

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Deshidratación

El secado de los alimentos es uno de los métodos mas antiguos utilizados por el hombre para su conservación y también se ha utilizado con el propósito de disminuir el peso y el volumen de los mismos, lo que resulta en ahorros en costos de envase y transporte, requerimientos mínimos de almacenamiento y además los costos de distribución se reducen (Desrosier. 1975). Por deshidratación de alimentos se entiende a la eliminación casi completa del agua que contienen estos, bajo ciertas condiciones como son temperatura, humedad y progresión del secado debidamente controlados por medio de la aplicación de corrientes de aire sobre el cuerpo o por otros métodos. El aire caliente es el método mas usado y económico para efectuar la deshidratación industrial de las hortalizas y otros productos (Anónimo, 1987).

En la deshidratación de los alimentos, los requerimientos de los niveles bajos de humedad, para la estabilización máxima del producto, no se obtienen con un número mínimo de cambios en los materiales alimenticios (Potter,1973). La calidad de los alimentos es a menudo limitada por su textura y capacidad de rehidratación; además, las reacciones ocurridas durante el secado resultan en perdida de nutrientes y otros cambios deteriorativos causados por oscurecimientos no enzimático. (Fennema,1973).

Cualquiera que sea el método de secado empleado, la deshidratación de un alimento consta de dos etapas: 1) la introducción de calor al producto; y 2) la extracción de humedad del producto; o sea es la combinación de las operaciones de transferencia de calor y transferencia de masa. Al deshidratar los alimentos procuramos obtener la velocidad máxima en el secado, de manera que hacemos todos los esfuerzos posibles a fin de acelerar las velocidades de transmisión de calor y transferencia de masa.

Para esto es necesario considerar los principios básicos de la deshidratación como son: principios psicrométricos, curvas de secado, área superficial y la relación tiempo y temperatura (Potter,1973).

Psicometría

El estudio de las relaciones termodinámicas entre el vapor de agua y aire se conocen como psicometría. Estas relaciones son básicas e importantes en la deshidratación de alimentos debido al papel que desempeñan las fuerzas involucradas en la remoción de humedad del producto (Heldman,1981).

La terminología debe ser presentada para dar una adecuada explicación en un determinado proceso (Heldman,1981).

La presión parcial (p) de un componente puede ser definida como la presión que el componente ejercería si estuviera completamente aislado. Ambos, aire de secado y vapor de agua ejercerán una presión parcial en la mezcla de aire-vapor (Heldman,1981).

La humedad relativa (H_R) es la proporción de la cantidad de vapor en mezclas gaseosas del máximo de vapor que puede estar contenido en la mezcla. En suma, la humedad relativa es la relación de la presión parcial de vapor (p_v) a la presión de saturación de vapor (p_s) para una mezcla de agua-vapor (Heldman,1981).

La húmeda absoluta (H_A) es la proporción de masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco (Heldman,1981).

Las definiciones anteriores son necesarias para realizar cálculos mediante el uso de la carta psicrométrica. La carta psicrométrica es una gráfica de humedad absoluta a lo largo del eje vertical versus la temperatura del bulbo seco en el eje horizontal. La curva en el eje

superior representa el punto de saturación y conociendo las temperaturas de bulbo húmedo se pueden calcular la humedad relativa.

Otro factor de considerable importancia que podemos obtener es el contenido calorífico o entalpía en la saturación (Heldman,1981).

Algunos procesos pueden ser descritos mediante la observación de cambios en la carta psicrométrica. Estos incluyen el calentamiento o enfriamientos sensible. La evaporación por enfriamiento o el proceso de deshidratación ocurren a temperatura de bulbo húmedo constante. Las mezclas de aire con diferentes condiciones de humedad también pueden evaluarse utilizando la carta. Probablemente el proceso de mayor importancia que ocurre en la mayoría de las operaciones de secado es el enfriamiento por evaporación que ocurre durante el período de velocidad constante. Este proceso se reconoce por la adición de humedad hacia el aire de secado a la temperatura de bulbo húmedo constante (Heldman,1981).

Curva de Velocidad de Secado

Cuando se secan los alimentos, no pierden agua a velocidad constante hasta que están completamente secos.

Por el contrario, a medida que prosigue el proceso de secado, la velocidad con que se elimina el agua, no importa en que combinación de circunstancias, va disminuyendo.

La curva de velocidad de secado se obtiene sobre el contenido de humedad por exposición de una muestra húmeda a una corriente de aire. La muestra usualmente es suspendida en un gabinete o ducto. Para secar la muestra se utiliza una corriente de aire a temperatura, humedad, velocidad y dirección de flujo constantes que cruza a través de la misma.

El peso de la muestra es reducido continuamente como función del tiempo. Este dato permite calcular el contenido de humedad en base seca, H . Enseguida, el contenido de humedad libre se calcula de la siguiente manera

$$H_L = H - H_e \quad (1)$$

donde

H_e es el contenido de humedad en el equilibrio.

La humedad libre de una sustancia es el exceso de humedad sobre el contenido de humedad de equilibrio a cualquier temperatura y humedad dadas. Considerando la deshidratación de un *slab* (bloque) ideal de alimento que no sufre encogimiento, por medio de una corriente de aire a temperatura y humedad constante, la conducta de los alimentos deshidratados depende de la manera en que se encuentra la humedad, ya sea en forma libre o ligada (Fennema, 1973).

En un secador de aire, bajo condiciones ambientales constantes, el proceso de secado puede ser dividido en un período de velocidad constante y uno o mas períodos de velocidad decreciente. En este sentido, se pueden dividir los alimentos que serán deshidratados en dos categorías: higroscópicos y no higroscópicos. La definición de un material no higroscópico es que la presión parcial (p) en el material es igual a la presión de vapor de agua (p°).

Por otro lado, en los materiales higroscópicos, la presión parcial del agua es menor que la presión de vapor del agua a las mismas condiciones críticas de humedad (H_h), en otras palabras, un alimento higroscópico es aquel que puede absorber humedad una vez deshidratado. Entonces para un alimento no higroscópico podemos definir según Fennema, 1973.

$$p = p^\circ \quad \text{para } 0 < H \leq H_i \quad (2)$$

donde

H es el contenido de humedad.

H_i es el contenido de humedad inicial.

Para alimentos higroscópicos las relaciones son:

$$\begin{aligned} p &= p^o & \text{para } H < H \leq H_i \\ 0 < p < p^o & \text{para } 0 < H \leq H_h \end{aligned} \quad (3)$$

En las figuras 1 y 2 se muestran las curvas de velocidad de secado para alimentos higroscópicos y no higroscópicos respectivamente. Las curvas de secado mostradas en estas figuras incluyen varios períodos de desecación.

En el primero, la humedad es removida por evaporación de la superficie saturada, enseguida el área de superficie saturada disminuye gradualmente y a continuación se da la evaporación de agua en las partes internas de la muestra. Las curvas de cambio de humedad libre contra cambio de tiempo se muestran también en las figuras 1 y 2. Las curvas señalan claramente la presencia de un período de calentamiento constante AB, un período de velocidad constante BC, y un período de velocidad decreciente CD. El contenido de humedad en el punto C, donde se dan los cambios de velocidad constante a decreciente se denomina contenido crítico de humedad y depende de varios factores que son característicos de cada producto (Heldman, 1981). El período de velocidad decreciente para alimentos no higroscópicos consta de dos partes: el primero, período de velocidad decreciente CD y el segundo período de velocidad decreciente DE. Para alimentos higroscópicos, tenemos un tercer período de velocidad decreciente que es el EF. (Fennema, 1973).

Período de velocidad constante. Durante el período de velocidad de secado, la velocidad de remoción de humedad del producto es limitada solo por la velocidad de evaporación del agua superficial sobre o dentro del producto. Este período continuará mientras la migración de humedad hacia la superficie en la que ocurre la evaporación sea mas rápida que la evaporación que se lleva a cabo en la misma superficie. La velocidad a la cual ocurre la evaporación del agua de la superficie depende de dos factores (Heldman, 1980) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{hA(T_a - T_w)}{L} = k_m A(H_w - H_a) \quad (4)$$

donde

h es el coeficiente de transferencia de calor que describe las condiciones existente en la superficie.

k_m es el coeficiente de transferencia de masa que describe la transferencia de humedad hacia el aire.

T_a es la temperatura del bulbo seco.

T_w es la temperatura del bulbo húmedo

H_w es la humedad absoluta en condiciones de bulbo húmedo.

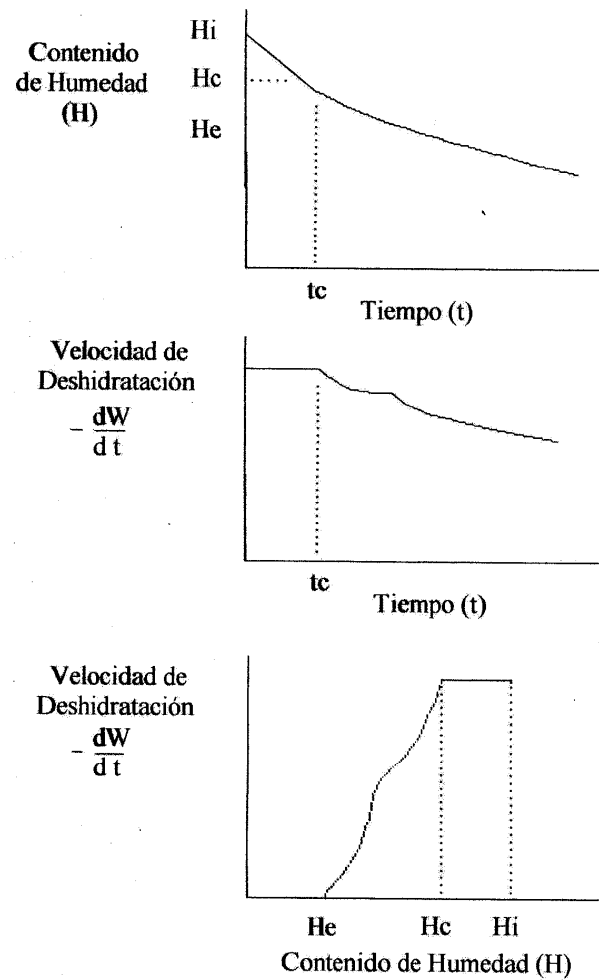


Figura 1. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos higroscópicos (fuente: Fennema, 1975).

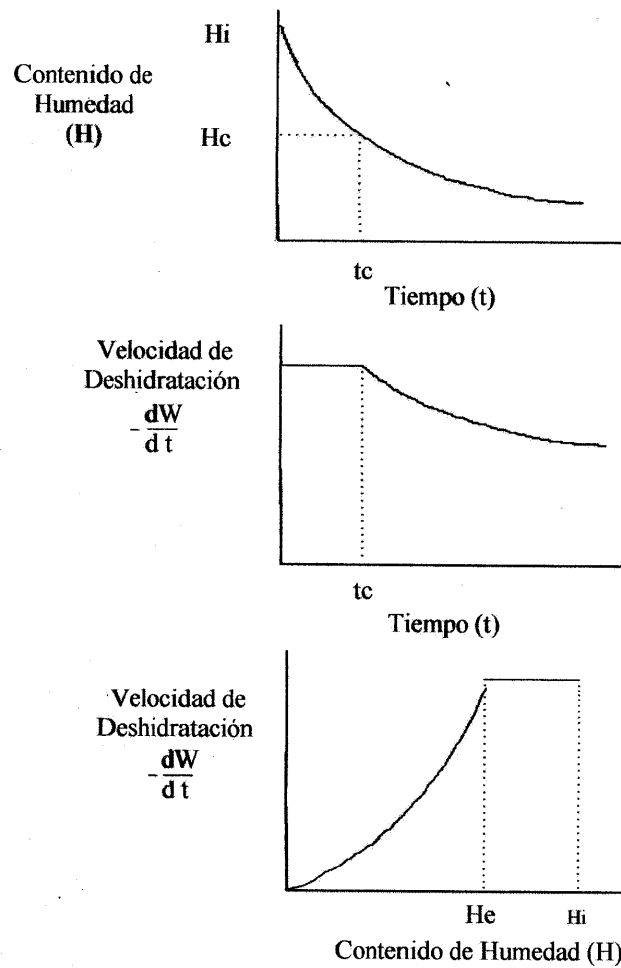


Figura 2. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos no higroscópicos (fuente: Fennema, 1975).

Período de velocidad decreciente. Al avanzar la desecación se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal que la superficie comienza a secarse. En dicho punto C, la velocidad de desecación comienza a descender iniciándose el período de velocidad decreciente. El contenido en humedad del producto en el punto C se denomina contenido crítico de humedad. A partir del punto C la temperatura de la superficie comienza a elevarse, elevación que persiste durante la desecación. Frecuentemente el período de velocidad decreciente consta de dos partes conocidas como primer y segundo períodos de velocidad decreciente, C-E y D-E respectivamente.

En el primer período de velocidad decreciente la superficie se seca y disminuye la velocidad de deshidratación. Al alcanzarse el punto E el plano de evaporación se desplaza penetrando hacia el interior del sólido y la velocidad de deshidratación decae aún más (Brennan, 1980). En alimentos no higroscópicos, este segundo período constituye el fin de la deshidratación, sin embargo para alimentos higroscópicos, este punto corresponde al centro del *slab* que alcanza un contenido de humedad local (Wh), en este tipo de alimentos, tiene lugar un tercer período de velocidad decreciente, durante el cual el secado ocurre por desorción a través del alimento; en este período se asume que la transferencia de masa ocurre solamente en la fase de vapor, que no existe encogimiento y que el calor total de vaporización es constante (Fennema, 1973). En los períodos de velocidad decreciente la velocidad de desecación está influenciada principalmente por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido, reduciéndose los efectos de los factores externos, en especial de la velocidad del aire, sobre todo en la última etapa. Normalmente los períodos de velocidad decreciente constituyen la mayor proporción del tiempo total de deshidratación (Brennan, 1980).

Área Superficial de Alimento en el Secador

Generalmente subdividimos el alimento a deshidratar en piezas pequeñas o capas delgadas a fin de acelerar la velocidad de secado, o sea se trata de exponer una mayor área superficial con lo que facilitaremos la transferencia de masa y de calor.

Además que las partículas pequeñas o capas delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y escaparse (Potter,1973).

Tiempo y Temperatura

La mayoría de los métodos importantes de deshidratación de alimentos emplean calor. Dado que los componentes de los alimentos son sensibles al calor, es preciso encontrar un término medio entre la máxima velocidad de secado y el óptimo mantenimiento de la calidad en los alimentos.

En los procesos de secado que emplean temperaturas altas por períodos cortos, los alimentos son menos dañados que los alimentos sometidos a procesos de secado que emplean temperaturas más bajas por tiempos más largos. Varios procesos de secado pueden lograr la deshidratación en cosas de minutos si el alimento se subdivide suficientemente (Potter,1973).

Procesos Alternos para la Deshidratación

La deshidratación puede llevarse a cabo en varios tipos de secadores. En la selección de un tipo de secador en particular se considera la naturaleza del producto que va a ser secado, la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación (Desrosier, 1976). Y para la clasificación para los productos de secado se han utilizado varios enfoques entre ellos, dos clases generales y cinco subclases. Las dos clases generales son de procesos adiabáticos y de procesos no adiabáticos. (Heldman, 1981). Un proceso adiabático es aquel en el que no hay adsorción ni desprendimiento de calor ($q = 0$) por parte del sistema. Siguiendo la primera ley de la termodinámica, un proceso adiabático se representa mediante la siguiente ecuación

$$\Delta E = -W \quad (5)$$

donde

ΔE es el incremento de la energía interna del sistema.

W es el trabajo hecho por el sistema sobre el contorno.

De la ecuación 5 se sigue que cualquier trabajo en un proceso adiabático se realiza a expensas de la energía interna y conforme aquel va efectuándose, la energía interna del sistema disminuye y en consecuencia desciende la temperatura. Por el contrario, si se hace trabajo sobre el sistema, todo el incrementa la energía interna del sistema y en consecuencia se eleva la temperatura (Maron, 1984).

Procesos adiabáticos

Los procesos adiabáticos involucran un gas secador que provee el calor para la vaporización y después lo transporta lejos del producto.

Una distinción más afondo de los secadores adiabáticos se basa en que el gas secador pasa por todo el material o solo por la superficie (Heldman, 1981).

Secadores de gabinete. Dentro de los procesos adiabáticos tenemos a los secadores de gabinete, que a su vez, pueden ser clasificados como secadores de convección de aire por lotes (Heldman, 1981). Esencialmente consisten en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular al aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido horizontalmente entre bandejas perforadas y el alimento. El secador dispone de controladores para regular la velocidad de admisión de aire fresco y la cantidad deseada de aire de recirculación. Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados con vapor, o en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica.

En los sistemas de flujo transversal se utilizan velocidades de 2-5 m³/s y los sistemas de flujo ascendente velocidades de 0.5-1.25 m³/s (m² de área e bandeja) (Brennan, 1980). Son usualmente contruidos como una unidad independiente y utilizados generalmente para operaciones a pequeña escala. Una unidad simple o un grupo de unidades puede ser utilizado para producir casi cualquier tipo de piezas de hortalizas deshidratadas. Se puede realizar el secado para la preservación de una gran cantidad de frutas y hortalizas frescas durante la estación en el rango de 1-20 ton/día (Potter, 1973).

La figura 3 es la representación esquemática de un secador de gabinete que consiste esencialmente en un gabinete aislado, bandejas contenedoras del material a secar y un medio para la circulación de aire caliente. Los secadores de gabinete resultan relativamente baratos en su construcción y mantenimiento y son muy flexibles (Potter, 1973; Brennan, 1980).

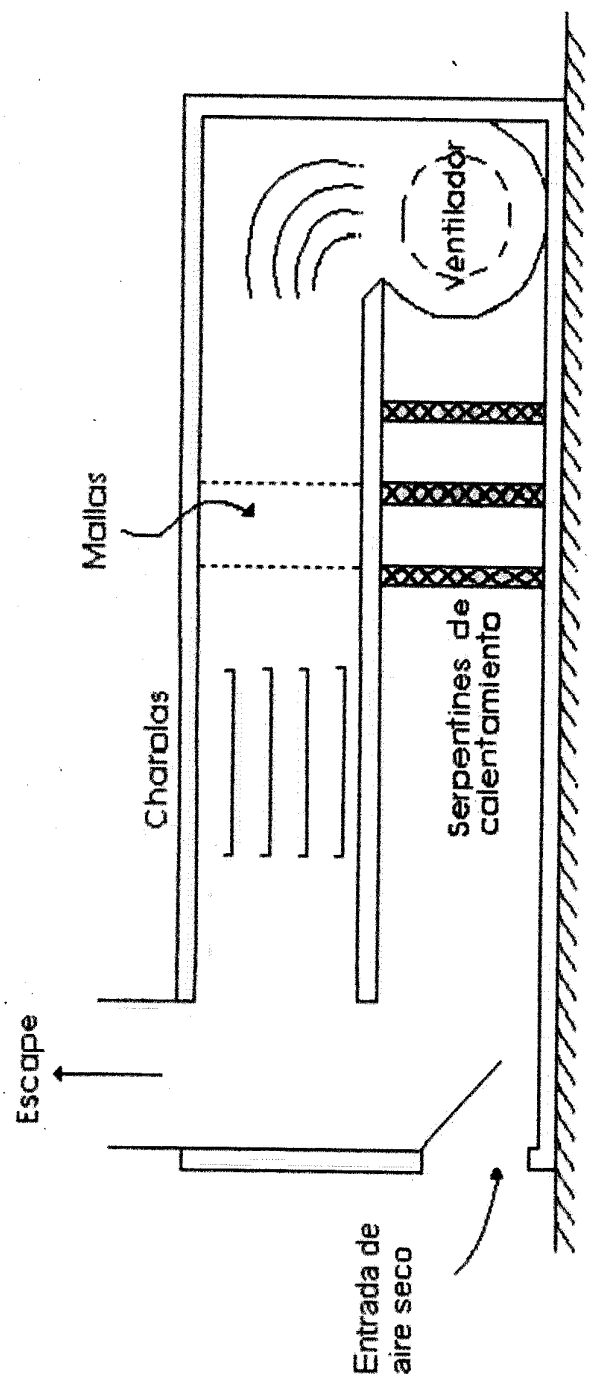


Figura 3. Representación esquemática de un secador de gabinete.

Procesos No Adiabáticos

Los secadores no adiabáticos involucran flujos de calor hacia el interior del sólido de fuentes como radiación o conducción por contacto con una superficie. La temperatura de la superficie del sólido se incrementa al ser expuesta a la fuente de calor. Los vapores húmedos son removidos ya sea por vacío o mediante un gas de purga. A continuación en la tabla 1 y 2 se presenta la clasificación de los procesos de secado adiabáticos y no adiabáticos, y en la tabla 3 se presentan algunos secadores empleados para diferentes tipos de alimentos.

Tabla 1. Clasificación de los secadores en procesos adiabáticos.

PROCESO ADIABÁTICO

El calor de vaporización es suministrado por calor sensible de un gas en contacto con el material que va a ser secado.

Secador de partículas:

El gas se mueve a través de las partículas que son muy pequeñas y la resistencia a la difusión de la humedad es insignificante comparada a la resistencia debida a la transferencia de calor, Un ejemplo de estos equipos son; secador atomizador, flash de lecho fluidizado, de lecho en movimiento, de lecho rotatorio.

Secador de lecho o de slab:

El gas fluye sobre la superficie del material a secar que está en un lecho y la evaporación está controlada por la difusión de la humedad hacia la superficie. Entre estos secadores tenemos: secador de túnel, de platos, de gabinete.

Tabla 2. Clasificación de los secadores en procesos no adiabáticos.

PROCESO NO ADIABÁTICO

El calor de evaporización es suministrado por calor radiante o por calor transferido a través de tambores en contacto con el material a secar.

Secador de vacío:

El calor es removido y la difusión de la humedad aumenta con el vacío. Ejemplo: Secador de gabinete, rotatorio.

Secador de purga:

El vapor se remueve por un flujo de gas que cruza a través del material que se está secando. Ejemplo: secador de chaqueta vibratoria, continuo rotatorio.

Secadores radiantes: La evaporación se debe a que el calor electromagnético es llevado lejos con el gas de purga. Ejemplo: Secador de purga.

Tabla 3. *Tipos de secadores empleados para alimentos líquidos y sólidos*

Tipo de secador	Tipo usual de alimento
Secadores por confección de aire	
Túnel	piezas
Gabinete, bandeja o charola	piezas, purés, líquidos
Banda transportador sinfín	purés, líquidos
Elevador neumático	piezas pequeñas, gránulos
Lecho fluidizado	piezas pequeñas, gránulos
Aspersión	líquidos, purés
Secadores de tambor o rodillo	
Atmosférico	purés, líquidos
Al vacío	purés, líquidos
Secadores al vacío	
Gabinete al vacío	piezas, purés, líquidos
Banda al vacío	purés, líquidos
Liofilización	piezas, líquidos

Fuente: Potter, 1978.

Deshidratación de Hortalizas

Las hortalizas, al ser deshidratadas, tienen ciertas características como son el movimiento de solutos, densidad y porosidad, retracción y endurecimiento superficial, las cuales afectan la calidad final del producto aunque esta también es afectada por el manejo de las hortalizas antes de su procesamiento.

Movimiento de Solutos

Una característica singular e importante en la deshidratación de alimentos es el movimiento de sólidos solubles que se produce en la deshidratación. El agua líquida que fluye hacia la superficie durante la deshidratación contiene diversos productos disueltos. El movimiento de algunos compuestos solubles resulta impelido por las paredes celulares que actúan como membranas semipermeables. A la migración de sólidos en los alimentos contribuye también la retracción del producto que crea presiones en el interior de las piezas. El resultado neto de estos factores puede ser la deposición de componentes solubles en la superficie al evaporarse el agua (Van Arsdel, 1973).

Durante la deshidratación también puede ocurrir la migración de sólidos solubles en la dirección opuesta, hacia el interior de las piezas. Cuando la superficie se deseca, se establece un gradiente de concentración entre la superficie y el centro húmedo de la pieza que puede dar origen a la difusión de productos solubles hacia el centro. El que predomine uno u otro de ambos fenómenos depende de las características del producto y de las condiciones de secado. Se han demostrado que ambos mecanismos ocurren durante la desecación de los alimentos (Van Arsdel, 1973; Brennan, 1980).

Retracción

Durante la desecación de los tejidos animales y vegetales por cualquier método, con la posible excepción de la liofilización, se produce cierto grado de retracción del producto. Durante las primeras fases, y a bajas velocidades, la cuantía de la retracción está simplemente relacionada con la cantidad de humedad eliminada. Hacia la final de la desecación la retracción es cada vez menor de modo tal que el tamaño y forma finales o definitivas del producto se alcanzan antes de completarse la desecación (Van Arsdel, 1980).

Densidad y Porosidad

La densidad y la porosidad de los trozos de hortalizas desecadas depende en gran medida de las condiciones de deshidratación. Si las velocidades iniciales de desecación son altas, las capas externas de los trozos se hacen rígidas y los trocitos de hortaliza adquieren el tamaño final definitivo más tempranamente durante la desecación; al continuar esta, los tejidos se rompen internamente dando origen a una estructura más abierta. En estas condiciones el producto tienen poca densidad y posee buenas características para la deshidratación. Si las velocidades de deshidratación bajan las piezas se retraen más y el producto tiene mayor densidad. La retracción de los alimentos durante el secado puede influir en las velocidades de desecación debidos a los cambios en el área de la superficie y a la creación de gradientes de presión en el interior del producto. Algunos trabajos realizados indican que la retracción no afecta la conducta durante la desecación (Van Arsdel, 1973; Brennan, 1980).

Endurecimiento Superficial.

Se ha observado frecuentemente que durante la desecación de algunas frutas y hortalizas se forma en la superficie una película impermeable y dura. Esta película determina normalmente una reducción de la velocidad de desecación y a este fenómeno se le suele denominar "*endurecimiento superficial*". Aunque el mecanismo exacto del endurecimiento superficial no se conoce bien, es probable que esté influido por múltiples factores, entre los que destacan la migración de sólidos solubles y las elevadas temperaturas que se alcanzan en la superficie hacia el final de la desecación las cuales inducen complejos cambios físicos y químicos en la capa superficial (Van Arsdel, 1973; Brennan, 1980).

Preparación de Hortalizas para su Deshidratación

Las hortalizas al se deshidratadas con sometidas a ciertas operaciones, tales como lavado, cortado y escaldado.

Lavado

El lavado de las hortalizas se efectúa en tres etapas; la primera se realiza solamente con agua, la segunda y tercera etapa con agua clorada (aunque estas dos ultimas generalmente no se efectúa en todas las hortalizas). El lavado se hace con el propósito de eliminar cualquier sustancia extraña de la superficie del producto; los lavados de agua con cloro se utilizan para eliminar microorganismos como coniformes (Anónimo, 1987).

Cortado

Algunas de las hortalizas son cortadas en diferentes formas geométricas tales como rodajas, cubitos, etc, para facilitar su deshidratación, ya que de esa manera se expone una mayor área superficial, que como se mencionó anteriormente, facilita la transferencia de calor y masa (Anónimo, 1987).

Escaldado

El escaldado en un proceso térmico corto, a temperatura que van de 60 a 100 °C (según el tipo y la forma deseada del producto) aplicado a frutas y hortalizas antes de ser congeladas, deshidratadas o enlatadas (IFT, 1986; Lund, 1977). Los alimentos puede ser escaldados exponiéndolos a agua hirviendo, vapor, aire caliente o con microondas, de aproximadamente 1 a 3 minutos dependiendo de la naturaleza y del tamaño del producto (Steinbuch, 1984; IFT, 1986; Rosemberg y Bogl, 1987).

Efectos del escaldado. Los tejidos vegetales son materiales vivos y manifiestan frescura dependiendo en gran cantidad de la ordenación estructural y composición química de la pared celular de los espacios intercelulares donde las sustancias péctidicas son las principales constituyentes. El calentamiento dado durante el escaldado ocasiona rompimiento de la célula y reducción de sustancia péctidicas y además causa cambios irreversibles en la estructura celular y en las características físicas del tejido vegetal (Katsaboxakis, 1985).

El rompimiento de la membrana citoplasmática incrementa su permeabilidad penetrando agua a la célula y a los espacios intercelulares donde son expelidos los gases y otros productos volátiles. Las proteínas se desnaturalizan y existe pérdida de nutrimentos hidrosolubles como vitaminas, azúcares, minerales, clorofila y carotenos.

Dependiendo del uso final de conservación de los productos escaldados pueden observarse uno o varios de los siguientes efectos (Poulsen, 1986):

1. Inactivación de enzimas para prevenir el desarrollo de sabor desagradable y la decoloración, causados por la presencia de clorofilas y carotenos.
2. Coagulación de las proteínas, son forzadas a encogimiento por la liberación de agua, aunque esta merma sucede durante la esterilización de productos enlatados.
3. Lixiviación de almidón, lo que evitará productos con aspecto turbio.
4. Remoción del aire atrapado inter o intracelular, con lo cual el producto es más fácil de enlatar. Por otro lado, se previene la oxidación de compuestos durante el almacenamiento de productos congelados.
5. Mejoramiento del color en el producto, aunque algunos obtienen una disminución del mismo.
6. Mayor control de calidad, ya que las partes defectuosas se hacen más visibles y por lo tanto el producto puede ser separado más eficientemente.

7. Disminución de la contaminación microbiana, ya que las células vegetativas, levaduras y mohos son destruidos.
8. Reducción del tiempo de cocinado, al igual que la homogenización para mezcla de productos, al ser tratados individualmente.
9. Con el tratamiento térmico en un producto se puede desarrollar un sabor amargo, el cual se encuentra incluido cuando llega al consumidor (esto sucede aunque no esté escaldado dicho producto).
10. En el escaldado cuando el agua o vapor es usado para el calentamiento, existen pérdidas de vitaminas, sabor, color, carbohidratos, por lixiviación así como otros componentes solubles en agua (Poulsen, 1986).

Tipos de Escaldado. Existen varias formas de escaldado, pero los tipos más usados son: el escaldado con vapor de agua y el escaldado por inmersión en agua, siendo este último el tradicional usado en la industria alimenticia (Poulsen, 1986).

- (1) Inmersión de agua: Industrialmente, el escaldado tipo inmersión de agua consiste en pasar el alimento a velocidades controladas a través de un tambor perforado que gira en un depósito de agua a la temperatura del escaldado (75°C a 100°C), controlada. En este tipo de escaldadores la instalación y el costo son relativamente bajos, debido a que la transferencia de calor es mejor, pero las pérdidas a causa de lixiviación y el volumen de afluente de adentro hacia fuera de las células, son considerablemente mayor en éstos que en los de vapor de agua (Poulsen, 1986).
- (2) Vapor de agua: En este tipo de escaldadores se utiliza vapor de agua saturado a presión atmosférica o mayor; se arrastra el alimento a través de una cámara de vapor sobre una cinta de rejilla o por medio de un tornillo helicoidal, estando el tiempo de resistencia en ambos casos

controlado por la velocidad del mecanismo de transferencia. En estos escaldadores el mecanismo de transferencia de calor está caracterizado por baja lixiviación de solubles y bajo potencial de contaminación, debido al pequeño volumen del afluente. En este tipo el costo es mayor que en los escaldadores de agua (Poulsen, 1986).

Enzimas Responsables del Deterioro de la Calidad en Hortalizas sin Escaldar:

Las enzimas son proteínas capaces de catalizar reacciones bioquímicas específicas. Resulta difícil y a menudo sin sentido, definir la cantidad de enzimas presentes en una preparación en base a la concentración. Esta cantidad se expresa como actividad, relaciona directamente la velocidad a la que ocurren las reacciones específicas en la presencia de la preparación enzimática bajo condiciones establecidas.

La importancia de las reacciones enzimáticas en la tecnología de alimentos constituyen una parte fundamental y muy extensa. En general, en el procesamiento de frutas y hortalizas se pretende minimizar los cambios enzimáticos, de tal forma que se puedan conservar por largos períodos en almacenamiento (Braverman, 1980).

Son varios los grupos de enzimas responsables del deterioro de la calidad de hortalizas sin escaldar, dentro de las cuales tenemos las siguientes (Williams, et. al., 1986):

1. Las lipoxigenasas, lipasas y proteasas, que ocasionan pérdida de sabor.
2. Las pectinasas y celulasas, que causan cambios en la textura.
3. La polifenoloxidasa, clorofilasa y peroxidasa que ocasionan cambios de color.
4. La ácido ascórbico oxidasa y la tiaminasa que causan cambios nutricionales.
5. En las reacciones secundarias, los hidroperóxidos producidos por las lipoxigenasas, causan pérdida de color, debido a que reaccionan con clorofilas y carotenoides. Las benzoquinonas y melaninas, producidas por la polifenoloxidasa, reaccionan con el grupo ξ -amino de los residuos de lisina de las proteínas, afectando así, la calidad nutricional y solubilidad de las proteínas (Williams, et. al., 1986).

La actividad de la peroxidasa es ampliamente utilizada como indicador “universal” de un escaldado adecuado para frutas y hortalizas, debido a que es la enzima térmicamente más estable en las plantas (Fennema, 1976; William, et al. 1986).

Recientemente Muftugil (1985) y Debbaudt, (1993), han estudiado la inactivación de la peroxidasa en calabacita italiana en rodajas y en cubos respectivamente.

Deshidratación

Para la deshidratación de hortalizas se utilizan temperaturas en un rango de 50° a 95°C por tiempos que dependen del tipo de hortaliza y la forma que se le quiera dar al producto final. Como ya mencionamos anteriormente, tiene mucha importancia la rapidez con que se efectúa la deshidratación. Si se consigue que la humedad aflore con regularidad y de manera gradual hacia la superficie, los perjuicios serán mínimos (Anónimo, 1987).

A la fecha solamente existe una sola investigación en relación a la deshidratación de calabacita italiana (Optimización en la Deshidratación de la calabacita Italiana, utilizando metodología de Superficie de Respuesta, en Mayo de 1993 por Gallego, M. G.).

Como ya mencionamos anteriormente, en la deshidratación de hortalizas se presentan ciertas desventajas, entre las cuales tenemos pérdida de la capacidad para rehidratación y pérdida de color.

Color

El color es muy importante en un alimento, ya que el consumidor lo juzga primeramente por su apariencia (color, forma, entre otros) Badui, 1981.

Es una propiedad de la luz más que del objeto. Los alimentos que han sido alterados calentándolos, congelándolos, secándolos, salándolos o fermentándolos, es de esperarse que tengan alteradas las habilidades para reflejar, dispersar y transmitir la luz. Si esto ocurre, habrá cambios determinables en el color de los alimentos (Desrosier, 1993).

Los alimentos pueden adquirir su color de cualquier a de varias fuentes; una fuente principal es la de los pigmentos vegetales. Los pigmentos y precursores del color de frutas y hortalizas se encuentran en su mayor parte encerradas en el plasto celular, como son los cromoplastos y otros cloroplastos, y en cantidades menores disueltos en gotas de agua o grasa dentro de los cloroplastos y vacuolas de la célula.

Estos pigmentos están clasificados en seis grupos: clorofilas, carotenoides, antocianinas, flavonoides, betalainas y taninos (Fennema, 1975). Los pigmentos que se encuentran en la naturaleza y están presentes en los alimentos, además de sus características físicas, dan indicaciones visuales de calidad. En las hortalizas (hojas verdes, alcachofa, guisantes, judías, pepinos, etc.) predomina la clorofila, en otros son los carotenoides los que determinan el color.

La degradación de la clorofila se produce por acción enzimático, por oxidación, por efectos de los ácidos y por aplicación de calor.

Las clorofilas presentes en los vegetales, hidrolizan los enlaces Ester de la clorofila separando el fitol $C_{20}H_{41}OH$ y metanol dejando dos grupos ácidos carboxílicos libres en la molécula.

En medio ácido, la molécula de clorofila pierde el átomo de Mg, convirtiéndose en feotina (a o B), de color marrón o verde oliva, respectivamente. Este efecto se intensifica si está acompañado o precedido por un tratamiento térmico, que desnaturaliza la lipoproteína ligada a la clorofila, favoreciendo así la actuación de los ácidos. Un calentamiento intenso (varios minutos a 100°C o más) de las hortalizas, por ejemplo, produce este efecto al permitir el ataque a la clorofila por los propios ácidos del fruto, dando lugar al color característico de las hortalizas cocidas o en conserva.

La oxidación enzimática de los lípidos de la hortaliza, promueve que la degradación oxidativa de la clorofila por los peróxidos de las grasas; este fenómeno es el responsable del pardeamiento de productos vegetales deshidratados o congelados, cuyos sistemas enzimáticos no han sido adecuadamente inactivados por el escaldado previo.

Los carotenoides, por su carácter lipofílico, no se disuelven en el agua de cocción, por lo que las pérdidas durante el proceso de industrialización de las hortalizas que los contienen son, en este aspecto, pequeñas. Sin embargo, se alteran fácilmente por oxidación, que supone un pardeamiento del producto y una disminución del valor vitamínico. Este fenómeno es especialmente importante en hortalizas deshidratadas por su gran superficie de contacto con el aire.

El beta-caroteno se concentra casi siempre en proporciones importantes y, en los vegetales verdes, está enmascarado por la clorofila (Primo Y 1998).

El color es una propiedad de la materia directamente relacionado con el aspecto de la luz y que por lo tanto se puede medir físicamente en términos de su energía radiante o intensidad y por su longitud de onda. El ojo humano solo puede percibir los colores que se generan en el espectro correspondiente al intervalo de 380 a 770 nanómetros de longitud de onda; de ahí que el humano percibe a través de las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo (Badui, 1981).

El color puede ser medido sensorial o instrumentalmente; en este último caso de evaluación instrumental es capaz de detectar cambios que el ojo humano no alcanza a detectar.

Los métodos instrumentales para medir color se fundamentan en relación de este con el espectro de la luz, lo que permite su medición física por medio de su energía radiante o intensidad y por su longitud de onda, la cual, debe oscilar entre 380 y 760 nm para que sea percibido por el ojo humano (Krammer y Twigg, B. A. 1970).

La medición del color se lleva a cabo por medio del fenómeno de reflectancia, el cual se basa en el principio de registrar la luz absorbida por el color negro o la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en colores básicos y mezcla de ellos (Wong, 1992).

Equipos como el Agtron y el colorímetro de Hunter LAB son de los más utilizados para medir esta propiedad física en alimentos. El Agtron es un espectrofotómetro de lectura directa de reflectancia, que se emplea para medir el espectro relativo de las muestras.

El instrumento posee tubos de descarga gaseosa para iluminar la muestra; posee filtros de interferencia para aislar una de cuatro líneas monocromáticas de las fuentes de luz, un fototubo, un amplificador y una escala para medir el espectro de reflectancia relativo. Posee además, un papel frontal, que permite la selección de espectros de investigación del producto, en rojo, verde, azul y amarillo (Díaz, 1995).

Este instrumento se calibra utilizando discos de reflectancia estándar, para que la muestra pueda ser comparada con niveles de reflectancia conocida en el rango del espectro deseado. La lectura numérica en el medidor es una comparación cuantitativa del producto y la calibración estable estándar.

El espectrofotómetro tienen 4 espectros a seleccionar: rojo, verde, amarillo y azul. Productos claros tales como el papel, harinas y productos lácteos darán generalmente los resultados más significativos en el espectro azul (Wong, 1992).

La medición se lleva a cabo porque la fuente de luz, genera impulsos alternados de luz que inciden en la muestra, la luz es reflejada por la muestra al área sensible de un fototubo después de haber pasado a través de uno de cuatro filtros monocromáticos; la intensidad de luz monocromática que pasa por el filtro es amplificada. La lectura se toma en un medidor que indica el color relativo de la muestra en comparación con un estándar de calibración conocido (Manual de Operación Agtron M-500)(Díaz, 1995).