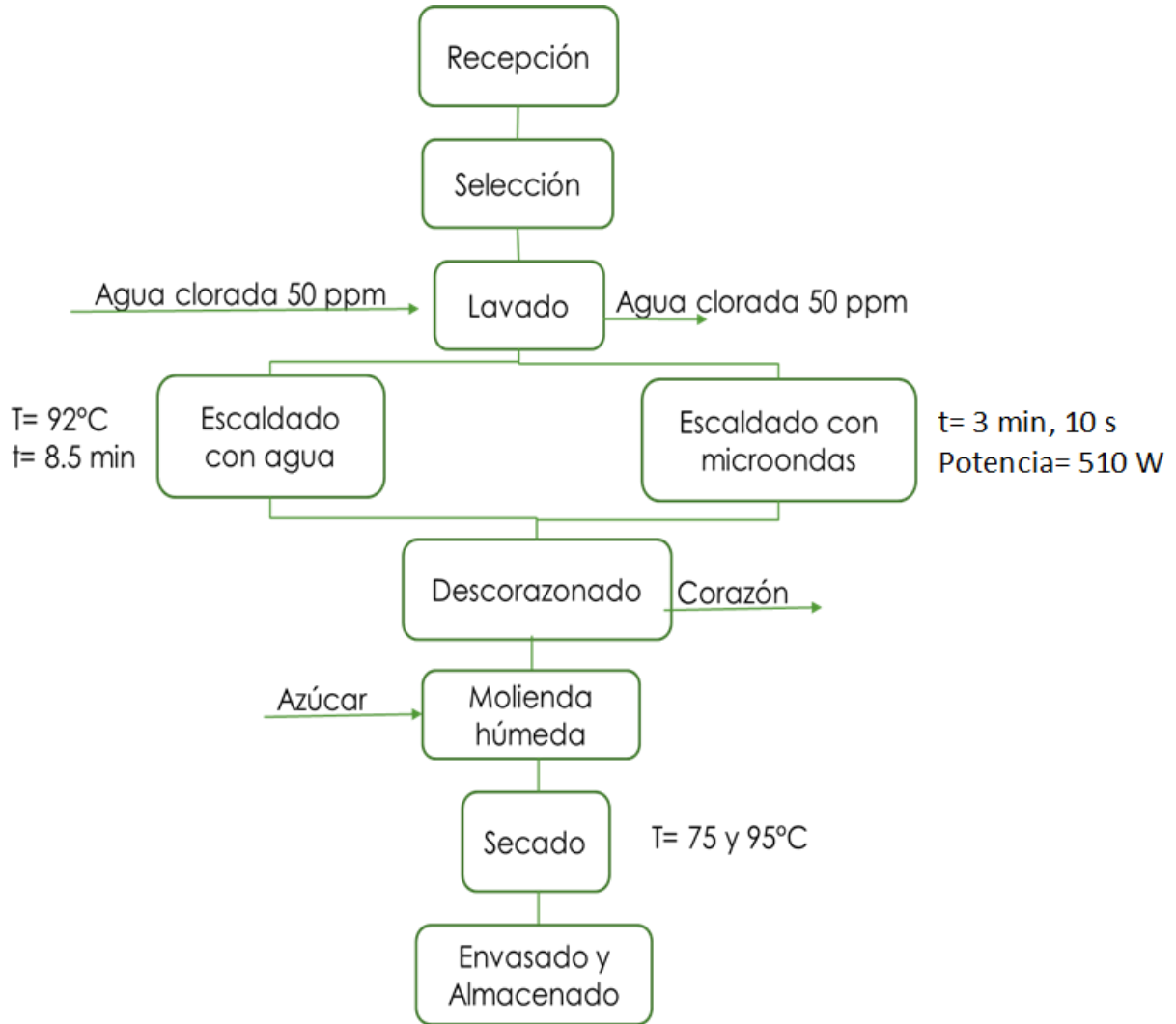
2.3.1. Materia Prima.

En este proyecto se utilizaron manzanas variedad "*Golden Delicious*", procedentes del estado de Chihuahua, adquiridas en el mercado de la Merced de la Ciudad de México. A partir de este punto de distribución, fueron trasladadas para su transformación y su estudio al laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, ubicada en la FES Cuautitlán (campo 4) de la UNAM.

2.3.2. Tratamiento de las muestras.

Las manzanas se clasificaron tomando en cuenta el peso, el diámetro ecuatorial y que se encontraran libres de daños. Posteriormente se realizó el lavado manual con agua y jabón seguido de una desinfección para su inmediato escaldado.

2.3.3. Diagrama de Proceso.



Las manzanas se sometieron al proceso de escaldado, en el primer método por inmersión a temperatura de ebullición en Cuautitlan Izcalli, Estado de México (92.8°C) y en el segundo método por medio del horno de microondas.

Inmediatamente después del escaldado con cualquiera de ambos métodos, la manzana se sometió durante un minuto a un choque térmico en un recipiente con agua helada (4°C), lo anterior con el fin de cumplir completamente el proceso de escaldado.

Posteriormente, se realizó el descorazonado para proseguir con la molienda húmeda en un procesador de alimentos, la cual fue realizada de manera constante durante un minuto.

A la muestra ya molida se le dio forma de una placa infinita con el fin de que la transferencia de calor y de materia se diera en una sola dirección. Posteriormente se sometió dicha muestra al proceso de secado en un secador convectivo a una velocidad del aire constante de 1.2 m/s y a dos diferentes temperaturas, 75 y 95°C.

2.3.4. Determinación de las propiedades físicas de la muestra.

Se realizaron las pruebas de textura, color y volumen a las muestras antes y después de ser escaldadas así como antes y después de ser sometidas al proceso de secado.

La textura, el color, el volumen y la actividad enzimática (peroxidasa) fueron evaluados en las muestras de manzana sometidas a los diferentes tipos de escaldado así como las diferentes condiciones de secado.

2.3.5. Técnicas analíticas.

2.3.5.1 Color.

Los cambios de color generados por calor durante el secado en la muestra fueron determinados a través del análisis de imágenes, mediante la toma de fotografías de la muestra y utilizando el programa Fiji", en Java, se pudieron obtener los diferentes valores $L^*a^*b^*$ generados por los diferentes factores que intervinieron en esta investigación (Entendiendo el espacio de color CIE L^*a^*b , 2016).

2.3.5.2. Textura.

La dureza de la muestra se determinó utilizando un texturómetro modelo TA.XT plus con la geometría "Warner Bratzler". Las lecturas se expresaron en kgf/cm^2 .

2.3.5.3. Actividad enzimática.

2.3.5.3.1 Extracción de la enzima.

Se tomaron 20 g de la muestra (cruda o procesada), la muestra se homogeneizó con 30 mL de buffer de fosfato a 5°C y se llevó a 13500 rpm durante 1 min.

Posteriormente se filtró al vacío para retirar toda materia extraña y la fibra procedente de la muestra. Después, se centrifugó el filtrado a 7000 rpm por 15 min, la muestra es el sobrenadante que resulta en la parte superior del tubo para centrifuga.

2.3.5.3.2 Determinación Actividad Enzimática Residual (REA).

Se tomó 0.1 mL de Guayacol y 0.1 ml de Peróxido de Hidrógeno y se mezcló con 99.8 mL de buffer de fosfato. Posteriormente se tomaron 0.12 mL de sustrato de la enzima junto con 3.48 mL de la solución realizada anteriormente. Esta última mezcla se inserta en la celda del espectrofotómetro para su lectura a 470 nm por 20 min en intervalos de 12 segundos. Lo anterior se realiza con 5 repeticiones para obtener una mejor determinación enzimática (Ji-Hyun *et. al.*, 2010).

Capítulo 3. Análisis de resultados.

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos de la experimentación realizada para desarrollar este proyecto. Se encuentran ordenados de acuerdo a los objetivos particulares previamente planteados empezando por las actividades preliminares.

3.1 Actividades preliminares

Como se mencionó previamente, los termopares fueron sumergidos completamente en agua en ebullición, se registró como lectura la temperatura de ebullición del agua en Cuautitlán Izcalli (92.8°C) como se muestra en la figura 3, lo anterior se realizó con tres repeticiones, por lo cual se considera que los termopares marcan la temperatura correcta.

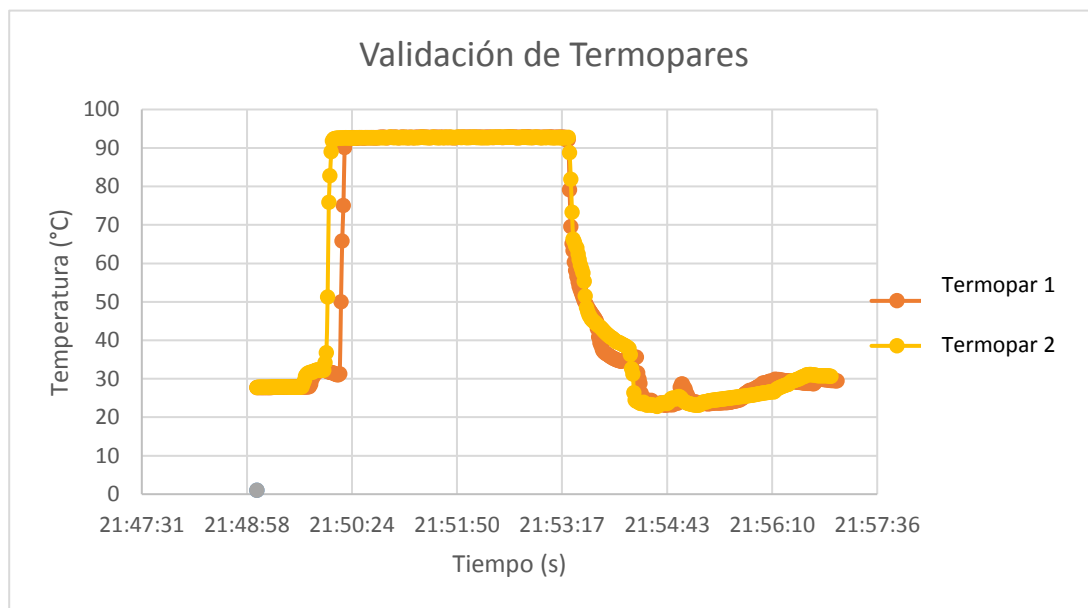


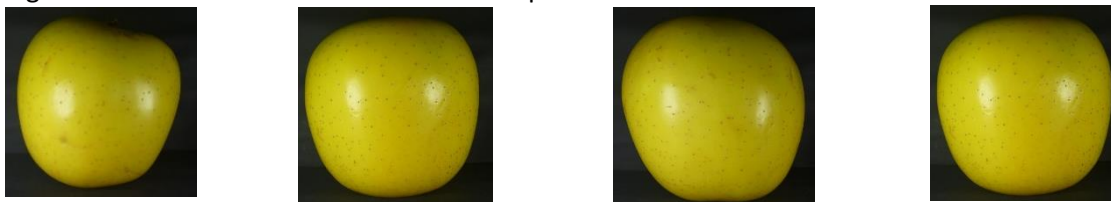
Figura 3.- Validación de Termopares en agua en ebullición.

3.2 Objetivo Particular 1

3.2.1 Estandarización de selección con respecto a madurez de la manzana.

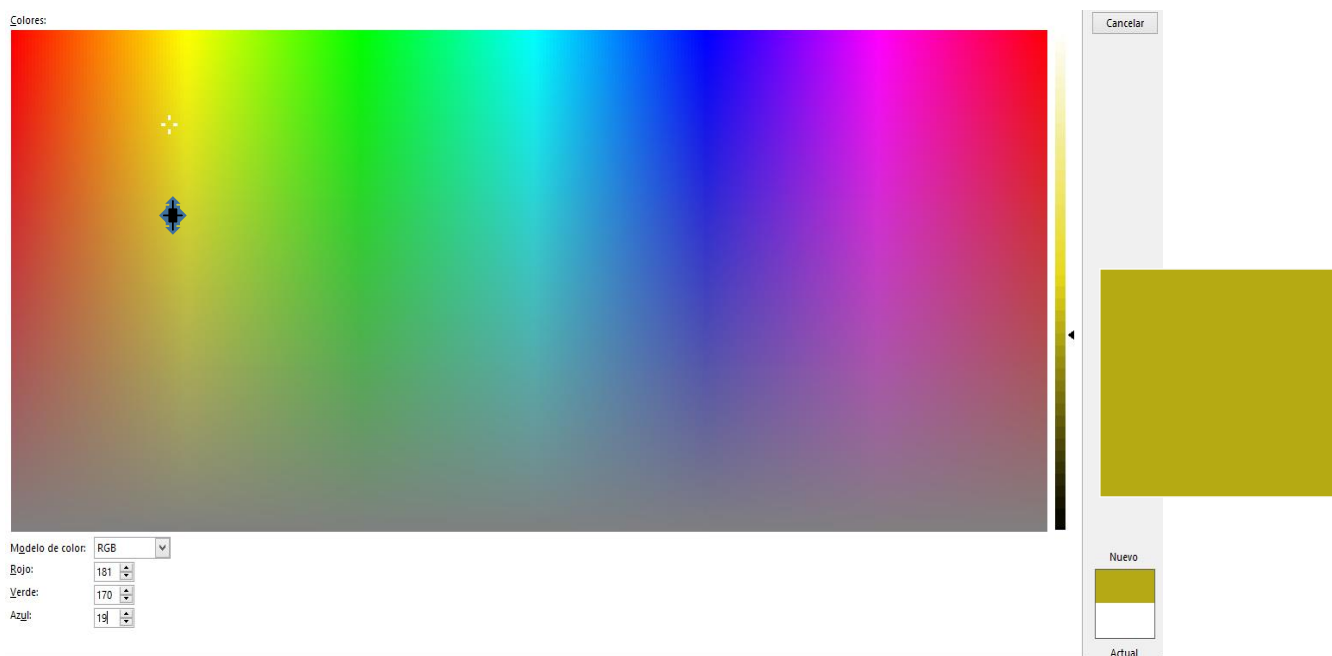
Se realizó el análisis de color a la manzana fresca con el fin de obtener parámetros para estandarizar la madurez al seleccionar la materia prima y así evitar que ésta se convierta en un factor para la experimentación. De esta manera podemos partir de una concentración inicial constante *peroxidasa* pues las manzanas que se utilizaron durante la experimentación estarán en la misma madurez.

Figura 4.- Selección de madurez a través de parámetros de color.



Promedio General	
R	180.864
G	170.436
B	19.075

Promedio General	
L	68.4752
a	-10.7601
b	68.282



Se seleccionaron 15 unidades de manzana para poder realizar esta determinación, el muestreo se realizó con 5 repeticiones. Al realizar el análisis de imagen se obtuvieron los valores correspondientes de RGB y se hizo la conversión para obtener en valores "Lab", los cuales se procedieron a seleccionar el color que corresponde a esos parámetros. Con este estándar de color se prosiguió a la obtención de manzanas estandarizando la madurez de las mismas.

4.1.2. Cálculo de Reducción Decimal:

Debido a que no se encontró valores de "z" y "D" para la *peroxidasa* en manzana, se decidió tomar como referencia los valores de *peroxidasa* en dos diferentes alimentos (puré de pera y rábano) los cuales son similares a la manzana en composición química. En el Cuadro 4 se muestran los datos obtenidos a través del cálculo de reducción decimal para *peroxidasa* en los alimentos previamente mencionados así como para la destrucción térmica del ácido fólico y de la degradación de la textura por tratamiento térmico.

Cuadro 4.- Valores obtenidos del cálculo de Reducción Decimal.

COMPONENTE	T ref	Z (°C)	D (s)	D @ 100°C	Ciclos reducidos	% inicial	% final
PEROXIDASA pure de pera	110	33,16	523	1825,25845	0,2794	100	52,5517
PEROXIDASA Rabano	85	22,8	8560	4221,39723	0,071	100	84,9050
ÁCIDO FÓLICO manzana	140	31	100000	3534981,11	8,49E-05	100	99,9804
TEXTURA Golden D.	100	32	560	995,83647	0,3012	100	49,9741

Al analizar el cuadro anterior se puede denotar que los valores evaluados de textura y de ácido fólico en manzana a 100°C y a 140°C respectivamente, se reducen en un 49.9% y en un 99.9%. Indicando de esta manera que un proceso térmico a alta temperatura afecta significativamente los nutrimentos de un fruto. En el cálculo de reducción decimal se obtuvo que en un tiempo de escaldado de 3 min y 30 segundos, la *peroxidasa* en puré de pera se elimina en un 52.55%, este valor se toma como parámetro inicial para comenzar a determinar la Actividad Enzimática Residual (REA), por lo tanto se considera que para la manzana se requerirá un tiempo similar para alcanzar este porcentaje de reducción.

4.1.3. Historias Térmicas

Todo proceso térmico requiere de Historias Térmicas, estas proporcionarán la información necesaria para saber en cuanto tiempo se alcanza la temperatura deseada. A continuación se muestran las historias térmicas de esta experimentación.

En la Figura 5, se determinó que para alcanzar la temperatura de 40°C en el centro térmico de la manzana, se requieren cerca de 500 s (Cerca de 8 min).

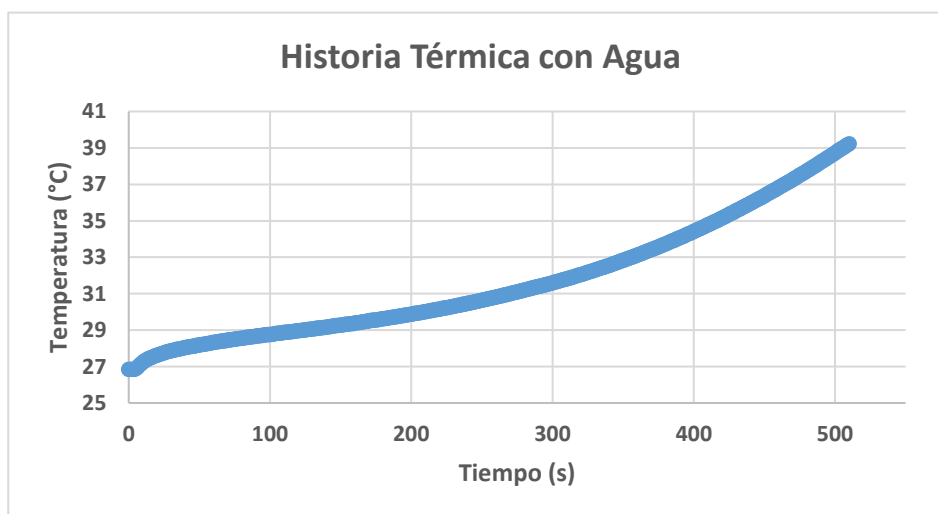


Figura 5.- Historia térmica de escaldado con agua. (Convencional)

En la Figura 6 se muestran los datos de la historia térmica en microondas, la cual da a denotar que se requiere de un tiempo mucho menor para lograr llegar a los 40°C en el centro térmico de la manzana (En este caso, por la forma de transferencia de calor en microondas, el centro térmico de la manzana es la superficie)

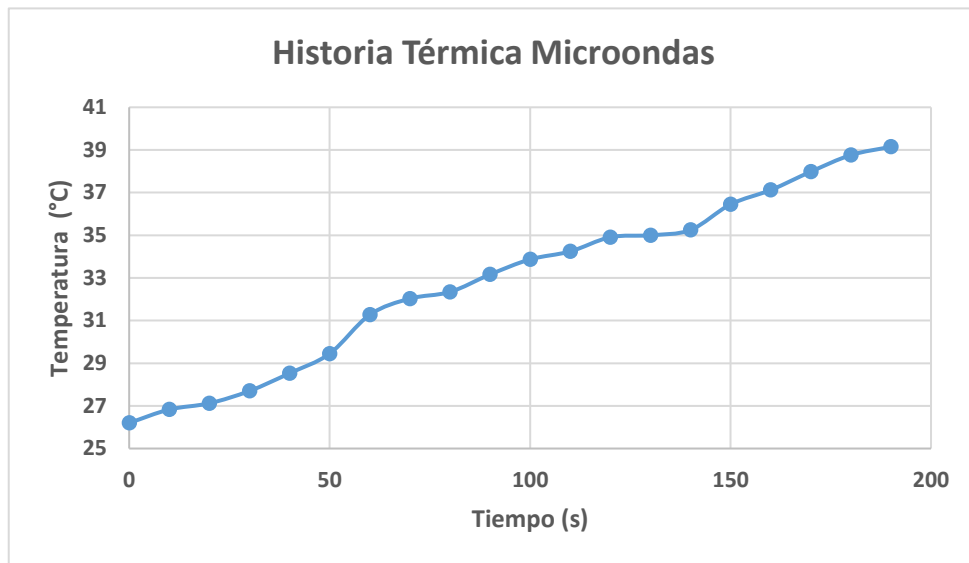


Figura 6.- Historia térmica de escaldado con microondas.

En las historias térmicas obtenidas se puede notar que ambas tienen un comportamiento diferente, lo anterior se debe a diferentes factores que influyen directamente por el tipo de transferencia de calor que se genera, algunos de ellos son el cambio en la estructura de la manzana que va modificándose con respecto a avanzar el escaldado así como la pared que se encuentra en contacto directo con el fluido de calentamiento o medio circundante (Agua en el escaldado convencional). La historia térmica que fue realizada con agua en punto de ebullición (Figura 5) presenta un comportamiento ligeramente exponencial, debido a que la transferencia de calor no es homogénea ya que se transfiere por conducción, la ley de Fourier indica que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual se transfiere calor, en este caso, el área de transferencia es la misma pues es considerada una esfera, sin embargo, cuando el gradiente de temperatura va disminuyendo, el flujo de calor lo hace de la misma manera. Posteriormente, comparándola con la historia térmica realizada en microondas, éste requiere menos tiempo para alcanzar la temperatura óptima de escaldado en el punto frío de la manzana, ya que existe una transferencia de calor más uniforme debido a que la radiofrecuencia genera mayor uniformidad de movimiento cinético de las moléculas del agua presentes en toda la manzana.

4.1.4. Actividad Residual Enzimática (ARE)

En el Cuadro 5 se muestran los datos obtenidos de la extracción y evaluación de la Actividad Enzimática Residual (ARE) a diferentes temperaturas del proceso completo de transformación de la manzana.

Cuadro 5.- Resultados de ARE en diferentes etapas del proceso.

Temperatura (°C)	Muestra	Actividad Residual Enzimática (ARE)
26.86	Muestra Cruda	100
29.97	Escaldado #2	31.915
35.07	Escaldado #3	23.660
40.75	Escaldado #4	16.426
75	Muestra Seca	0.426

En la Figura 7, se observa que la Actividad Residual Enzimática (ARE) va disminuyendo conforme se aumenta la temperatura, sin embargo, la ARE disminuye casi totalmente durante el secado de la lámina de manzana (75°C), lo cual permite que el proceso de escaldado no requiera ser tan brusco pues durante el secado (al ser un proceso térmico) continua reduciendo la ARE hasta casi su totalidad.

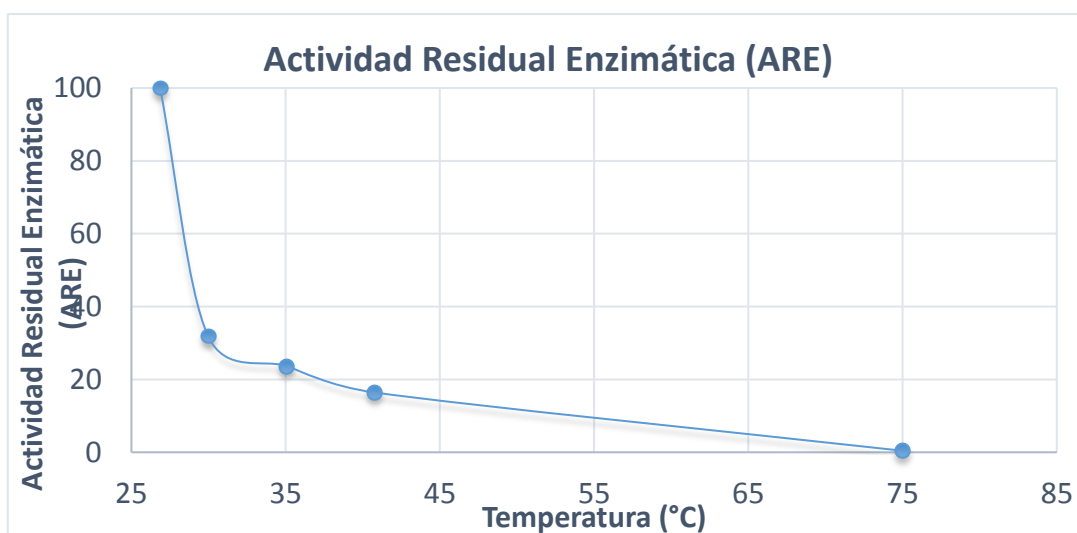


Figura 7.- Representación de la ARE en diferentes etapas del proceso

4.2 Objetivo Particular 2

En la Figura 8 se esquematiza el perfil de textura que presentó la manzana:

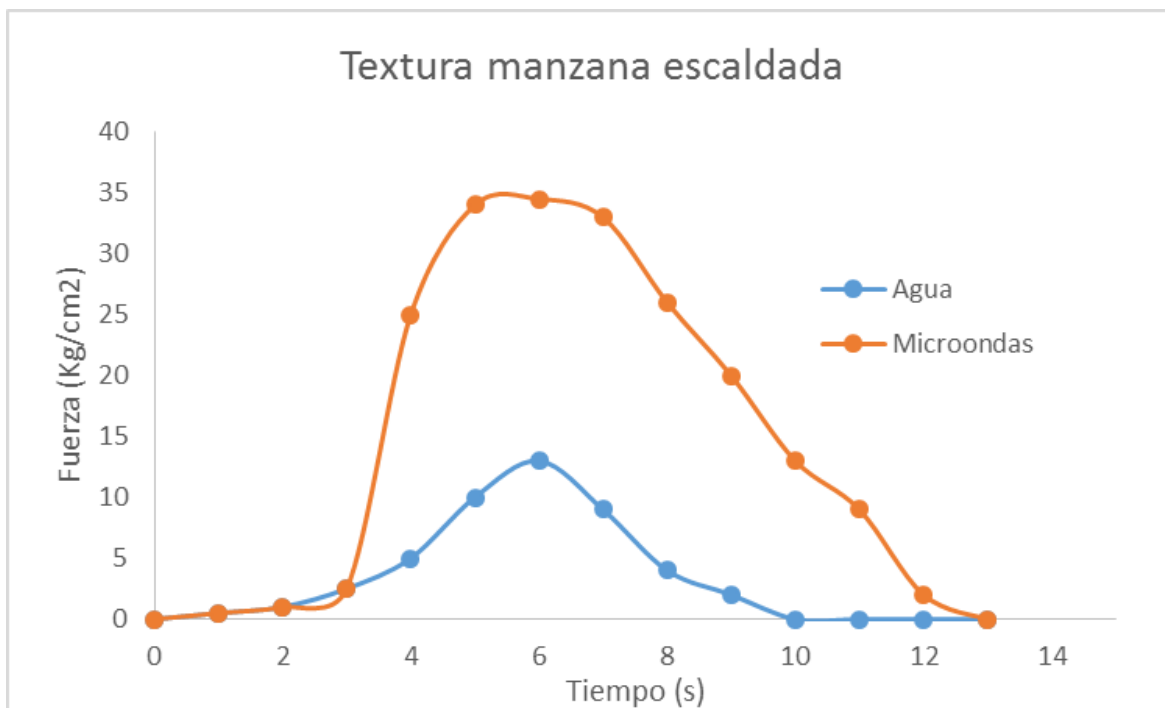


Figura 8.- Determinación de Textura en manzana para ambos tipos de escaldado

Al analizar el perfil de textura de la manzana con los dos diferentes tipos de escaldado (Figura 8), se observa que el escaldado con agua ocasiona que se requiera de menor fuerza para poder penetrar la manzana, esto implica una destrucción parcial de la estructura de la manzana provocada por el calor del escaldado. Contrariamente, el escaldado hecho con microondas genera una retención de la textura original de la manzana, de esta manera, el escaldado con microondas logra inactivar la enzima sin dañar estructuralmente a la manzana.

4.2.1. Cinética de Secado

En el proceso de deshidratación solo se estudió la parte descendiente de la velocidad de secado debido a que este solo sucede en esta etapa en la placa infinita de manzana, lo mismo fue reportado por González-Fesler *et. al.* En la Figura 9, se mantuvo constante el tiempo de secado (3 horas = 180 min), con el fin de determinar la humedad residual en tiempo constante.

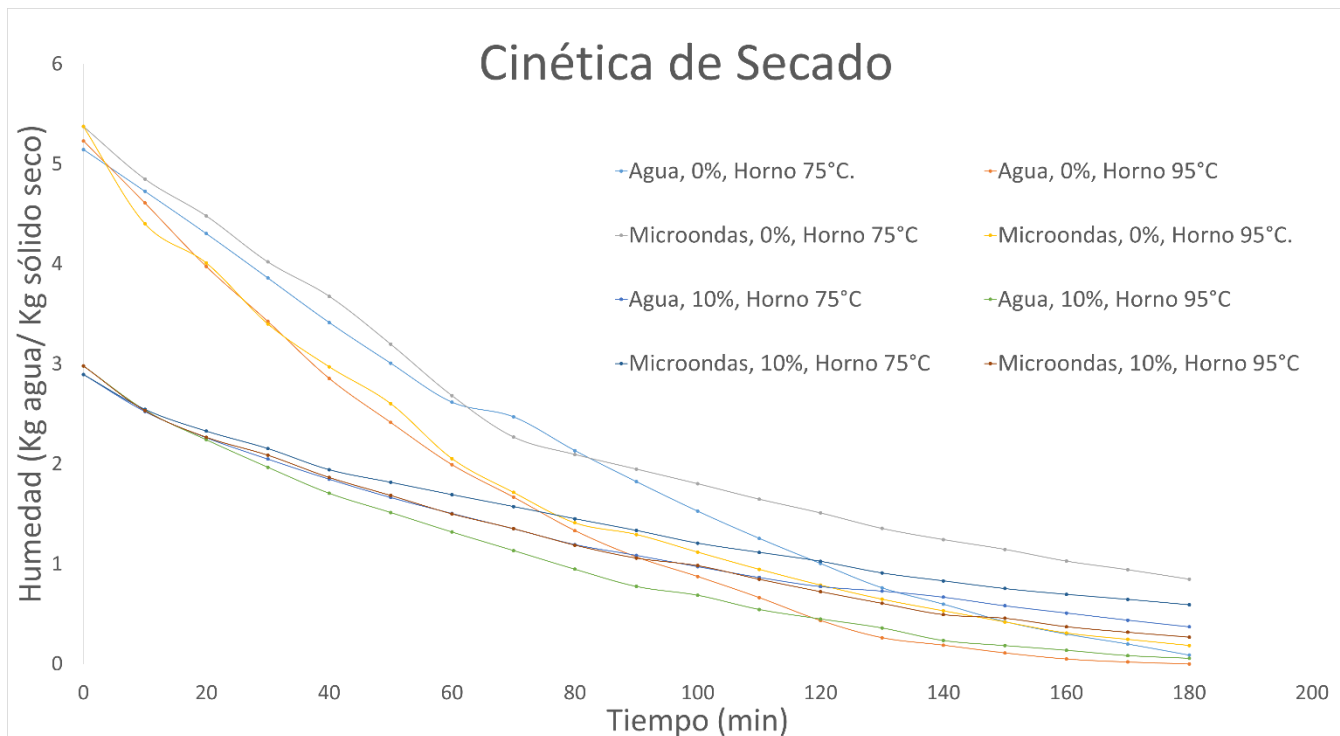


Figura 9.- Cinética de secado de la manzana escaldada bajo diferentes condiciones.

En la figura 9, se tienen dos grupos de gráficas, las que se encuentran en la parte superior son aquellas que no tienen azúcar añadida (0%). Tienen diferente humedad inicial debido a que aquellas que si tienen azúcar adicionada, aumentan la cantidad de sólidos y de esta manera se reduce la humedad porcentual.

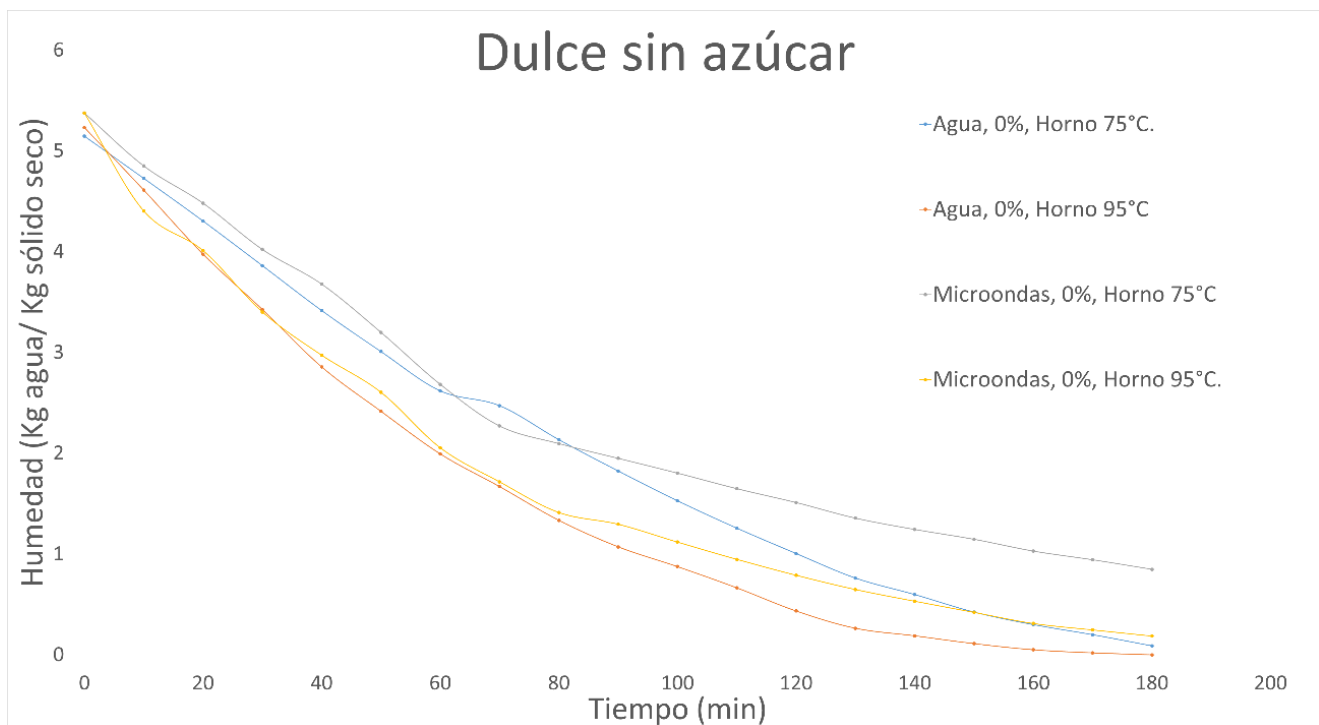


Figura 10.- Cinética de secado del dulce sin sacarosa añadida.

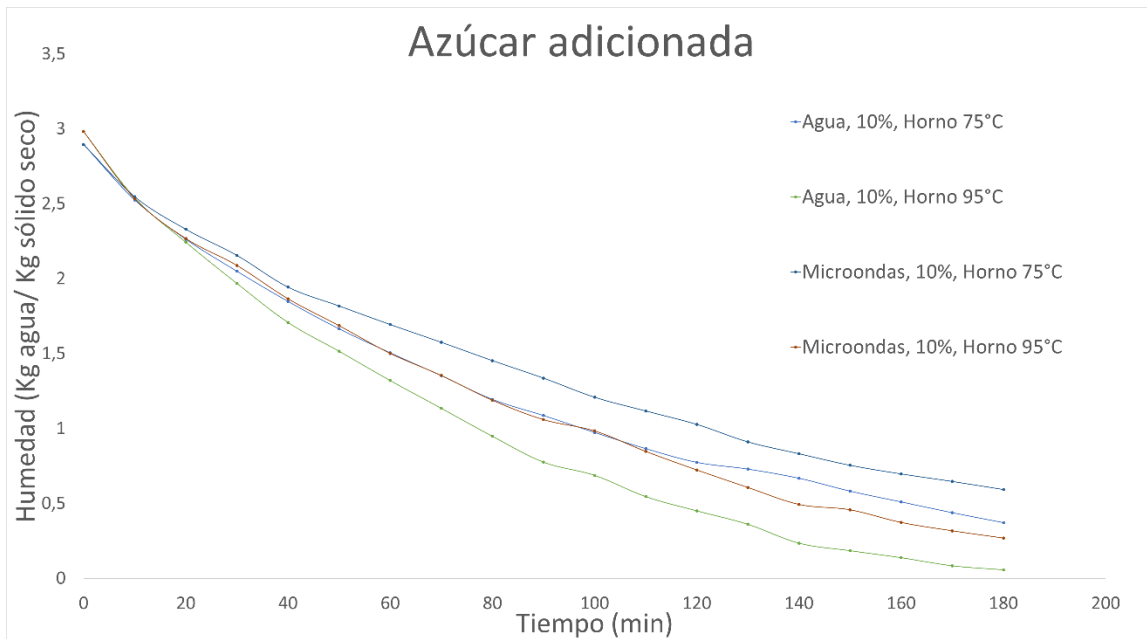


Figura 11.- Cinética de secado del dulce con Sacarosa añadida.

Al observar las gráficas de cinética de secado (Figura 11), se observa el factor de adición de sacarosa, reduce el porcentaje de agua inicial, Esto afecta la velocidad de secado haciéndola mas rápida para aquellas que tienen el azúcar añadida. Así mismo, se observa que la temperatura de secado influye de manera inversa en la humedad final, es decir, al incrementar la temperatura de secado, la humedad residual fue menor. Este comportamiento es el esperado debido a que a mayor temperatura, el agua evaporará mas rápido.

4.2.2. Colorimetría.

Al realizar la prueba de colorimetría, se observó que no hay una relación directa entre los parámetros de color individuales con la humedad de las muestras, sin embargo, se determinó que si existe una relación al dividir la luminosidad "L" entre la coordenada rojo/verde "a" en función de la humedad. En la Figura 12 se muestran los resultados obtenidos.

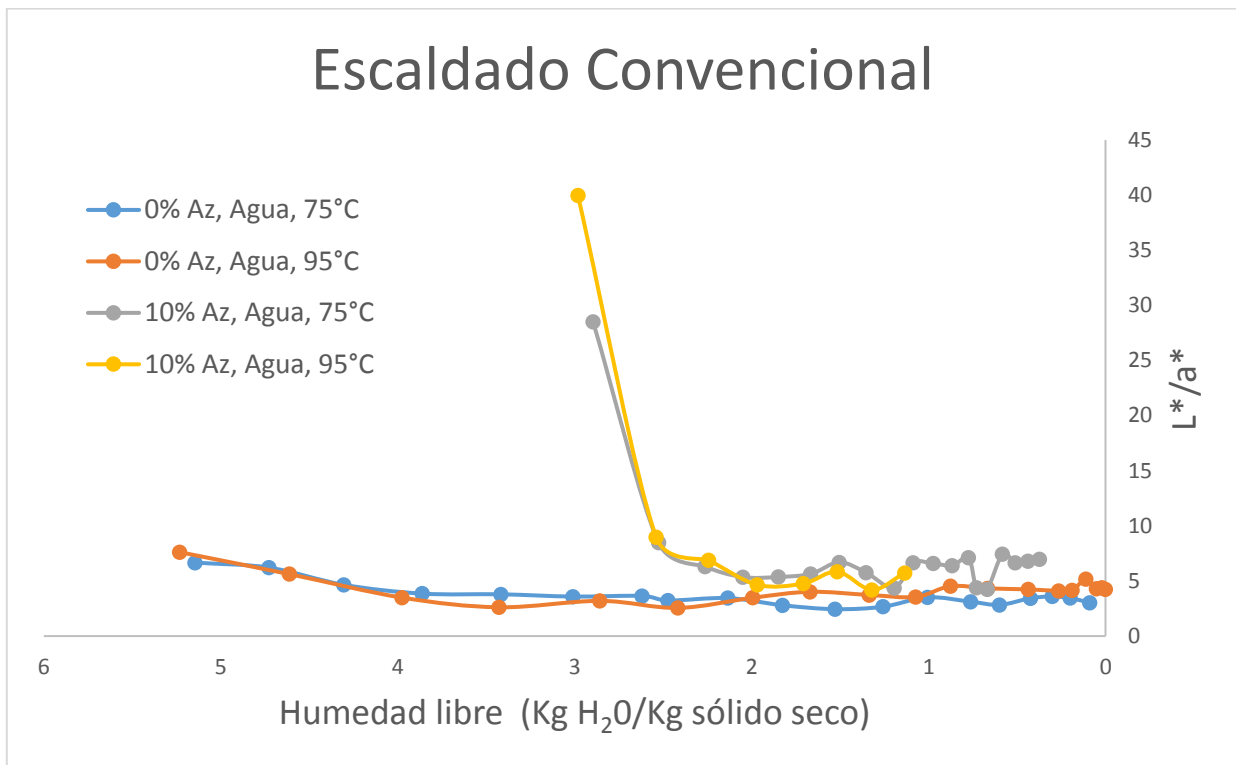


Figura 12.- Comportamiento colorimétrico en escaldado convencional de manzana

En el análisis colorimétrico, se resaltaron dos diferentes variables en las gráficas, el tipo de escaldado y la adición o no de la sacarosa. Así mismo, se puede notar que al mantener constante el factor de azúcar añadida, las muestras que fueron escaldadas con agua arrojaron valores iniciales más elevados que los demás. Así mismo, cuando se mantiene el tipo de escaldado constante, la variable de adición de sacarosa eleva los valores iniciales de L/a.

5. Análisis de resultados

Se realizó un diseño factorial (3^2), es decir 3 factores y dos niveles de significancia por cada factor, para averiguar que variables interaccionan de manera significativa en el resultado.

En el análisis estadístico se incluyen los factores que variaron durante el proceso así como las variables de respuesta, para éstas últimas se obtuvieron las gráficas de efectos principales y las de interacción.

En la Figura 13 (gráfica de efectos principales para Humedad final) se observa que el tipo de escaldado y la temperatura de secado afectan de manera significativa a la humedad final. La adición de azúcar no afecta a la humedad final de la muestra a pesar de que esta adición provoca un incremento en el porcentaje de los sólidos y por lo tanto reduce la cantidad porcentual de agua en la muestra. Sin embargo, el tipo de escaldado si influye en la humedad final, ya que si se escalda en microondas, la muestra resultará con mayor cantidad

de humedad residual debido a que no se genera una ruptura celular generado por la alta temperatura sometida durante el escaldado convencional. Al no haber dicha ruptura, el agua interna de la manzana se conserva dentro del fruto.

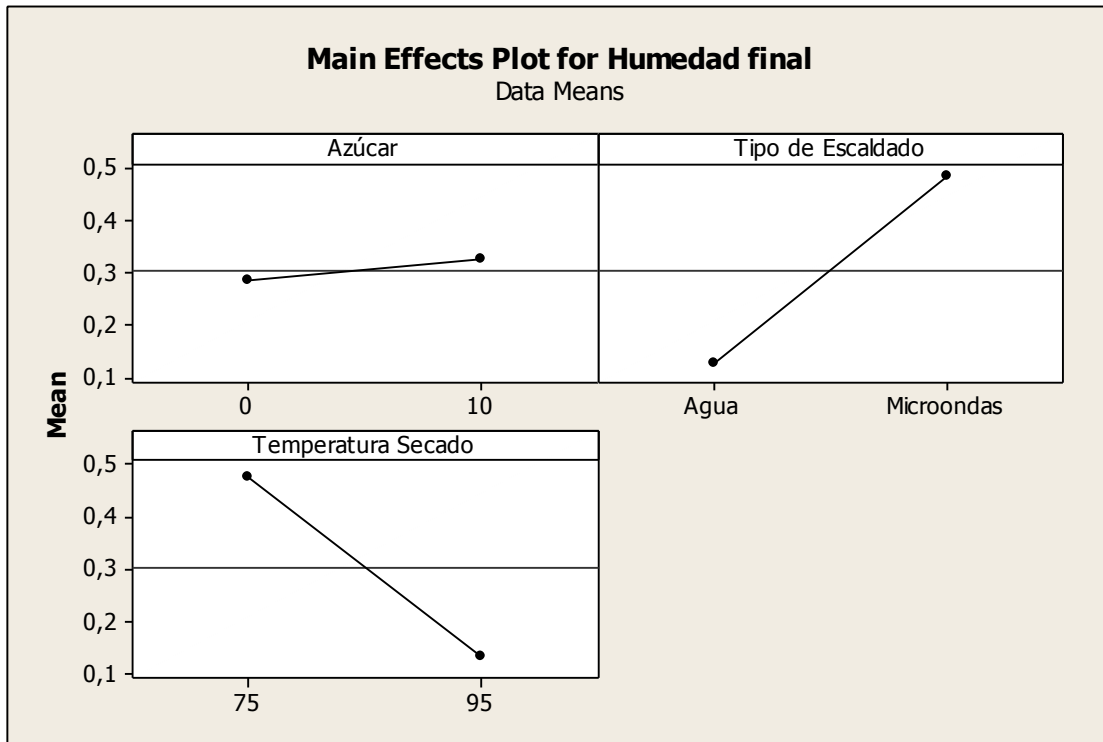


Figura 13.- Efectos principales para Humedad Final

En la Figura 14 (Efectos principales para la diferencia total de color “Delta E”), se puede observar que la temperatura de secado no afecta de manera significativa la evaluación de “Delta E”, el cuál es un indicador de cambio de color desde un inicio de proceso hasta el final. El tipo de escaldado si influye de manera significativa para los resultados de la diferencia total de color “Delta E”, para este caso, escaldar en microondas aporta un valor menor de Delta E para la muestra con respecto a la media. Así mismo, la adición de azúcar si influye en los resultados pero no de una manera tan grande como el tipo de escaldado, para el caso de la adición de azúcar, resultó mayor el resultado de “Delta E” debido que al contener una mayor cantidad de sacarosa, esta caramelizó con la alta temperatura del horno cambiando ligeramente el color de la muestra.

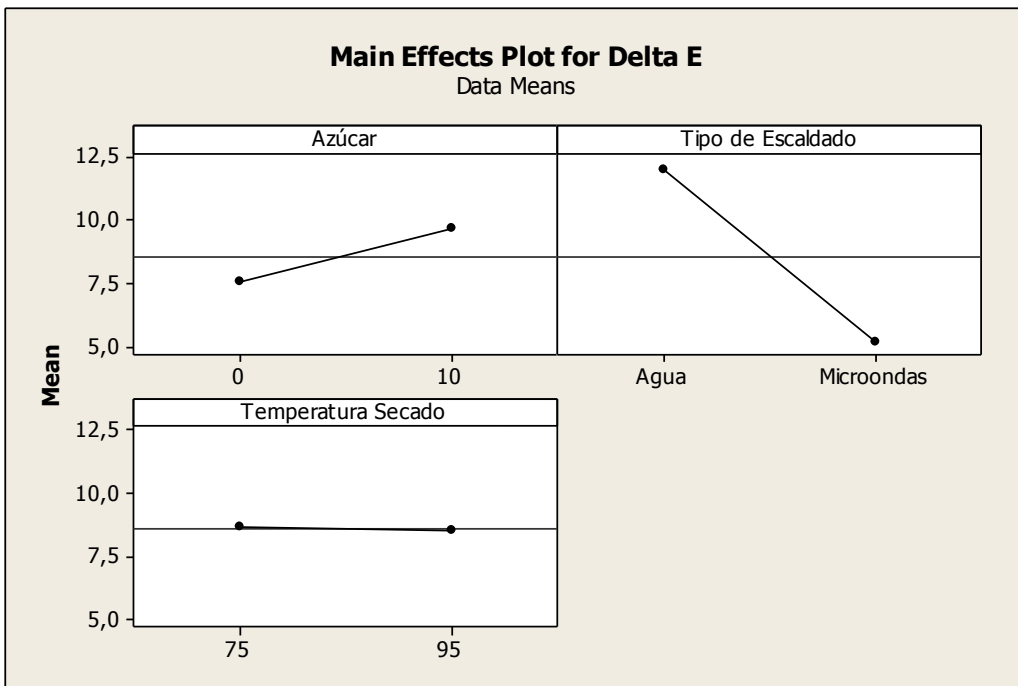
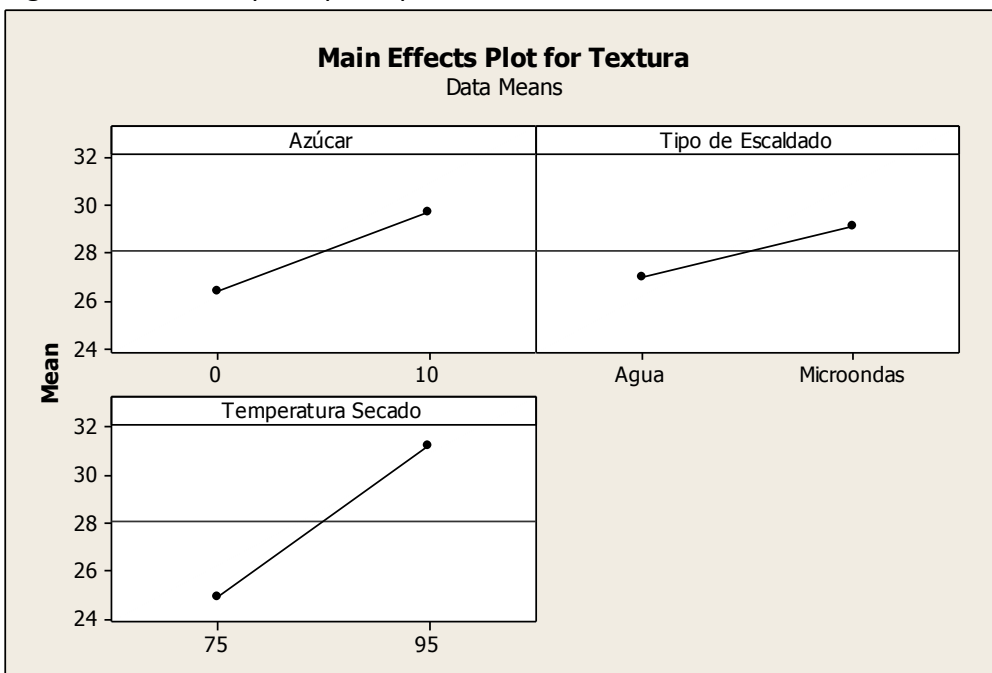


Figura 14.- Efectos principales para la diferencia total de color (Delta E).

Para el caso de textura, como se muestra en la Figura 15, las tres variables afectan al resultado final de textura, sin embargo, se puede observar que la temperatura de secado es la que afecta en mayor proporción ya que resultó con valores más alejados de la media, debido a lo anterior, se puede decir que a una mayor temperatura de secado en el horno, se requerirá de mayor fuerza para poder realizar un corte con la navaja “Warner Bratzler”.

Figura 15.- Efectos principales para Textura



A continuación en las Figuras 16, 17 y 18, se presentan las gráficas de interacciones, las cuales denotan si es que la interacción o combinación de dos variables influyen en el resultado de cada variable de respuesta.

Para la humedad final de la muestra (Figura 16) se observa que el tipo de escaldado dará mayor valor de esta variable cuando se usa microondas en vez de agua, sin embargo, al adicionarle sacarosa, resultará con menor humedad residual, ocurre lo contrario cuando se escalda con agua.

Lo anterior se debe a que al escaldar convencionalmente, la manzana tiene una temperatura superficial mucho mayor a una con escaldado en microondas, esta diferencia de temperatura permite a la humedad que contenga la manzana evaporarse más rápidamente en el proceso de deshidratación.

Así mismo, la temperatura de secado interacciona muy ligeramente con la adición de la sacarosa, ya que, como se observa en la gráfica 15, la temperatura de secado es proporcional a la humedad final, sin embargo, al adicionarle sacarosa, la humedad final resulta ligeramente mayor a una mayor temperatura de secado.

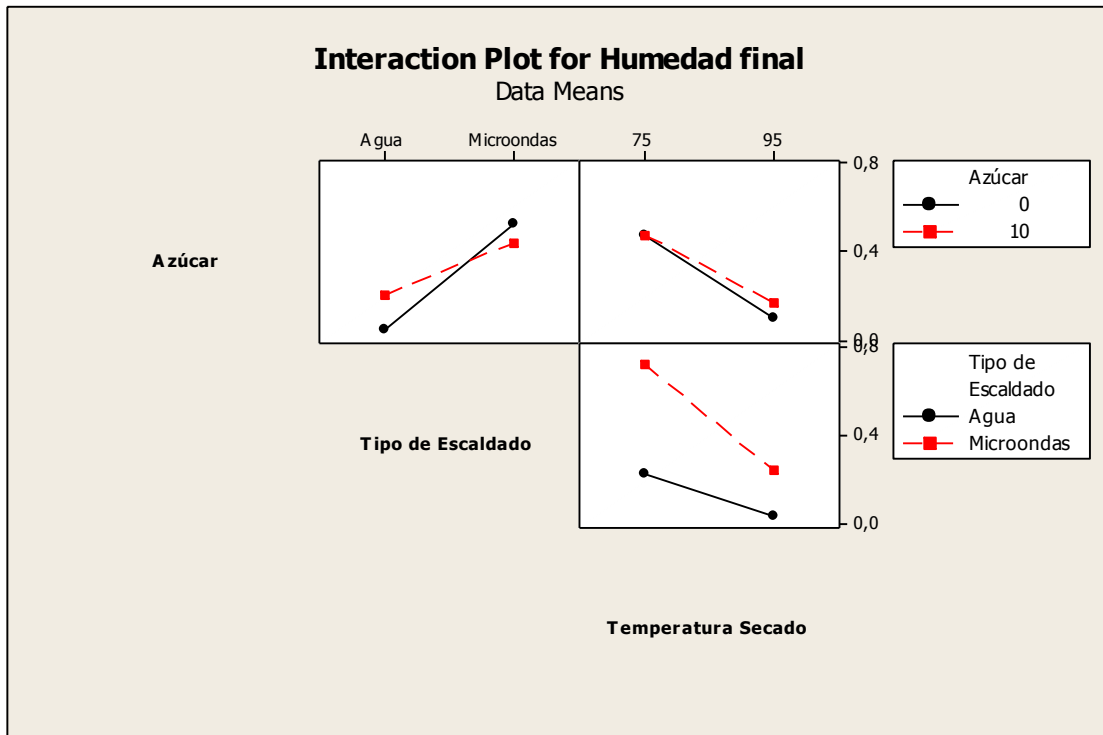


Figura 16.- Interacción de factores (Humedad final)

En la Figura 17 se muestran los resultados de la gráfica de interacciones para la variable “Delta E”. La interacción del tipo de escaldado y la adición de azúcar influye de manera importante en el resultado de esta variable de respuesta. Al escaldar con agua y adicionarle azúcar a la muestra, los valores de “Delta E” resultan mayores con respecto a la media, caso contrario sucede con la combinación de escaldado en microondas y sin adicionarle azúcar, Castrejonya que, según los resultados obtenidos, al adicionarle la sacarosa, los valores de “Delta E” resultan mayores que sin la adición de la misma. Así mismo, cuando se utiliza 95°C en la temperatura de secado y se le adiciona azúcar, los valores de “Delta E” resultarán mayores que si no se le adiciona. Además, se observa que la temperatura de secado en conjunto con el tipo de escaldado no afectan a los valores de “Delta E”.

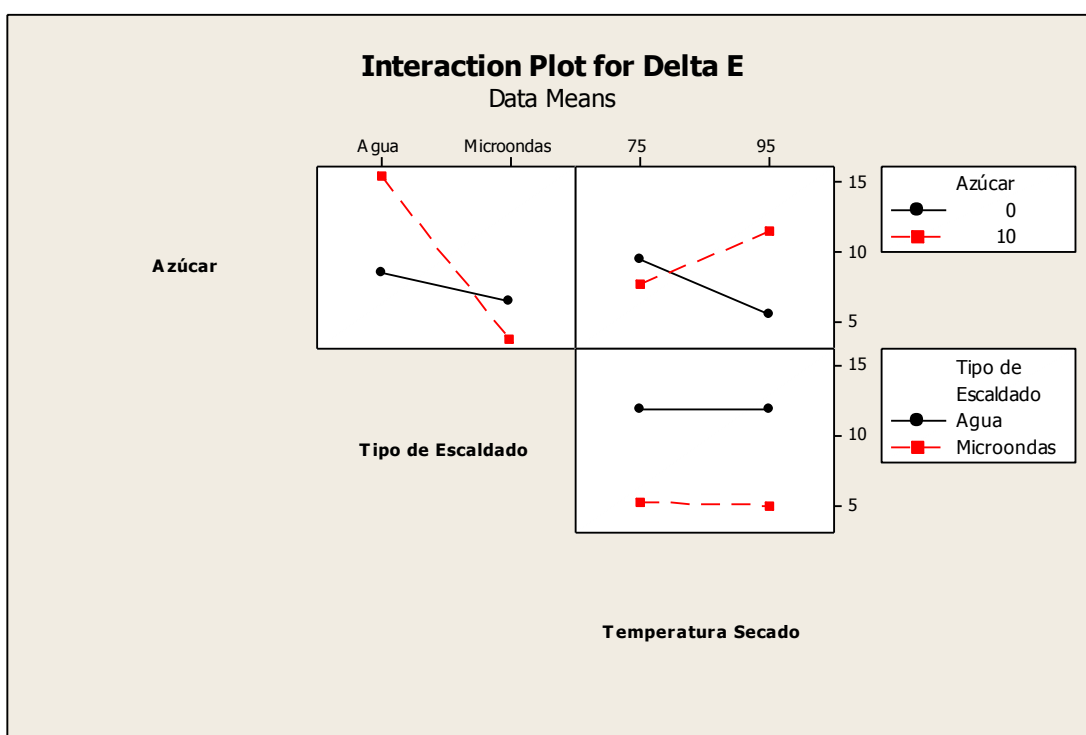


Figura 17.- Interacción de factores (Delta E)

En la Figura 18 se muestran los resultados obtenidos para la textura, de la cual se determina que ninguna interacción de variables influye en los valores de la textura. Esto se debe a que durante el proceso de deshidrata.

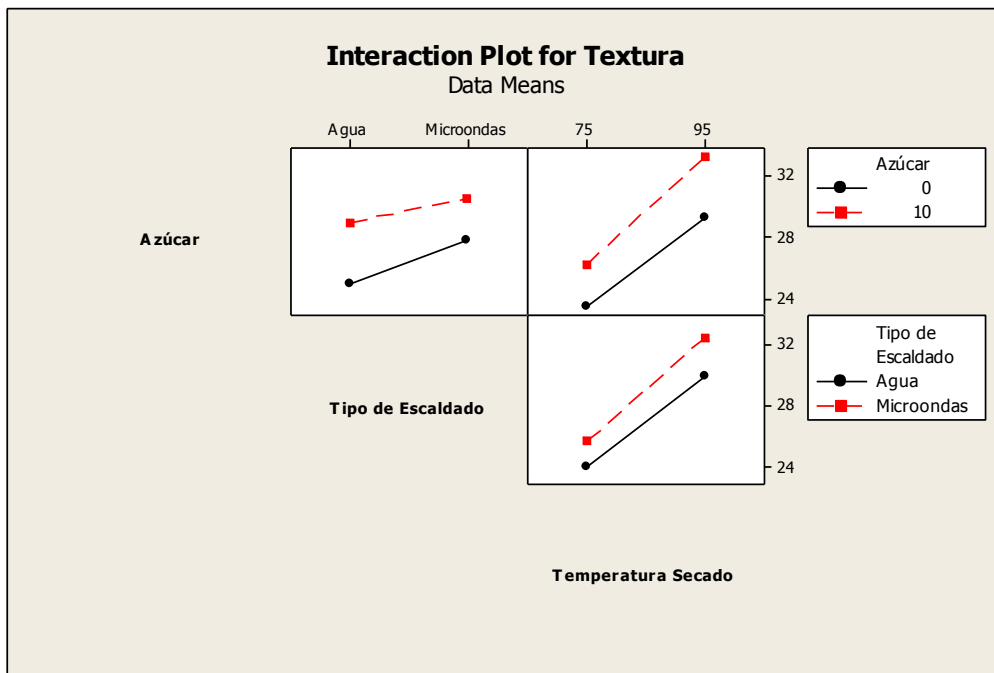


Figura 18.- Interacción de factores (Textura)

9. Conclusiones y Recomendaciones.

Después de haber realizado la experimentación y haber analizado los resultados, se concluye que el tipo de escaldado es fundamental en la mayoría de las variables de respuesta. A pesar de que ambos son efectivos para la inactivación enzimática, la influencia del tipo de escaldado resulta mucho mayor que las demás variables. Así mismo, la adición de azúcar influye de manera significativa principalmente en los valores de "Delta E".

Con respecto a la textura, ésta no se ve influenciada por ninguna de las variables de proceso, lo anterior puede atribuirse a que las muestras resultaban con diferente grado de rugosidad en la superficie, lo que provocaba que la lectura con la navaja "Warner Bratzler", no fuera lo suficientemente homogénea.

Se puede considerar al escaldado en microondas como mejor opción para este proceso debido a que va a generar un menor cambio de color después del proceso de deshidratación (Delta E) influyendo muy ligeramente si se decide adicionarle sacarosa o no. Además, un escaldado en microondas genera que el producto contenga la mayor parte de sus compuestos nutritivos debido a que no se genera una pérdida de nutrientes por el proceso de lixiviación al momento de escaldar con agua.

El cálculo realizado previo a la experimentación, en donde se estima la cantidad residual porcentual enzimática después de un tratamiento térmico de 3.5 min, concuerda parcialmente con los resultados obtenidos durante la experimentación, ya que de acuerdo al cálculo de reducción decimal evaluada en puré de pera, la ARE sería de 52.55, mientras que los resultados obtenidos en

esta experimentación fueron valores de ARE de 31.915; debido a lo anterior se concluye que aunque la composición química de ambos frutos no es muy diferente, la penetración de calor no es la misma en una esfera sólida que en un puré.

Como recomendación se propone que al momento de colocar las muestras al horno, éstas sean colocadas en papel encerado (Como en esta experimentación), pero previamente rociadas con talco o con azúcar glass, lo anterior debido a que durante esta experimentación, las muestras fueron colocadas en papel encerado pero aun así la muestra ya deshidratada se adhería al papel. Así mismo, si este proyecto se propone como una metodología de implementación de negocio, se tendría que realizar el análisis de mercado y el análisis sensorial, ya que, en nuestro caso, el factor de adición de azúcar fue debido a que la manzana no poseía el dulzor típico de un dulce natural.

Referencias bibliográficas.

- 1.- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2006). "Resumen de salud pública, Cianuro", USA. Servicio de salud pública.
- 2.- Arthey, D. and Dennis, C. (1991) "Vegetable Processing", USA: VCH Publishers.
- 3.- Casp, A; Abril, J. (1999) "Procesos de conservación de alimentos". España: Mundi Prensa – Universidad Pública de Navarra.
- 4.- Castellan, G. (1998). "Fisicoquímica". 2ª ed., México: Pearson.
- 5.- Çengel, Yunus A., Boles Michael A., (2012). "Termodinámica", 7ª ed., México: Mc Graw Hill
- 6.- Corzo O., Bracho N., Rodríguez J., Pereira A., Vasquez A. (2011). "Determinación experimental del coeficiente de difusión del agua durante el secado de láminas de coroba". Revista saber No.1: 36-42, Venezuela: Universidad de Oriente.
- 7.- El cultivo de la manzana Consultado en Septiembre 2015, Disponible en: (http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm)
- 8.- Entendiendo el espacio de color CIE L*a*b* Consultado en Enero 2016, Disponible en: (<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>)
- 9.- Eroskiconsumer (2011). Manzana. Consultado en Enero 2016. Disponible en: <http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/manzanas/intro.php>.
- 10.- Fennema, O.R., (2000), "Química de los alimentos", 2ª ed., España: Acribia S.A.
- 11.- Fernández R., Parra R., Pérez S., Vera M., Zacatenco M., (2010). "Variedades de Manzana recomendadas para las serranías de Hidalgo y Querétaro". México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - SAGARPA.
- 12.- Financiera Nacional de Desarrollo (2014). "Panorama de la manzana" México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- 13.- Geankoplis, C. J. (1998). "Procesos de transporte y operaciones unitarias". 3ª ed., México: Mc Graw Hill.
- 14.- Gil, A. (2015). "Tratado de Nutrición. Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos". España: Médica Panamericana.

- 15.- González-Fésler M. , Salvatori D., Gómez P., Alzamora S. M. (2007). "Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation". *Journal of Food Engineering*, 087, 323-332.
- 16.- Hernández, F. (1993). "Conservas caseras de alimentos", España: Mundi Prensa.
- 17.- Holman, J.P. (1998). "Transferencia de calor". 8ª ed., España: Mc Graw Hill.
- 18.- Ji-Hyun J., Kwang-Deog M., (2010). "Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid". *Journal of Food Engineering*, 124, 444-449.
- 19.- McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P. (1991) "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química". 4ª ed., España: McGraw-Hill.
- 20.- Morlan D. A., (2013) "Manual de procesamiento de productos agrícolas". Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM. México.
- 21.- Orrego C.E., (2003)"Procesamiento de alimentos". Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales – Colombia
- 22.- Peralta R.A., Bello R. J., (1996) "Estudio de la deshidratación de carne de res en un secador de charolas para la obtención de un producto tipo machaca". Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. México.
- 23.- Potter N. N. (1978) "La ciencia de los alimentos" México: EDUTEX S.A.
- 24.- Rocha, E. (2015). "Plan Rector del sistema producto manzana)". México: SAGARPA.
- 25.- Rosenthal, A. J. (2001) "Textura de los alimentos. Medida y percepción". España: Acribia
- 26.- Salazar L. (2013). "Aplicación de atmósferas modificadas en manzana "*Red delicious*" y "*Golden delicious*" mínimamente procesada para el control del pardeamiento enzimático" Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - UNAM. México.
- 27.- Steffe, J.F. (1993) "Rheological methods in food process engineering". 2ª ed., USA: Freeman Press.
- 28.- Teoría del color. Consultado en Noviembre 2015; Disponible en: (<http://repositorial.cuaed.unam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/1901/1/teoria-del-color.pdf>)
- 29.- Treybal, Robert E. (1980). "Operaciones de transferencia de masa". 2ª ed., México: Editorial Continental S.A. de C.V.

- 30.- Valderrama, P. (2004) "Isolation and thermostability of peroxidase isoenzymes from apple cultivars *Gala* and *Fuji*". Elsevier – Food Chemistry 87, 601-606.
- 31.- Vázquez, T. et. al. (1997). "Manual de secado solar técnico de alimentos". Bolivia.
- 32.- Whitaker, J.R. (1994). "Principles of enzymology for the food sciences" ", 2ª ed., USA: Marcel Dekker.
- 33.- Zendejas J.A., (2005). "Análisis comparativo para el escaldado de Manzana (*Malus pumila*) por método tradicional y por tecnología de microwaves". Facultad de Química - UNAM. México.