

INTRODUCCIÓN

El proceso de deshidratación por métodos combinados en frutas juega un papel muy importante para el desarrollo de nuevos productos, la supresión de agua de los alimentos mediante el secado es probablemente la más antigua técnica de preservación. Un producto seco tiene la ventaja de una reducción de peso y la consecuente reducción en el coste de transporte. La conservación de trozos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav) sendtn) utilizando técnicas de deshidratación osmótica y secado final por aire caliente, constituye una alternativa viable para prolongar el tiempo de vida útil con poca alteración de las características sensoriales y nutritivas.

Para llevar a cabo el proceso de deshidratación de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav) sendtn) por métodos combinados, se continuó con la investigación iniciada en 2004 utilizando en ésta ocasión cubos deformados de 2 x 2 x 0.5 cm teniendo en cuenta la forma del fruto entero, grado de madurez, basado en la carta de color, acidez titulable, concentración de la solución osmótica y tiempo de deshidratación.

Los cubos deformados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav) sendtn) fueron deshidratados osmóticamente (DO) con soluciones de sacarosa de 65 °Brix durante 240 minutos y a presión atmosférica, de acuerdo con los mejores resultados reportados previamente (Rojas A.; Arango L., 2004).

En el desarrollo de éste proyecto se realizaron análisis de peso, volumen aparente, pH, sólidos solubles (°Brix), actividad de agua (a_w), humedad (%), actividad enzimática, ácidos orgánicos no volátiles, azúcares, y aromas, tanto a la fruta DO como al producto final secado por aire caliente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se determinaron las variables de secado por aire caliente de cubos deformados de tomate de árbol: temperatura y tiempo; de acuerdo con su comportamiento y propiedades organolépticas y las propiedades sensoriales: aspecto, color, sabor y carácter.

1. JUSTIFICACIÓN

El tomate de árbol es una fruta exótica que se comercializa en el mercado internacional, Colombia es el principal proveedor a la Comunidad Europea ya que mantiene exportaciones estables durante todo el año, tiene gran demanda debido a que es una fruta ligeramente firme, suave y jugosa, con un sabor agridulce, perteneciente al grupo de las semiácidas.

El tomate de árbol contiene niveles altos de fibra, vitaminas A, B, C y K. Es rico en minerales, especialmente calcio, hierro y fósforo; contiene niveles importantes de proteína y caroteno. Es además una buena fuente de pectina, y es bajo en calorías.

En frutoterapia el tomate de árbol es muy apreciado por la variedad de aplicaciones y excelentes resultados. El consumo de la fruta fortalece el cerebro y la memoria, contribuye a curar migrañas y cefaleas severas, controla la rinitis, beneficia el sistema circulatorio, y se lo prepara en jugos para programas de reducción de peso. Estudios realizados indican que contiene sustancias como el ácido gamma aminobutírico, que baja la tensión arterial, por ello es útil para los hipertensos, no así para quienes sufren de tensión baja. (Valverde, F., 1998)

Teniendo en cuenta el estilo de vida actual donde el tiempo juega un papel importante, se busca una alimentación sana de rápida preparación; es preciso desarrollar productos que conserven sus propiedades organolépticas, nutrientes, color, textura, olor y sabor característicos.

La deshidratación osmótica permite obtener productos de humedad intermedia estables en refrigeración o conservados por métodos combinados y es utilizada también como pretratamiento a la congelación o secado, en aras a obtener productos de mejor calidad (Pointing, et al., 1966).

Actualmente, por lo tanto establecer las propiedades físicas y químicas de cubos de tomate de árbol durante la deshidratación osmótica por métodos combinados con aire caliente (DO-AC), permitirá ofrecer un producto deshidratado que minimiza los procesos de deterioro, intoxicación y fermentación no deseados. Y que a su vez conserva las características sensoriales y nutritivas deseables.

El método DO-AC también posee otras ventajas como es el caso de un transporte más económico, por reducción del peso y volumen de la materia prima de partida, permitiendo su exportación y distribución a diferentes países, ya que no necesitan de energía adicional para su conservación; además, los trozos de fruta así conservados poseen alta demanda en mercados especializados de cereales para el desayuno, yogures y snacks.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERALES

- Evaluar los cambios en la composición y propiedades físicas de trozos de tomate de árbol *Cyphomandra betacea* (Cav) sendtn durante la deshidratación osmótica por métodos combinados.

2.2. ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones óptimas de temperatura y tiempo de secado por aire caliente, de trozos de tomate de árbol previamente deshidratados osmóticamente según parámetros anteriormente establecidos. (Rojas A.; Arango L., 2004)
- Analizar la cinética de secado por aire caliente de trozos de tomate de árbol deshidratados osmóticamente.
- Estudiar la evolución de los parámetros de calidad; pH, °Brix, actividad de agua a_w , ácidos orgánicos no volátiles, azúcares, contenido de proteínas, actividad enzimática, perfil aromático, durante la deshidratación osmótica de tomate de árbol por métodos combinados empleando secado por aire caliente.

3. ANTECEDENTES

Se ha estudiado la aptitud del tomate de árbol para someterlo al proceso de osmodeshidratación, conservarlo en refrigeración y evaluar su aceptación sensorial. Tanto a la materia prima como al producto obtenido se le realizaron análisis fisicoquímicos. La fruta antes de ser procesada se acondicionó, se osmodeshidrató en solución de sacarosa de 65 °Brix con ácido ascórbico por un tiempo de cuatro horas, posteriormente se empaco en bolsas plásticas y se refrigeró a 6 °C por 60 días. Las características fisicoquímicas indican que el tomate de árbol osmodeshidratado se puede conservar hasta 60 días y sólo hasta 30 días la fruta sin proceso. (López O. B, et al., 2002)

Se muestra el tratamiento que se le ha dado al tomate de árbol, aprovechando las bondades del proceso de la liofilización en cuanto a conservación de parámetros nutricionales, organolépticos e higiene se ha buscado las mejores condiciones de procesamiento y se ha llegado a obtener un producto con excelentes características de rehidratación, olor, sabor y apariencia. (Pamplona L. F.; Orrego A. C., 2002)

Frutos de uchuva *Physalis peruviana* han sido evaluados en operaciones de deshidratación osmótica (DO), usando solución de sacarosa al 60% con dos pretratamientos: escaldado por 5 minutos y perforación previa. La DO se realizó a 30 y 50 °C a 1 atm. y por 3 y 5 h, determinando al final del proceso los parámetros: actividad de agua (a_w), pH, acidez total, sólidos solubles y contenido de humedad. La transferencia de masa es ligeramente mayor en frutos escaldados si se mantienen las condiciones de

operación a 50 °C por 5 h. La humedad final del producto (DO) es del orden del 63.4% y 31.2% en sólidos solubles, con un descenso de la acidez y (a_w), e incremento del pH hasta 3.8. La operación complementaria de secado por convección forzada con aire caliente a 60 °C, permitió obtener un producto con humedad del 10%. (Guarnizo, et al., 2001)

En otra investigación se ha utilizado un equipo de secado por aire caliente con control continuo de peso del producto, temperatura y velocidad del aire para el secado de rodajas de pera. Los experimentos de secado se realizaron a 35, 45, 55, 65 y 75 °C y dos velocidades del aire de secado. (Xue, et al., 2001)

Fue investigada la influencia de la temperatura en la cinética de secado de frutos de tomate fresco *Lycopersicum esculentum* Mill., sometidos a un pretratamiento osmótico. Fueron utilizados tomates partidos en cuatro partes, sin semillas. El pretratamiento osmótico consistió en la inmersión del material por 2h en soluciones de sacarosa (35 % en peso) y NaCl (10% en peso), a 30 °C bajo agitación continua. El secado por aire caliente fue hecho en un secador de bandejas con velocidad de aire de 1.5 m/s y temperaturas de 40 a 70 °C. (Telis, et al., 2001)

Por otra parte, se han estudiado los cambios composicionales inducidos en la fresa (var. Camarosa) por reducción del contenido de agua por deshidratación osmótica (DO), secado por aire caliente (AC), así como a través de tratamientos combinados (DO-AC) realizados hasta alcanzar tres niveles diferentes de humedad dentro de la gama de productos mínimamente procesados. En los tratamientos de DO se utilizó solución de

sacarosa a 65 °Brix. Se analizó, tanto en las muestras secas como procesadas, la humedad, actividad de agua, pH, sólidos solubles, azúcares (HPLC) y acidez titulable. Para cada caso se calculó la ganancia ó pérdida neta de componentes durante los diferentes tratamientos. En todas las muestras procesadas por DO y DO-AC se observó una ganancia significativa de azúcares. No obstante, dependiendo del método de deshidratación e intensidad del tratamiento se observó la hidrólisis total o parcial de la sacarosa ganada. Respecto de la acidez, los tratamientos de deshidratación provocaron una disminución de la misma. (Moraga, et al., 2001)

Se han realizado estudios de conservación de tomate de árbol procesado por deshidratación osmótica en donde se ha analizado la aptitud del tomate de árbol para someterlo al proceso de osmodeshidratación. Tanto a la materia prima, como al producto obtenido se le realizaron análisis fisicoquímicos. Se deshidrataron cubos deformados del fruto durante 4 horas en una solución de sacarosa de 65 °Brix, adicionando 1000 ppm de ácido cítrico y 500 ppm de ácido ascórbico como agentes conservantes. La DO se realizó a temperatura ambiente (25 °C) con un pulso de vacío (DOPV) de 380 mm de Hg durante 5 minutos, sin agitación ni recirculación del jarabe. Los resultados del trabajo constituyen una alternativa para prolongar la vida útil del fruto y está acorde con las exigencias del consumidor moderno (Rojas A., Arango L., 2004).

Se ha trabajado la deshidratación osmótica (DO) y el secado por aire caliente para la obtención de mango escarchado. Los frutos de mango variedad Kent se procesaron en cilindros de 1.5 por 2 cm., se les realizó un pretratamiento osmótico (PO) en dos períodos. En el primero se aplicó

a las muestras un pulso a vacío (50 mbar) durante los 10 primeros minutos, en disolución de sacarosa de 25, 35, 45, 55, 65 °Brix. En el segundo periodo se llevaron las muestras a 65 °Brix hasta 72 horas de tratamiento osmótico. También se realizó un tratamiento en idénticas condiciones pero en una disolución única de 45 °Brix. Las muestras deshidratadas osmóticamente con °Brix similares a la disolución final, se secaron con corriente de aire a 35 °C hasta niveles cercanos a 68 y 72 °Brix. A las muestras deshidratadas se les determinó humedad, sólidos solubles y variación de masa. Las muestras pretratadas osmóticamente a 25 y 65 °Brix y a solo 45 °Brix, presentaron menores variaciones de masa al final del secado. También se observó en ellas una ganancia de sólidos significativamente mayor. Se realizó un análisis sensorial sobre textura comparando las muestras obtenidas con una muestra escarchada térmicamente. El tratamiento que utilizó solo la disolución de 45 °Brix en PO, fue el mejor valorado. (Giraldo, et al., 2004).

Se estudió la posibilidad de aprovechar industrialmente frutos de tomate de árbol con grados incipientes de antracnosis, a partir de características fisicoquímicas y sensoriales. Teniendo en cuenta la favorabilidad nutricional y sensorial observadas y medidas mediante la caracterización fisicoquímica, además de la presencia de ácido benzoico, como preservante natural, el cual evita la incorporación de aditivos químicos en los productos terminados, como también, el lento proceso de respiración de los frutos y por ende prolongación de su vida útil, en cuanto al almacenamiento de la materia prima. Se pudo concluir que cada grado, bajo sus propias características y aportes a sus fines básicos, puede ser potencialmente aprovechable en diferentes líneas de industrialización.

La posibilidad de utilizar con grados incipientes de antracnosis, con fines de producción de procesados, disminuirían las fuentes de inóculo en el cultivo y esto a su vez produciría epidemias menos severas, las cuales precisarían para su control de una menor aplicación de agroquímicos; produciendo un efecto ambiental positivo. (Becerra V. D., et al., 2004)

Se determinó la vida útil del Tomate de árbol al cual se le había realizado una deshidratación osmótica. Se encontró que éste proceso puede duplicar su tiempo de conservación con respecto al de la fruta que no ha sido sometida a él. Con el fin de estudiar el efecto de la atmósfera modificada en la vida de anaquel del tomate de árbol deshidratado osmóticamente, se continuó el trabajo. Para tal efecto se utilizaron dos clases de mezclas gaseosas, M1: 1% O₂, 5% de CO₂ con balance de N₂; M2: 5% O₂, 10% de CO₂ con balance de N₂. Como testigo se empacaron muestras del producto sin mezcla de gases predeterminada. Se utilizaron dos tipos de empaque de un material polimérico multicapas, adecuados para ésta técnica: Calibres 5 y 4 milésimas de pulgada, C₁ y C₂ respectivamente. El almacenamiento se realizó a 6 °C, durante 80 días, con observaciones a los 45, 60, 68, 74, y 80 días. Durante el transcurso de la experimentación se efectuaron análisis fisicoquímicos, sensoriales y microbiológicos a las muestras. Se determinó que el tomate de árbol deshidratado osmóticamente incrementa significativamente su vida de anaquel cuando es empacado en atmósfera modificada, comparado con el producto sin empacar mediante ésta técnica. (Tabares A. C.; Velásquez R. J.; López O., 2004)

4. MARCO TEÓRICO

4.1. TECNOLOGÍA DE BARRERAS

4.1.1. IMPORTANCIA Y ESTADO DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS

Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad de agua (a_w). La a_w de un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la extracción del agua o mediante la adición de solutos. Algunas moléculas del agua se orientan en torno a las moléculas del soluto y otras quedan absorbidas por los componentes insolubles de los alimentos. En ambos casos, el agua queda en una forma menos reactiva. (Fellows, et al., 1994)

Varios métodos de conservación utilizan estos conceptos. La deshidratación es un método de conservación de los alimentos basado en la reducción de la a_w . También el agregado de solutos desciende la a_w lo cual se da durante el curado y salado, así como en el almíbar y otros alimentos azucarados.

La a_w de un alimento o solución se define como la relación entre la presión de vapor del agua del alimento (p) y la del agua pura (p_0) a la misma temperatura. A medida que una solución se concentra, la presión de vapor disminuye y la a_w desciende a partir de un valor máximo de 1 para el agua pura (en ausencia de capilares o fuerzas de adsorción). (Fellows, et al., 1994)

En la deshidratación, se le aplica energía al alimento en forma de calor, aumentando la presión de vapor del agua presente hasta un nivel tal que el agua de la superficie de los alimentos se evapora. La evaporación conlleva un descenso de la temperatura de la superficie y se necesita un aporte adicional de calor para mantener la presión de vapor a un nivel adecuado. A medida que se va evaporando el agua superficial se va reemplazando por otra procedente del interior que migra merced a procesos de difusión, convección, flujo capilar y retracción. La evaporación de la humedad de los alimentos se debe a la diferencia entre la presión de vapor de la atmósfera y la presión superficial del alimento.

A medida que avanza la deshidratación, desciende la velocidad de eliminación del agua porque la migración de agua a la superficie tiene un límite; las capas superficiales se hacen menos permeables y el aumento de la concentración de solutos reduce la presión de vapor de la superficie. Por ello, para alcanzar el grado de desecación deseado se hace necesario reducir la presión de vapor ambiental o aumentar la temperatura del alimento. Se puede realizar deshidratación de muchas maneras diferentes, por secado al sol, en secaderos con aire caliente con bandejas estáticas, con bandejas en túneles, en cintas transportadoras en túneles, en secaderos spray, en lechos fluidizados, por liofilización. (Martens, et al., 1996)

4.1.2. CONSERVACIÓN POR MÉTODOS COMBINADOS

La estabilidad y seguridad microbiana de la mayoría de los alimentos se basa en la combinación de varios factores (obstáculos), que no deberían ser vencidos por los microorganismos. Esto es ilustrado por el llamado "efecto barrera", que es de fundamental importancia para la preservación de alimentos dado que las barreras en un producto estable controlan los procesos de deterioro, intoxicación y fermentación no deseados. Además, el concepto de barrera ilustra el hecho de que las complejas interacciones entre temperatura, actividad de agua, pH, potencial redox, etc; son significativas para la estabilidad microbiana de los alimentos. La tecnología de barreras (o tecnología de obstáculos o métodos combinados), permite mejoras en la seguridad y calidad, así como en las propiedades económicas (esto es, cuánta agua en un producto es compatible con su estabilidad) de los alimentos, mediante una combinación inteligente de obstáculos que aseguran la estabilidad y seguridad microbiana, así como propiedades nutritivas y económicas satisfactorias. (Fellows, et al., 1994)

Es recomendado el uso de métodos de preservación combinados (conocidos también como métodos de preservación con barreras o vallas) cuando se formulan nuevos productos. En cuanto a lo que el término "abuso razonable" se refiere, depende de lo que se considera como "riesgo aceptable".

Un factor más que importante en el desarrollo de un producto alimenticio es el costo del mismo. El uso de tecnología significa invertir, requiere equipos, mano de obra especializada, controles (HACCP), etc. Sin embargo, la inversión en tecnología generalmente aumenta la rentabilidad a largo

plazo, le da al producto mayor valor agregado, mayor seguridad bacteriológica y una mayor calidad, que en definitiva es lo que el consumidor busca.

Dado que la prevención del deterioro y el mantenimiento de la calidad óptima suelen ser acciones opuestas, para mantener la calidad óptima se combinan varias barreras y cada una de ellas se mantiene en su menor intensidad posible. Se debe tener en cuenta que la legislación alimentaria es distinta en los distintos países, particularmente en cuanto al uso de aditivos. (Fellows, et al., 1994)

4.1.3. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR DESHIDRATACIÓN

Consiste en la eliminación del agua en un alimento en forma de vapor mientras éste está siendo calentado. Se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos, por evaporación, aplicando calor.

El objetivo principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua. La deshidratación reduce también su peso y volumen, lo que reduce los gastos de transporte y almacenamiento. En algunos casos sirve también para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos de más cómoda utilización. La deshidratación altera en cierto grado, tanto las características organolépticas, como el valor nutritivo de los alimentos.

Desde el punto de vista físico, la eliminación de agua de un alimento húmedo se hace usualmente retirándola bajo la forma de vapor. Los fenómenos que intervienen en esta operación son:

- ◆ La transferencia de calor: Aporta la energía necesaria para la transformación de agua en vapor, principalmente calor latente de vaporización.
- ◆ La transferencia de masa: en forma de vapor de agua a través y fuera del producto. En alimentos, el principal mecanismo de transferencia de masa es la difusión a través del sólido. (Ranken, 1993)

4.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Este método consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. En general los trozos de fruta pierden cerca del 40% del peso durante cerca de 4 horas de inmersión. (Ranken, 1993)

4.3. SECADO POR AIRE CALIENTE

Se utiliza el aire como medio secador, debido a su abundancia, su conveniencia y a que puede ser controlado el sobrecalentamiento del alimento. El aire es usado para conducir calor al alimento y para arrastrar

el vapor húmedo liberado del alimento. El aire conduce calor al alimento causando que el agua se vaporice y es el vehículo para transportar el vapor húmedo liberado hacia el exterior del alimento que se está deshidratando.

Algunas normas generales de deshidratación por aire caliente son:

- (1) La velocidad de flujo del aire será grande en las fases iniciales, cuando el aire se evapora libremente, pero, salvo en las deshidratadoras de tipo impelente, será insuficiente para empujar el material que va a desecarse; una velocidad lineal de 180 a 300 m por minuto generalmente es suficiente para las piezas de hortalizas.
- (2) En las fases iniciales de la deshidratación de hortalizas se trabaja a temperaturas del bulbo seco de 90-100 °C si la temperatura del bulbo húmedo puede mantenerse baja, preferentemente a no más de 50 °C esto determina una rápida evaporación del agua del alimento que permanece, aproximadamente, a la temperatura del bulbo húmedo, debido al enfriamiento evaporativo, por lo que no tiene lugar daño térmico alguno. Si la temperatura es excesiva, las velocidades de evaporación muy altas forman una costra o cáscara dura, especialmente si se desecan porciones gruesas (por ej., de un espesor de más de 1 cm).
- (3) En las últimas fases de la deshidratación (a unos contenidos de humedad menores del 15%), la velocidad de migración del agua a la superficie de las piezas o trozos es muy lenta y se necesita una desecación muy prolongada a temperatura relativamente baja (55°C o menos) para llevar el contenido de humedad a menos del 6%. Esta fase final puede completarse en algún tipo de deshidratadora de

terminado que, permite emplear un flujo de aire de velocidad pequeña, dado que la cantidad de agua a evaporar por unidad de peso del material es pequeña. (Ranken, 1993)

4.3.1. TIPOS DE SECADORES

En la deshidratación de alimentos, se utilizan diferentes tipos de secadores, la selección de un tipo en particular es guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación.

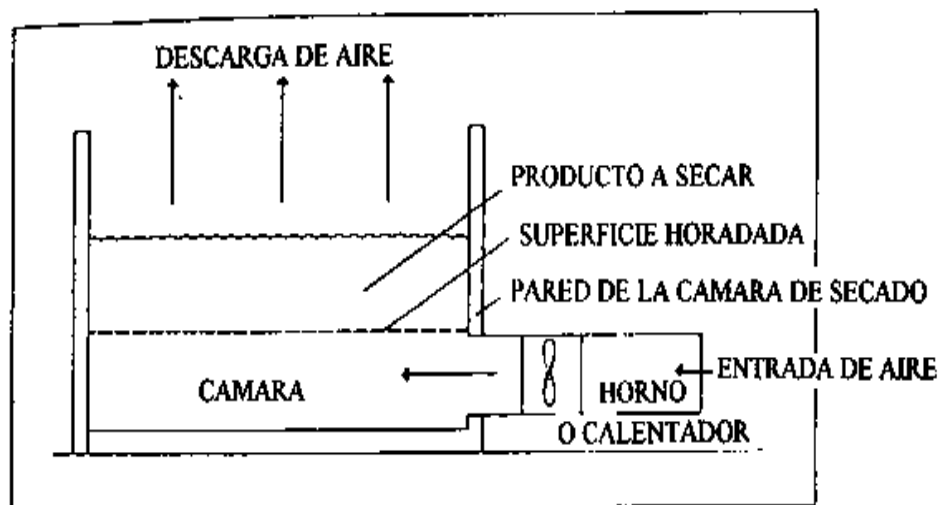


Figura 1. Deshidratador de aire forzado. (FAO. 1985)

4.3.2. MECANISMO DE LA DESHIDRATACIÓN:

Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor. El agua escapa de la superficie de los alimentos por los siguientes mecanismos:

1. Por capilaridad.
2. Por difusión, provocada por las diferencias en las concentraciones de solutos entre las distintas partes del alimento.
3. Por difusión del agua, absorbida en diversas capas sobre la superficie de los componentes sólido del alimento.
4. Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de vapor existente en el interior del alimento. (Desroisier, 1986)

4.3.3. CURVA DE SECADO POR AIRE CALIENTE:

Durante la desecación se separa más fácilmente el agua que está retenida más débilmente. Las velocidades de desecación disminuyen a medida que decrece el contenido en humedad y que el agua que queda esté unida más y más fuertemente a medida que su cantidad disminuye.

En muchos casos la mayor parte del agua está retenida débilmente, pudiéndosele considerar para fines de desecación como agua libre en la superficie. De esta forma se pueden comparar las velocidades de

deseccación de una sustancia como la arena con las velocidades de un alimento. (Earle, 1979)

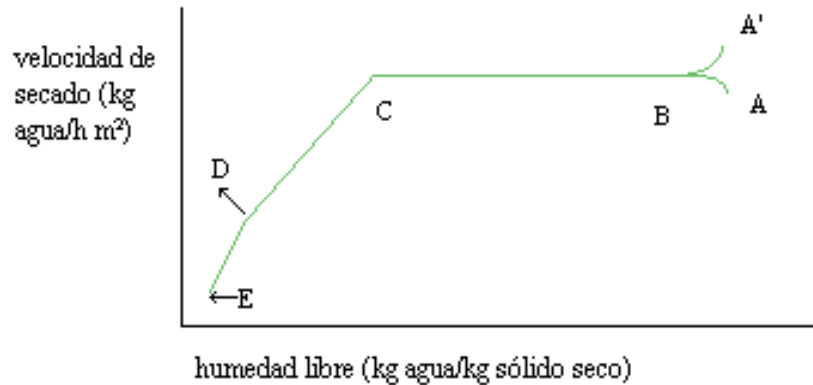


Figura 2. Curva de secado (www.uam.es)

- A → inicio de secado para un alimento frío
- A' → inicio de secado para un alimento caliente
- B → temperatura de equilibrio en la superficie del alimento.
- B – C → periodo de velocidad constante de secado
- C – E → periodo de velocidad decreciente

Las técnicas de deshidratación se pueden clasificar de acuerdo con el principal mecanismo de suministro de calor:

Por convección: Atomización lecho fluidizado, tambor rotatorio, neumático y aire caliente.

Por conducción: Rodillos, a vacío, banda.

Por irradiación: A vacío, liofilización.

4.4. EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN SOBRE LOS ALIMENTOS

4.4.1. TEXTURA:

La principal causa de alteración de la calidad de los alimentos deshidratados por estos sistemas reside en las modificaciones que éstos provocan en su textura. En los alimentos adecuadamente escaldados las pérdidas de texturas están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido en agua durante la deshidratación. (Fellows, 1994)

4.4.2. BOUQUET Y AROMA:

El calor no solo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. La intensidad con la que ésta pérdida se produce depende de las temperaturas y de las concentraciones de sólidos en el alimento, así como en la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua. (Fellows, 1994)

4.4.3. COLOR:

La deshidratación cambia las características de la superficie de los alimentos y por tanto su color y reflectancia. Los cambios químicos experimentados por los pigmentos derivados, el caroteno y la clorofila, están producidos por el calor y la oxidación que tienen lugar durante la deshidratación. Por lo general, cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos. (Fellows, 1994)

4.4.4. VALOR NUTRITIVO:

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación de frutas y verduras son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. (Fellows, 1994)

4.5. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Se define como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno (ecuación 1) y también se define el pOH, que mide la concentración de iones OH, (ecuación 2). Esto es:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+] \quad (1)$$

$$\text{pOH} = \log [\text{OH}^-] \quad (2)$$

El pH típicamente va de 0 a 14, siendo los pH menores que 7, ácidos; y los mayores, básicos. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución.

4.6. SÓLIDOS SOLUBLES (°Brix)

Los grados Brix equivalen al contenido de azúcar y otros sólidos solubles en total contenidos en un líquido de cualquier viscosidad, la lectura oscura en un refractómetro está expresando el porcentaje de sólidos solubles y por encima la lectura incolora es agua hasta completar el 100 %.

La forma o sistema más adecuado de medir el contenido de azúcar y sólidos solubles en frutas, vegetales y alimentos procesados es el sistema refractométrico escala Brix.

Basado éste sistema en los grados de inclinación de un haz de luz cuando atraviesa un líquido, ésta inclinación ya se manifiesta cuando el agua es pura, pero, es mayor cuanto más azúcar y sólidos solubles contiene y viceversa menor inclinación con menor contenido de azúcar y sólidos solubles.

La razón de que frecuentemente se repite el término “azúcar y sólidos solubles” se debe a que el sistema refractométrico no solo mide el contenido de azúcar en un líquido, sino que también suma en su lectura de azúcar a todos o casi todos los restantes componentes solubles en agua, o sea que todos aquellos elementos que se disuelven en agua como por ejemplo; aminoácidos, fructuosa, proteínas, sacarosa, vitaminas, etc. Todos o casi todos forman parte de la lectura refractométrica, sumándose al contenido de azúcar, formando así una cifra de lectura única. (Claus L. Scheitler)

4.7. ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

El potencial químico de un determinado componente en un sistema mide la "tendencia a escapar" que presentan las moléculas de dicho componente. Si consideramos un sistema formado por agua como disolvente, cuanto mayor sea la presencia de solutos en el medio, más retenida estará el agua por ellos y menor será su potencial químico. Si el sistema se encuentra en equilibrio, la medida del potencial químico permite conocer la actividad de agua según, la ecuación (3)

$$\mu = \mu^0 + nRT \text{Ln}a_w \quad (3)$$

siendo n, número de moles, R la constante de los gases perfectos, T la temperatura μ^0 el potencial químico del disolvente puro en el estado de referencia.

Por tanto, la actividad del agua se ve influenciada por la presencia de solutos en el medio, tanto por el tipo como por la cantidad. (Chiralt, et al., 1998).

Para medir la actividad del agua existen una gran variedad de técnicas basadas en la medida directa de la presión de vapor, de la humedad relativa, de alguna propiedad coligativa o bien, puede ser determinada a partir de la isoterma del producto si se conoce su humedad. También existen otros métodos mucho menos precisos como el método de papel de filtro impregnado en sales o la prueba de licuefacción de sales cristalizadas, donde la muestra se equilibra con un material de referencia de actividad de agua conocida. (Chiralt, et al., 1998).

En ésta investigación se utiliza un sistema Pawkit de Actividad de Agua (Pawkit Water Activity Meter) el cual usa un sensor dieléctrico de humedad, que mide la aw de la muestra. En un instrumento que usa ésta técnica, un polímero poroso especial es situado entre dos electrodos porosos en la cabecera de la cámara sellada. Las propiedades eléctricas del polímero cambian dependiendo de la humedad relativa de la cámara. Los electrodos dan una señal basada en la humedad relativa de la cámara cerrada. Ésta señal es luego trasladada por el software y visualizada como aw sobre la pantalla del instrumento. Al equilibrio, la humedad relativa de aire en la cámara es la misma a la aw de la muestra.

4.8. ÁCIDOS ORGÁNICOS NO VOLÁTILES

La eficacia de un ácido orgánico en un alimento se halla afectada de una forma especial por la actividad de agua, el pH, el potencial redox, la disponibilidad de sustrato y el contenido graso. De igual importancia para la selección de un determinado ácido orgánico es la microflora que se pretende inhibir o destruir, y tiene importancia el número de microorganismos, el tipo, la resistencia relativa del microorganismo normalmente presente, así como su habilidad para crecer en las

condiciones normales de uso y almacenamiento. Muchos de ellos constituyen metabolitos intermediarios y productos finales del metabolismo microbiano.

Por su solubilidad, sabor y baja toxicidad los ácidos orgánicos de cadena corta, como el acético, benzoico, cítrico, propiónico, y sórbico son muy utilizados como conservadores o acidificantes. Al considerar la posible utilización como conservadores de otros ácidos orgánicos conviene recordar que la actividad antimicrobiana de estos compuestos suele ser superior a medida que se alarga la longitud de su cadena molecular. Sin embargo, los ácidos alifáticos de más de diez u once átomos de carbono poseen muy poca aplicación potencial debido a su muy baja solubilidad en agua.

El ácido cítrico tiene, por lo general, solamente una actividad antimicrobiana moderada y excepto a bajos valores de pH, no resulta eficaz como inhibidor. Sin embargo, una concentración de ácido cítrico no disociado de 0.001% inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus* en condiciones anaeróbicas. (Tapia M.; Fito P., 2000).

4.9. AZÚCARES

Los carbohidratos son los compuestos más abundantes en la naturaleza. Casi todas las plantas y animales sintetizan carbohidratos y los emplean para almacenar energía y suministrarla a sus células. En la mayor parte de los organismos vivos la glucosa se oxida a dióxido de carbono y agua

para suministrar la energía que necesitan sus células. Los monosacáridos o azúcares simples entre ellos la glucosa (Polihidroxialdehído) y la fructosa (Polihidroxicetona) son carbohidratos que no se pueden hidrolizar a compuestos más sencillos; por el contrario la sacarosa (Azúcar común) es un disacárido que se hidroliza fácilmente formando una molécula de glucosa y una de fructosa. (Wade, 2003)

4.10. CONTENIDO DE PROTEÍNAS

Las proteínas son componentes intrínsecos de la mayoría de los alimentos y también se agregan en forma pura durante el procesamiento para llevar a cabo algunas funciones deseables. Desde la perspectiva de los alimentos, las propiedades funcionales de las proteínas son aquellas que influyen en la calidad y el atractivo del alimento.

Estas propiedades están determinadas por las estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas y varían considerablemente entre ellas. El calentamiento, los cambios de pH, el batido, el secado entre otros pueden alterar las propiedades funcionales de las proteínas.

Una propiedad clave de las proteínas es la solubilidad, ya que muchas de sus funciones dependen de la solubilidad. La proteína debe estar en solución para formar geles. La solubilidad de la proteína es afectada por el pH, la fuerza iónica, los cationes divalentes, la temperatura y la composición de aminoácidos de la proteína.

Las proteínas son moléculas grandes que tienen una fuerte tendencia a interactuar con otras moléculas de proteínas, iones metálicos, agua, lípidos y carbohidratos, así las proteínas tienen efectos marcados y algunas veces impredecibles sobre los alimentos. (Bradford, 1976)

4.11. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Durante el periodo de maduración de las frutas ocurre un importante aumento del metabolismo; esta mayor actividad metabólica va acompañada de un incremento en la síntesis de proteínas y en la actividad de algunas enzimas, como es el caso de la Peroxidasa (POD) y la polifenoloxidasa (PPO). Estas enzimas están implicadas en los procesos que conducen al desarrollo de las características organolépticas que determinan la calidad de las frutas. (Hernández., et al., 1997).

Las enzimas tienen la capacidad de acelerar la velocidad de las reacciones gracias a las cargas y geometría de las superficies de las cadenas plegadas de aminoácidos. Un sustrato se combina con una enzima en un sitio específico de la molécula proteica dadas las características eléctricas, químicas y geométricas del sitio mismo. La porción de la enzima que se combina con el sustrato recibe el nombre sitio activo. (Jensen, et al., 1994).

La enzima peroxidasa (POD) es una oxidasa que presenta gran actividad en los tejidos vegetales. Interviene en la síntesis del etileno y, por lo tanto, en los procesos de maduración y envejecimiento de los tejidos. Esta implicada en la degradación de la clorofila, que es un proceso

característico de los fenómenos de maduración; así mismo participa en el control de la actividad respiratoria en la madurez y senescencia. Además, provoca el desarrollo de aromas extraños durante el almacenamiento, cambios de color y pérdidas de ácido ascórbico (Hernández., et al., 1997).

La enzima polifenoloxidasa (PPO) es también una oxidasa que participa en la cadena respiratoria, pero su papel más importante está en resistencia de los tejidos vegetales a los ataques microbianos, infección viral y a las temperaturas adversas. Debido a la acción oxidativa de PPO sobre diferentes sustratos, se originan quinonas que, a su vez, forman unos polímeros insolubles, secundarios a la reacción enzimática, que impregnan los tejidos y actúan como barrera en las vías de difusión de la infección. Su actividad también está directamente relacionada con el pardeamiento enzimático. (Hernández., et al., 1997).

Para la determinación de la actividad enzimática PPO y POD se utiliza un espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos (Pinzón, 2000). Un arreglo de diodos consiste de una serie de detectores de fotodiodo posicionados uno al lado del otro sobre un cristal de silicón. Cada uno de los diodos tiene un condensador dedicado y se conecta vía un interruptor de estado sólido a una línea común de salida. Los interruptores están controlados por un registrador de desplazamiento espectral. Inicialmente, los condensadores están cargados a un nivel específico. Cuando los fotones penetran la silicón, se generan portadores de cargas eléctricas libres, que descargan los condensadores. Los condensadores se recargan a intervalos regulares que representan el periodo de la medida durante cada ciclo examinado. La cantidad de carga necesaria para recargar los

condensadores representa el número de fotones detectados por cada diodo, la cual es proporcional a la intensidad de la luz. Midiendo la variación de la intensidad de la luz en el rango completo de longitud de onda, se obtiene el espectro de absorción. (Owen, 1988).

4.12. PERFIL AROMÁTICO

Para la obtención de los constituyentes volátiles responsables del aroma se emplea la técnica de Destilación-Extracción Simultánea (D.E.S.). Esta técnica permite la utilización de dos procesos, la destilación y la extracción con solvente orgánico simultáneamente; ofrece también extracciones cuantitativas de los compuestos de interés en un proceso simple, al igual que ayuda a extraer el aroma secundario de las frutas, que es aquel que se forma durante el consumo o procesamiento de las mismas. La separación de los componentes volátiles de dicha fracción se realizara por cromatografía de gases. La identificación de dichos componentes se lleva a cabo por comparación de sus tiempos de retención con los de sustancias patrones cromatografiadas en idénticas condiciones. Para corroborar y ampliar esa identificación se podrá utilizar la espectrometría de masas.

4.13. HUMEDAD

Existen diversos métodos y condiciones de procesado de los alimentos, pero a pesar de cualquier modificación, estos contienen agua en sus tejidos. Esta agua existe en dos condiciones: agua libre y agua ligada. El agua ligada permanece en los alimentos como agua de cristalización, en los hidratos, proteínas, polisacáridos y partículas coloidales. A su vez el

agua libre es de fácil eliminación por los métodos usados para el cálculo del contenido de agua.

Para este fin es comúnmente usado el método de la balanza de humedad, el cual consiste en determinar el porcentaje de humedad, utilizando una fuente de rayos infrarrojos para el secado de la muestra a una temperatura previamente establecida hasta que la fruta haya perdido el agua libre de su interior. (Hart F. L., et al., 1991).

4.14. DENSIDAD APARENTE

La densidad de una sustancia es la relación cuantitativa entre la masa de ésta y el volumen que ocupa, sus unidades se expresan generalmente en gramos por mililitro. En tecnología de alimentos se aplica en sistemas sólidos, líquidos y gaseosos.

Los alimentos sólidos en un recipiente ocupan un volumen total por una proporción de aire; en la porosidad del material está contenida una cierta fracción de éste; es decir la relación entre el volumen de aire y el total. La porosidad está determinada por la geometría y tamaño, por lo que una eventual compactación modifica el volumen y porosidad hasta alcanzar un equilibrio. A esto se le conoce como densidad aparente, que depende de la densidad de sus componentes, geometría, tamaño, propiedades de superficie y del método de medida. La densidad aparente se determina colocando un peso conocido de material dentro de un recipiente cilíndrico, para determinar el volumen global. Esta propiedad tiene importancia en

frutas, hortalizas, diversos cereales, en la industria láctea y en harinas como café y cacao. (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, 1998)

El volumen aparente es la relación entre el volumen del aire y el total, que depende de la porosidad del fruto, geometría, tamaño, propiedades de superficie y método de medida (Asociación Nacional de Universitarios e Instituciones de Educación Superior, 1998).

4.15. CROMATOGRAFÍA

La cromatografía agrupa un conjunto importante y diverso de métodos, que permite a los científicos separar componentes estrechamente relacionados en mezclas complejas, lo que en muchas ocasiones resulta imposible por otros medios. En todas las separaciones cromatográficas, la muestra se disuelve en una fase móvil, que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico. Esta fase móvil se hace pasar a través de una fase estacionaria inmisible, la cual se mantiene fija en una columna o sobre una superficie sólida. Las dos fases se eligen de tal forma, que los componentes de la muestra se distribuyen de modo distinto entre la fase móvil y la fase estacionaria. Aquellos componentes que son retenidos con fuerza por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil; por el contrario, los componentes que se unen débilmente a la fase estacionaria, se mueven con rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas discriminadas que pueden analizarse cualitativamente. (Skoog, 1994)

4.15.1. CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA (HPLC)

La Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) es el método en el cual se usan columnas de diámetro muy reducido, por ejemplo 2 mm, rellenas de materiales especiales pulverulentos, cuyas partículas tienen un tamaño no mayor de 30-40 μm y con frecuencia hasta de 5 ó 10 μm , generalmente con una distribución de tamaños no mayor de $\pm 2 \mu\text{m}$. Este tipo de columna es muy eficaz, pero ofrece una gran resistencia al flujo de la fase móvil, o sea una gran caída de presión. Por esta razón es necesario emplear sistemas de bombeo de alta presión (hasta 400 atm*) que hagan fluir la fase móvil a una velocidad razonable a través de la columna. La cantidad de fase estacionaria dentro de la columna es pequeña, por lo que se requiere que la muestra también sea pequeña, entre 1 y 10 mg. (McNair, et al., 1980). Figura (3)

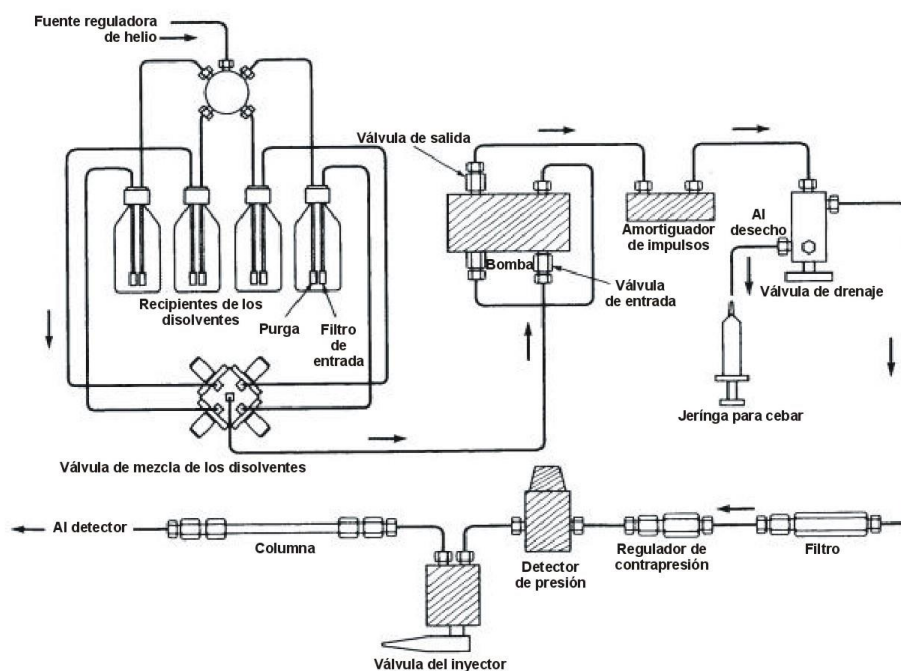


Figura 3: Esquema de un aparato de HPLC (Skoog, et al., 2001).

Si la presión de entrada a la columna no es muy elevada (100 atm o menos), la muestra se introduce en la cámara de inyección mediante una jeringa de alta presión; a presiones más elevadas, se utilizan las válvulas de inyección. Un detector, colocado a la salida de la columna, proporciona un registro continuo de la composición del líquido que sale, lo que permite obtener un cromatograma similar a los obtenidos en cromatografía de gases y que se utiliza para identificar y cuantificar los componentes de la muestra.

Otra ventaja de este método es el escaso deterioro de la columna a pesar de su repetido uso, si bien en algunos casos es necesario regenerarla. Las múltiples ventajas de la cromatografía líquida de alta presión hacen de esta técnica analítica una de las más populares. (McNair, et al., 1980)

4.16. ANÁLISIS SENSORIAL

El control de calidad de los alimentos debe incluir además de determinaciones físico-químicas la evaluación sensorial ya que ésta última determina la aceptación por parte del consumidor y en consecuencia la compra del producto. El primer tipo de análisis da información sobre una propiedad de producto en tanto que el sensorial da una información integral y rápida sobre la calidad del mismo (Mahecha L. G., 1985).