

DESHIDRATACIÓN DE TOMATE CHONTO

GLORIA INÉS GIRALDO GÓMEZ

**Trabajo final presentado como requisito parcial
para optar al Título de Especialista en Ciencia y
Tecnología de Alimentos**

**Director: JULIO E. OSPINA
Ing. Agrícola, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
PROGRAMA INTERFACULTADES
MANIZALES, AGOSTO DE 1996.**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 ASPECTOS AGRONÓMICOS DEL TOMATE:.....	4
2.2 DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS.....	6
2.2.1 <i>El agua en los alimentos</i>	7
2.2.2 <i>Actividad del agua</i>	7
2.2.3 <i>Influencia de la actividad del agua sobre las reacciones químicas</i>	8
2.2.3.1 <i>Pardeamiento no enzimático</i>	8
2.2.3.2 <i>Oxidación de lípidos:</i>	8
2.2.3.3 <i>Influencia de la actividad del agua sobre la estabilidad de los pigmentos:</i>	9
2.2.3.4 <i>Degradación de las vitaminas</i>	9
2.2.3.5 <i>La actividad de agua y el crecimiento de microorganismos:</i>	10
2.2.4 <i>Isotermas de sorción</i>	10
2.2.5 <i>La deshidratación y el deterioro de los alimentos</i>	12
2.2.6 <i>Rehidratabilidad de los productos deshidratados:</i>	13
2.3 SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN Y EQUIPOS	13
2.3.1 <i>Deshidratación con aire caliente</i>	13
2.3.1.1 <i>Curvas de secado</i>	14
2.3.2 <i>Tipos de secadores de aire caliente</i>	16
2.3.2.1 <i>Secador de gabinetes:</i>	16
2.3.2.2 <i>Secador de túnel</i>	17
2.3.2.3 <i>Secador rotatorio</i>	18
2.3.2.4 <i>Secador en spray</i>	19
2.3.2.5 <i>Secador de lecho fluidizado</i>	19
2.3.3 <i>Secado por contacto con una superficie caliente</i>	20
2.3.3.1 <i>Deshidratación por rodillos</i>	20
2.3.3.2 <i>Equipo</i>	20
2.3.3.3 <i>Clasificación de los secadores de rodillos</i>	21
2.3.3.4 <i>Ventajas</i>	22
2.3.3.5 <i>Desventajas</i>	22
2.3.3.6 <i>Aplicación de los secadores de tambores en la industria de alimentos</i>	22
2.3.3.7 <i>Principios generales de la deshidratación con rodillos:</i>	22
2.3.3.8 <i>Etapas del proceso</i>	23
2.3.4 <i>Liofilización</i>	24
2.3.4.1 <i>Equipo</i>	25

2.3.4 Liofilización.....	24
2.3.4.1 Equipo.....	25
2.4 DESHIDRATACIÓN DE TOMATES.....	26
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	28
3.1 LOCALIZACIÓN.....	28
3.2 MATERIA PRIMA.....	28
3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	29
3.4 MÉTODOS.....	30
3.4.1 Ensayos preliminares.....	30
3.4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	30
3.4.3 Análisis Físicoquímicos.....	34
3.4.4 Determinaciones microbiológicas.....	35
3.4.5 Diseño experimental.....	35
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.1 RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	37
4.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO.....	38
4.3 DEL PROCESO.....	38
4.3.1 Resultados de los diferentes procesos.....	38
4.3.2 Grado de madurez.....	39
4.3.3 Balance de materia para el proceso de secado utilizando una velocidad de 1 r.p.m.....	40
4.3.4 Balance de materia de la pulpa.....	41
4.3.5 Balance de energía en el secador.....	42
4.3.6 Velocidad de evaporación.....	46
4.4 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS.....	47
4.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	48
4.5.1 Análisis microbiológicos.....	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Rata de oxidación de lípidos, influenciada por la A_w en los alimentos	9
Figura 2. Representación esquemática de la curva de sorción de humedad	10
Figura 3. Curva de sorción de la remolacha deshidratada.	12
Figura 4. Curva de sorción del arroz deshidratado	12
Figura 5. Curvas típicas de velocidad de secado para condiciones de secado constante	14
Figura. 6. Tipos de secadores de tambores. (a) Tambores gemelos, (b) doble tambor, (c) tambor simple	21
Figura 7. Secador de rodillos	30
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso	33
Figura 9. Carta de colores	35
Figura 10. Diagrama del balance de materia de la pulpa	41
Figura 11. Flujo de calor a través de capas cilíndricas múltiples en serie	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición media del tomate chonto	5
Tabla 2. Características fisicoquímicas de tomate chonto	5
Tabla 3. Características de la materia prima	29
Tabla 4. Escala de colores	34
Tabla 5. Tiempo de contacto teórico y real en segundos	38
Tabla 6. Características Fisicoquímicas según el grado de madurez	39
Tabla 7. Balance de materia del proceso	40
Tabla 8. Rendimiento teórico y real del proceso	41
Tabla 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos	48
Tabla 10. Resultados de los análisis microbiológicos	50

RESUMEN

Se estudió la obtención de tomate deshidratado, utilizando un proceso de deshidratación por contacto con una superficie caliente.

Se trabajó con un secador de rodillos de tambores gemelos de 20 cm de diámetro y 50 cm de longitud, con una temperatura externa en la superficie de contacto de 155°C.

En el proceso de obtención se varió la velocidad de rotación del equipo con una temperatura constante, lo que representa una variación del tiempo de contacto del producto con el área de calentamiento

En los productos inicial y final, se determinaron las características fisicoquímicas, estableciendo una comparación, para estudiar las alteraciones por efecto del calor.

Los resultados de los análisis de los productos finales, se evaluaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de una vía para estudiar la influencia del tiempo de contacto en las propiedades fisicoquímicas.

Los resultados mostraron que por efecto del tratamiento térmico se presentan modificaciones químicas y organolépticas del tomate, como deterioro del color, pérdida de vitaminas, etc.

El tiempo de contacto del material con la superficie caliente, influye sobre todo en el contenido de humedad del producto final.

1. INTRODUCCIÓN

Muchas hortalizas son cultivos estacionales, abundan en determinados períodos del año, y no pueden obtenerse con facilidad en otras épocas; entonces, resulta necesario recurrir a técnicas de conservación que comprende diferentes tratamientos como:

Calor: escaldado, cocción, enlatado.

Reducción del contenido de humedad: Deshidratación, ósmosis, congelación.

Inhibición de enzimas.

Acidificación.

Con estos tratamientos se busca disminuir las pérdidas postcosecha, como consecuencia del deterioro de los productos.

A pesar de que las técnicas de deshidratación presentan grandes ventajas como la conservación, ahorro en costo de transporte; también puede presentar ciertos riesgos que alteran la calidad del producto por efecto del calor como la baja calidad nutritiva, alteraciones de las características fisicoquímicas y organolépticas del producto, como son la disminución de vitaminas, reacciones de pardeamiento, insolubilización más o menos marcada de las proteínas, disminución de compuestos aromáticos y un considerable consumo de energía.

Para el desarrollo del presente trabajo se establecieron los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Utilizar la técnica de deshidratación por contacto directo, con un n secador de rodillos giratorios para la obtención del tomate deshidratado.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar el grado de madurez apropiado del tomate para el proceso de secado.

Establecer el tiempo de secado óptimo que permita obtener un producto de buena calidad.

Estudiar las variaciones fisicoquímicas por efecto del tratamiento.

Comparar los costos del producto industrializado y el producto fresco.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS AGRONÓMICOS DEL TOMATE:

El tomate botánicamente se clasifica como *Lycopersicum Esculentum*, L este género pertenece a la familia de las solanáceas. Las variedades comerciales más conocidas son: Manalucie, manapal, chonto, milano, santa cruz. Según la variedad la cosecha se inicia entre los 65 y 100 días y puede durar de 80 a 90 días presentando la siguiente distribución: 25, 50 y 25% en el primer, segundo y tercer mes respectivamente. (Franco 1994)

El fruto de tomate requiere de 40 a 60 días desde la floración para alcanzar la madurez completa. Una vez cuajado el fruto se desarrolla rápidamente hasta su tamaño normal en cerca de la mitad del tiempo de su período de maduración; durante el tiempo restante transcurren una serie de procesos de desarrollo que constituyen su maduración. (Scientific American 1988).

El almidón se acumula en el fruto a partir de los azúcares elaborados previamente en él o en sus proximidades. A medida que va madurando la planta, la clorofila se degrada progresivamente, lo que ocasiona un blanqueamiento del fruto, que es un buen precursor de la madurez; a lo largo de la semana siguiente se desarrolla el color rojo. Durante la transición se destruye la clorofila que queda y se sintetizan los carotenoides (sobre todo el licopeno rojo), decrece la acidez, el almidón se convierte en azúcares, se elaboran aceites esenciales y otros componentes de la aroma, los tejidos se reblandecen; también en este tiempo aumenta drásticamente la tasa de respiración para luego declinar, el etileno sintetizado por el fruto induce una combustión subida de la respiración. (Scientific American 1988).

Los azúcares constituyen el 50 -70% de los sólidos totales y casi la totalidad de los sólidos solubles, los monosacáridos glucosa y fructuosa son lo más importantes. (Primo, 1979, 138).

Los componentes volátiles responsables del aroma son básicamente compuestos carbonilos, alcoholes de 3-6 átomos de carbono, hidrocarburos y alcoholes de cadena larga. (156)

En las tablas 1 y 2 se especifican la composición media y las características fisicoquímicas del tomate choto.

Tabla 1 Composición media del tomate chonto

Componente	Porcentaje	Minerales	mg/100 gr.
Cáscara	9.7	Fósforo	20.6
Pulpa	68.4	Sodio	6.3
Semilla	4.7	Potasio	171.5
Humedad	93.5	Hierro	2.8
Extracto etéreo	0.06	Cobre	6.14
Fibra	0.66		
Proteína bruta	0.65		
Azúcar total	5.4		
Azucares reductores	4.16		
Cenizas	0.31		

Fuente: Revista Colombiana de química, V 22 (1 y 2). 1992

Tabla 2 Características fisicoquímicas de tomate chonto

Parámetro	Grado de madurez		
	Verde	Pintón	Maduro
Acidez gr. ac acético/100 gr.	0.43	0.39	0.32
pH	4.24	4.25	4.45
Grados Brix	5.0	5.5	5.3
Vitamina C mg ac ascórbico/100 gr.	11.0	7.8	8.55
Dureza Kg./cm ²	14.2	11.6	6.7
Grado de madurez	10.9	14.0	16.8
Almidón gr./100 gr.	0.65	0.49	0.19

Fuente : Revista colombiana de química. V 22 (1 y 2). 1992

2.2 DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

Deshidratación: Es la operación por medio de la cual la actividad del agua de los alimentos es disminuida por remoción de casi toda el agua que normalmente esta presente, a través de vaporización o sublimación. (Fenema 1975, 309)

La deshidratación de alimentos determina una reducción del peso y normalmente también del volumen por unidad de valor alimenticio e incrementa la vida útil de los productos deshidratados en comparación con los correspondientes al alimento fresco.(Brenman, 1980, 319).

Los alimentos son sistemas complejos, compuestos de: proteínas, grasas, carbohidratos vitaminas, enzimas, sales inorgánicas y el agua se encuentra integrada a todos estos constituyentes

El agua presente en los alimentos no se encuentra en estado puro, sino en forma de solución con los sólidos solubles.

Debido a que el agua forma parte de este complejo sistema, la deshidratación de alimentos presenta las siguientes características:

Movimiento de solutos: durante la deshidratación se produce movimiento de los sólidos en el agua y parte de estos se pueden depositar durante la evaporación.

Retracción: Por efecto de la deshidratación los tejidos animales y vegetales presentan cierto grado de retracción. La intensidad de este depende de varios factores como:

La fase del proceso de deshidratación: El proceso de deshidratación se desarrolla en varias fases y durante la primera etapa se presenta una mayor eliminación del agua y una retracción mayor. En la fase final la retracción es menor alcanzando el producto la forma definitiva antes de terminar la deshidratación.

La retracción también está influenciada por la velocidad de la deshidratación, si las velocidades de deshidratación son bajas el producto presenta mayor retracción y es más denso.

A su vez este fenómeno influye en la velocidad de deshidratación debido a que presenta cambios en área superficial creando gradientes de presión en el interior del producto.

3. Endurecimiento superficial: durante la deshidratación de frutas, carnes y pescados, se forma una capa impermeable y dura, la cual ocasiona una disminución en la velocidad de deshidratación.

La formación de esta capa está determinada por factores como la migración de sólidos solubles en la superficie y las elevadas temperaturas que se alcanzan en la superficie al

final de la deshidratación, lo que da lugar a cambios fisicoquímicos en la capa externa del producto. (328)

2.2.1 El agua en los alimentos

El agua cumple una multiplicidad de funciones en los alimentos:

Actúa como nutriente esencial a la vez que cumple una función decisiva en la configuración de las características organolépticas y las propiedades fisicoquímicas de los materiales alimenticios (textura, elasticidad, y demás propiedades reológicas).

El agua se encuentra en los alimentos bajo diferentes formas, de acuerdo con su grado de asociación y relación con la estructura física y naturaleza química de los tejidos.

Se conoce cuatro formas de agua asociadas a los productos alimenticios:

Agua capilar: Es el agua retenida en la finísima red de los espacios capilares extracelulares que se encuentra dentro de los tejidos vegetales y animales. Presenta una presión de vapor marginalmente más baja que la del agua libre a la misma temperatura.

Agua de solución: La constituye fundamentalmente el agua del fluido intracelular de los tejidos vegetales y animales, así como el agua de los productos fluidos. Posee pequeñas moléculas de solutos solubles en ella, como azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas y pigmentos. Su presión de vapor es inferior a la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

Agua adsorbida: Agua retenida sobre los sitios hidrófilos por medio de puentes de hidrógeno. Su presión de vapor tendrá que ser menor que la del agua pura.

Agua de composición: Es el agua combinada mediante unión química específica con las sustancias constitutivas de los tejidos de los alimentos (Vargas, 1985,10).

Dependiendo del producto se presentan diversas interacciones. Es posible identificar en un mismo sistema dos fracciones principales de agua: una definida como libre aunque también puede estar más o menos definida por la estructura que la engloba (gel, tejido celular) y una segunda denominada agua ligada porque es fijada por los componentes del sistema mediante uniones (Camacho 1989,6)

2.2.2 Actividad del agua

Uno de los parámetros más importantes en la deshidratación de alimentos es la condición de equilibrio, que establece un límite al proceso.

La actividad del agua (a_w), puede definirse como la relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura

Es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a que están sujetas. (Vargas 11)

2.2.3 Influencia de la actividad del agua sobre las reacciones químicas

Según Rockland y Beuchat 1987, el agua ejerce influencia sobre las reacciones química en los alimentos de diferentes maneras:

Actúa como reactivo: Ej. en la hidrólisis de la sacarosa.

Actúa como solvente disminuyendo la velocidad de las reacciones.

Cambia la movilidad de los reactivos por efecto de la viscosidad.

Puede formar puentes de hidrógeno o complejos con los reactantes.

Por esto la actividad del agua ejerce gran importancia en el deterioro de los alimentos, estas son algunas reacciones :

2.2.3.1 Pardeamiento no enzimático

El agua puede acelerar el pardeamiento porque imparte movilidad a los sustratos. De otro lado un incremento del contenido del agua puede disminuir la rata de pardeamiento por dilución de las especies reactivas. El factor de movilidad predomina en un rango de A_w bajo, mientras que a altos valores de A_w impera el factor de dilución. (28)

2.2.3.2 Oxidación de lípidos:

La oxidación de lípidos disminuye con el incremento de la A_w . El efecto antioxidante del agua a bajas actividades ha sido atribuido a la formación de hidroperóxidos. Al aumentar la A_w por encima de 0,5 se incrementa la rata de oxidación debido al incremento de la movilidad de los reactantes. En la figura 1 se observan las variaciones de la rata de oxidación de los lípidos influenciados por la A_w .(36)

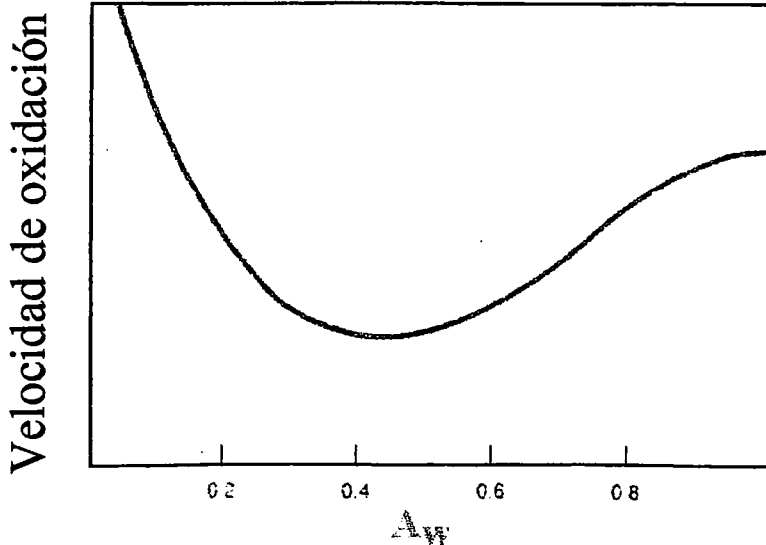


Fig 1. Rata de oxidación de lípidos, influenciada por la A_w en los alimentos

2.2.3.3 Influencia de la actividad del agua sobre la estabilidad de los pigmentos:

La estabilidad de los pigmentos en los alimentos depende de: La clase de pigmento, la presencia o ausencia de oxígeno, metales pesados, A_w , pH y temperatura.

Los carotenoides son relativamente estables al calor en ausencia de oxígeno. Varios trabajos han reportado cambios en el contenido de carotenos durante el escaldado, cocción o esterilización. Está totalmente acordado que el cambio total de carotenoides no cambia durante estas operaciones y el cambio de color que ocurre durante estos procesos puede ser atribuido a la isomerización de los trans carotenos que presenta una menor intensidad de color en la forma cis.

Analizando la estabilidad de los carotenoides como una función de la oxidación o la exposición al calor, se observa un efecto protector del agua y por lo tanto la A_w es un factor importante para determinar la estabilidad de los carotenoides en los alimentos.(56).

2.2.3.4 Degradación de las vitaminas

Se estudió el efecto de la actividad del agua sobre las vitaminas usando como modelo un alimento seco que contenía almidones, proteínas grasa y sales. Se estudio la degradación de las vitaminas A, B₁, B₂ y C a diferentes actividades de aguas y temperaturas, observándose un incremento de la velocidad de degradación al aumentar la temperatura y la A_w . (41)

2.2.3.5 La actividad de agua y el crecimiento de microorganismos:

El crecimiento de microorganismos está relacionada con la A_w asociada de otros factores tales como: pH, oxígeno, preservativos, temperatura. (137).

En el siguiente cuadro se dan los valores de A_w mínimos para el crecimiento de los diferentes microorganismos:

Microorganismos	A_w
Bacterias	0,91
Levaduras	0,88
Mohos	0,80
Bacterias halófilas	0,75
Mohos xerófilos	0,80
Levaduras osmófilas	0,60

(Camacho, 15)

2.2.4 Isotermas de sorción

Es la curva que indica, en el equilibrio y para una temperatura determinada la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la A_w de la atmósfera que lo rodea.(8).

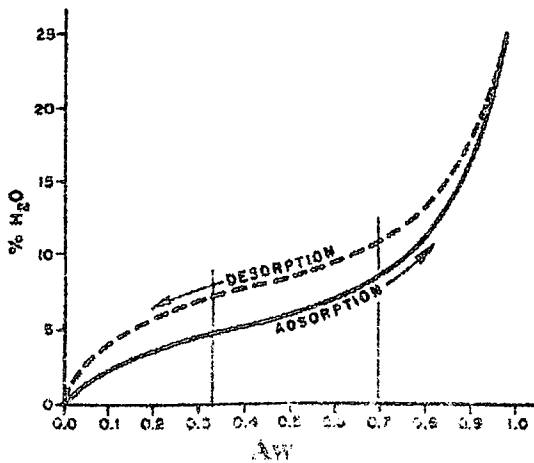


Fig 2. Representación esquemática de la curva de sorción de humedad

La isoterma de desorción generalmente se encuentra arriba de la isoterma de adsorción.

La forma de la curva generalmente depende del tipo de alimento, ej.: productos con alto contenido de azúcar y proteínas, la curva puede ser especialmente pronunciada en la región de bajo contenido de humedad (Rockland y Beuchat, 1975)

Según Mafart 1994, la actividad acuosa esta comprendida entre 0 y 1, es tanto más pequeña cuanto más intensas son las fuerzas de unión y por el contrario tiende a la unidad cuando el agua se acerca al estado libre.

A lo largo del proceso de deshidratación las moléculas de agua menos ligadas son inicialmente eliminadas y la última fracción corresponde a las moléculas de agua estructurales fuertemente unidas a macromoléculas orgánicas del extracto seco por uniones electrostáticas. (203)

La actividad de agua disminuye al mismo tiempo que el contenido de humedad .

Tradicionalmente la curva de sorción se ha dividido en tres zonas:

$0 < A_w < 0,2$: En esta zona existen fuerzas de Van der Waals muy intensas que impiden parcialmente que el movimiento molecular se manifieste un una presión de vapor saturante. El agua se encuentra en estado rígido (203).

$0,2 < A_w < 0,6$: Corresponde a la zona lineal de la curva. En esta zona intermedia el agua se encuentra en forma de capas polimoleculares que recubren parcialmente la superficie del sustrato seco. Existe un equilibrio entre las moléculas que contactan con la capa monomolecular y las que se alejan de ella gracias a la suficiente energía cinética. En esta zona el estado del agua se denominaseudolíquido.(203)

$A_w > 0,6$: En esta zona se halla la fracción de agua libre que se encuentra en estado líquido y que queda retenida en la superficie del sustrato seco únicamente por fuerzas de capilaridad. Esta agua es la que puede ser aprovechada por los microorganismos y producir reacciones enzimáticas, a esta agua también se le denomina agua biológica (203).

En las siguientes gráficas (Fig. 3 y 4) se observan las isotermas de sorción del la remolacha y el arroz deshidratado.

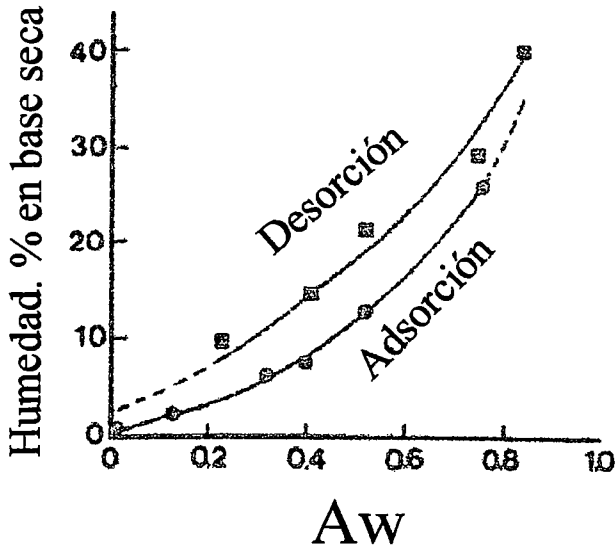


Fig 3 Curva de sorción de la remolacha deshidratada.

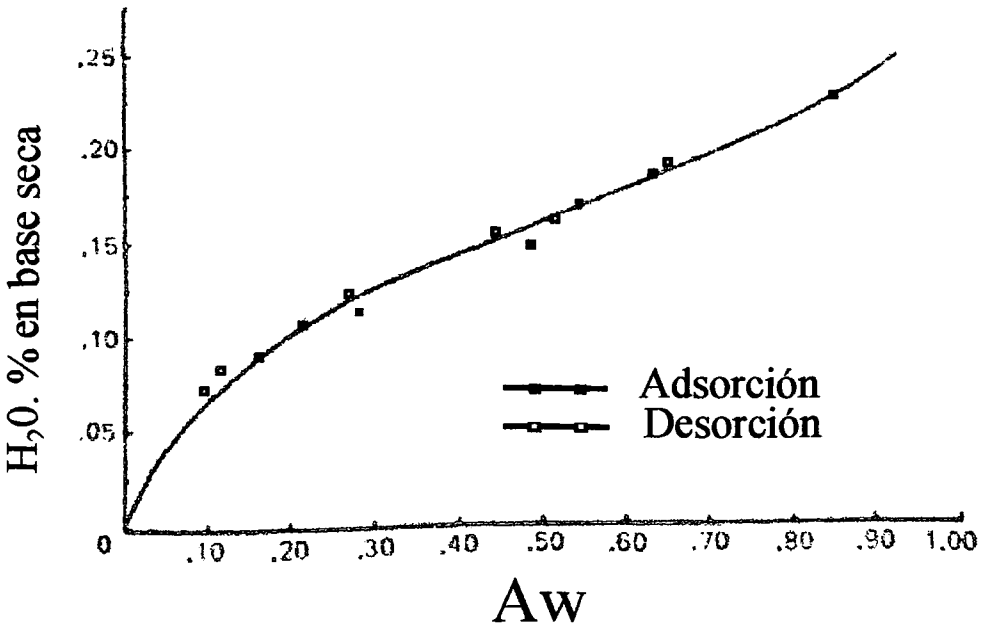


Fig 4. Curva de sorción del arroz deshidratado

2.2.5 La deshidratación y el deterioro de los alimentos

La eliminación del agua puede incidir sobre la calidad de los productos, debido a que se pueden desmejorar las características nutritivas y organolépticas de los productos.

Como todo tratamiento térmico el secado puede provocar pérdidas de vitaminas, reacciones de pardeamiento, insolubilización más o menos marcada de las proteínas. El problema más crítico que está unido a la deshidratación se presenta por pérdidas de las características organolépticas de los alimentos debido a la pérdida de compuestos aromáticos por efecto del calor. (Mafart 196)

2.2.6 Rehidratabilidad de los productos deshidratados:

La rehidratabilidad o reconstitución, referida a los alimentos deshidratados es el término que se usa para indicar la velocidad y el grado en que los alimentos deshidratados captan y absorben agua para readquirir un estado parecido al del producto original cuando se pone en contacto con un exceso de agua. (Brenman y otros, 361)

2.3 SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN Y EQUIPOS

La selección de la técnica para la deshidratación depende del tipo de alimento y los costos del proceso.

Se tienen las siguientes técnicas de deshidratación:

- Deshidratación con aire caliente
- Deshidratación por contacto con una superficie caliente
- Deshidratación por aplicación de energía de una fuente radiante de microondas dieléctricas.
- Liofilización.

2.3.1 Deshidratación con aire caliente

En este proceso se presenta una transferencia de calor por convección y un contacto directo de la sustancia con el aire caliente en el cual tiene lugar la evaporación (Manual del Ingeniero Químico, 1986.).

Para que el proceso de secado se realice de forma eficiente se requiere establecer las condiciones básicas del proceso como son: Temperatura, humedad relativa del aire de secado, flujo de aire y tamaño y forma del producto. (Dominguez, 1989, 3)

Temperatura del aire de secado: Constituye un parámetro básico en el proceso de deshidratación con aire caliente. El incremento de la temperatura aumenta la difusividad del agua, dentro del producto, acelerando de esta forma el proceso. Pero no se debe tener un excesivo incremento de la temperatura, porque esto provoca

deterioro de la calidad del producto debido a que se pueden presentar reacciones de pardeamiento, formación de costra superficial, gelatinización de los productos que presentan alto contenido de almidones, pérdida de compuestos volátiles. La temperatura depende de las características de cada producto (3)

Flujo de aire: El tiempo de secado depende de la cantidad de aire que pase a través del producto. Por esto una vez se establezcan las características sicrométricas del aire de secado, se debe establecer el flujo de aire. Lo mejor es establecer la cantidad de producto que se quiere secar por unidad de tiempo y dimensionar el flujo de aire que se requiere para tal fin.(6)

Tamaño y forma de los trozos: La rata de secado de un trozo delgado de producto húmedo es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la pieza, de acuerdo con la teoría clásica del secado. Esta relación está basada en el hecho de que se presenta una mayor resistencia para remoción de la humedad en las áreas internas que en las áreas externas. Como consecuencia de esto, se puede disminuir el tiempo de secado, si se tienen unos tamaños de partículas adecuados. (Copley y Arsdell, 1963,104)

2.3.1.1 Curvas de secado

Cuando un sólido se deseca experimentalmente, se pueden registrar datos que relacionen el contenido de humedad del producto en función del tiempo, como se observa en la figura 5 obteniéndose curvas que presentan las siguientes fases:

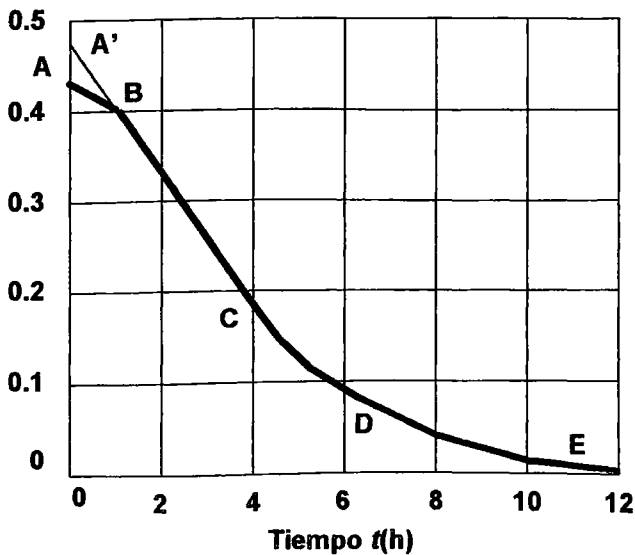


Fig 5. Curvas típicas de velocidad de secado para condiciones de secado constante

Fase A-B: Denominada fase o período de estabilización, durante la cual las

condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado.(Brenman, 220).

Fase B-C: Período de velocidad constante, durante esta fase la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad de evaporación en la superficie. La deshidratación tiene lugar por movimiento del vapor de agua desde la superficie saturada a través de una capa delgada de aire estático, hasta la corriente principal de aire de deshidratación. La velocidad de secado depende fundamentalmente de los factores que determina la transferencia de calor y masa.(220)

La velocidad de deshidratación expresada en términos de la velocidad del cambio en el contenido de humedad W (en base al peso seco) se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{h_c}{\rho_s L d} (\theta_a - \theta_s)$$

- $\partial w/\partial t$: Velocidad de deshidratación
- h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección
- ρ_s : Densidad global del producto seco.
- d : Espesor del lecho.
- θ_a : Temperatura de bulbo seco
- θ_s : Temperatura de bulbo húmedo

Integrando la anterior ecuación se tiene:

$$t_c = \frac{(W_o - W_c) \rho L d}{h_c (\theta_a - \theta_s)}$$

- t_c : Tiempo de secado a velocidad constante
- W_o : Contenido de humedad inicial
- W_c : Contenido de humedad al término del período constante.

$$h_c = \frac{aG^n}{D_c^m}$$

G: Velocidad másica del aire

D_c : Características dimensionales del sistema

a , n y m : constantes empíricas

Fase C-D: Período de velocidad decreciente. El contenido de humedad en el punto C, se denomina contenido crítico de humedad (W_c). A partir del punto C, la temperatura de la superficie comienza a elevarse, situación que persiste durante la deshidratación, hasta aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire cuando el producto se ha deshidratado totalmente. (323)

El período de velocidad decreciente se calcula según la siguiente ecuación:

$$t = \rho L d \frac{(W_c - W_e)}{h_c (\theta_a - \theta_s)} \ln \frac{(W_c - W_e)}{(W - W_e)}$$

W : Contenido de humedad del producto al tiempo t

W_e : Contenido de humedad de equilibrio del producto

t : Tiempo

El tiempo total de secado es la suma de los dos periodos. (325)

2.3.2 Tipos de secadores de aire caliente

2.3.2.1 Secador de gabinetes:

Es el sistema más difundido para la obtención de pequeñas y medianas capacidades de procesamiento. Dependiendo del tamaño de la producción se tienen dos configuraciones básicas, gabinetes con bandejas y gabinetes con carros. En ambos sistemas las bandejas conteniendo el material se soportan convenientemente y se exponen al aire caliente en un ambiente cerrado dándose comienzo a la deshidratación. El aire se distribuye y se orienta convenientemente para que fluya a velocidades relativamente altas a través del banco de bandejas, para asegurar que la transferencia de calor y de masa se lleven a cabo de una manera eficiente.

2.3.2.1.1 Ventajas

La inversión en equipos y costos de mantenimiento son comparativamente bajos.

Adecuado para productos en donde es necesario una difusión térmica en el producto regulada, con el fin de evitar formaciones de costras o películas impermeables en el período inicial.

Fácil limpieza del equipo.

Puede trabajar con una gran gama de productos.

2.3.2.1.2 Desventajas

Los costos de operación por unidad de productos, en comparación con unidades continuas son altos.

No hay uniformidad en la velocidad de deshidratación.

Es difícil lograr una distribución uniforme.(Basto, 1898,15).

2.3.2.2 Secador de túnel

Consiste en un túnel que puede tener hasta unos 24 m de longitud, con una sección transversal rectangular o cuadrada de uno 2 por 2 m. El producto húmedo se extiende en capas uniformes sobre bandejas . Las bandejas se apilan en carretillas o vagonetas dejando espacios entre las bandejas para que pase el aire de deshidratación. El aire caliente se introduce por un extremo del túnel y avanza a una velocidad establecida a través de las bandejas soportadas en carros. Los carros se desplazan dentro del túnel una velocidad que asegure un tiempo de resistencia preestablecido para lograr la remoción de humedad requerida.

Los secadores de túneles suelen clasificarse basándose en la dirección relativa del movimiento del producto y del aire. En uno se emplea el flujo concurrente, en este sistema el aire y los carros transportando el producto se desplazan en el mismo sentido. Así el producto de humedad alta estará en contacto con el aire más caliente.(Fennema, 337).

2.3.2.2.1 Ventajas

Muy buenas condiciones de secado al inicio de la deshidratación para productos muy húmedos.

El efecto de enfriamiento evaporativo puede hacer posible el empleo de altas temperaturas y consecuentemente altas capacidades de evaporación.

Adecuado para productos que se deterioran o forman películas impermeables.

2.3.2.2.2 Desventajas

Es difícil obtener contenidos de humedad muy bajos, debido a que en el extremo del túnel las condiciones de secado son pobres.

Otra clase de secadores de túnel emplean el sistema en contracorriente, en esta configuración el flujo y los carros se mueven en direcciones opuestas. Así, el producto de más baja humedad es expuesto a la temperatura del aire más alta. Su eficiencia térmica es mayor que en el sistema en paralelo, pero con productos muy sensibles al calor su uso es muy limitado.

Ventajas:

Los tiempos de residencia son relativamente cortos.

Se consigue un producto final con bajo contenido de humedad.

Es térmicamente más eficiente.

2.3.2.2.3 Desventajas

Debe establecerse muy bien la carga, de lo contrario las temperaturas del aire descienden sensiblemente.

Difícil control de la humedad final del aire.

Otra clase de secador de túnel utiliza el sistema de flujo transversal en el movimiento aire-producto.

2.3.2.2.4 Ventajas

Puede conseguirse flexibilidad en el control debido a que dispone de calentadores de aire entre las distintas fases.

Se puede obtener un producto de contenido de humedad uniforme.

2.3.2.2.5 Desventajas

Por ser unidades más complejas, su costo de adquisición y mantenimiento es más elevado que los sistemas simples.

2.3.2.3 Secador rotatorio

En este tipo de secador el producto húmedo se hace girar en un cámara cilíndrica por la que pasa aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación. El aire puede fluir concurrentemente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos. Las principales características de estos secadores son:

Su aplicación se limita a los productos constituidos por partículas que pueden fluir razonablemente bien.

Debido al mezclado se consiguen altas velocidades de evaporación y un grado de deshidratación uniforme.

2.3.2.4 Secador en spray

En este tipo de secadores el líquido o pasta es atomizado dentro de una cámara, donde es puesto en contacto con una corriente de aire caliente. La humedad se evapora y las partículas secan quedando suspendidas en la corriente de aire de donde son removidas.

Debido a las características del proceso, se deben controlar las propiedades fisicoquímicas del producto tales como: viscosidad, tensión superficial, composición química.

Las principales características del secado por atomización son: los tiempos de secado son muy cortos, del orden de 1 a 10 s y las temperaturas que alcanza el producto son relativamente bajas.

Los principales componentes del equipo son:

1. Sistema de calentamiento y circulación de aire: Generalmente se utiliza el vapor.
2. Atomizadores: los principales tipos de atomizadores son: atomizador a presión, el centrífugo, y el atomizador de dos fluidos o neumático.
3. Cámara de secado: En esta parte se ponen en contacto el aire caliente con las gotas líquidas, allí se produce el secado.
4. Sistema de recuperación del producto: En la mayoría de los secadores en spray, el producto seco cae al fondo de la cámara, de donde es sacado mediante rastrillos, tornillos sin fin y válvulas rotatorias.

Es necesario purificar el aire que sale y recuperar el producto que arrastra.

2.3.2.5 Secador de lecho fluidizado

En este tipo de secador el aire caliente es forzado a través de un lecho de sólidos, de

tal forma que los sólidos quedan suspendidos en el aire.

Las principales características de este tipo de secador son:

- Sólo se puede utilizar con sólidos susceptibles a la fluidización.

- Las velocidades de secado son relativamente altas y se pueden controlar con facilidad. (Basto 1989)

2.3.3 Secado por contacto con una superficie caliente

Este tipo de proceso, el producto húmedo se pone en contacto con una superficie caliente, y de este modo se elimina el agua. Se da una transferencia de calor por conducción.

Los secadores utilizados para esta técnica son: el secador de rodillos, el secador a vacío de placas y el secador a vacío de cinta sin fin.

Por ser el secador de rodillos una de las técnicas más utilizadas a nivel industrial en la producción de alimentos deshidratados. se trata con, más detalle.

2.3.3.1 Deshidratación por rodillos

El secado por rodillos consiste en extender el alimento líquido pastoso sobre la superficie caliente de un rodillo giratorio, con lo cual se elimina el agua y el material seco obtenido se separa de la superficie por medio de cuchillas raspadoras.

La rapidez del proceso se debe principalmente a la elevada velocidad de transferencia de calor y la gran superficie de intercambio entre la película delgada del alimento y la superficie caliente de los rodillos, de tal modo que la duración del secado es inferior al tiempo necesario para que el cilindro de una vuelta completa sobre su eje.

2.3.3.2 Equipo

Los secadores de rodillos, consisten en uno o dos rodillos paralelos, huecos, contruidos de tal forma que el medio calefactor, pueda circular en su interior. El rodillo o los rodillos se montan de tal forma que pueden girar sobre su eje longitudinal, el cual se mueve con velocidad variable por medio de un mecanismo impulsado por un motor en forma convergente o divergente.

El sistema de alimentación aplica una capa del producto a deshidratar sobre la superficie caliente del rodillo y una cuchilla colocada a una distancia apropiada del punto de alimentación raspa la capa de producto seco pegada a la superficie del rodillo. (Copley y Arsdell 1963)

Nos son convenientes para soluciones de sales poco solubles poco solubles o para suspensiones de sólidos abrasivos que sedimentan y crean una presión excesiva entre los tambores. Los secadores industriales tienen un diámetro de 1 a 3 ms y 1 a 5 ms de largo, y giran de 1 a 10 r.p.m. El tiempo que el sólido está en contacto con el material caliente es corto y por lo tanto no produce descomposición del producto. El coeficiente de transferencia de calor es elevado de 1000 a 1500 Kcal/m² -h-°C en condiciones óptimas. La capacidad del secador es proporcional al área activa del rodillo, generalmente 5 a 50 kg/h-m². (L McCabe, 1975, 985).

Las variables que se deben controlar en los secadores de rodillos son la temperatura en la superficie del rodillo, la velocidad de rotación, el espesor de la capa del producto, la humedad inicial y la final del mismo. (Foust Well 1960, 339).

2.3.3.3 Clasificación de los secadores de rodillos

Los secadores de tambores se clasifican de acuerdo al número de tambores en simples, de doble tambor y de tambores gemelos. En los secadores de doble tambor los rodillos giran en forma convergente como se observa en la figura 6, la alimentación se realiza por la parte superior, el espesor de la capa depende de la separación entre los rodillos y el producto se separa por medio de una cuchilla raspadora. (339)

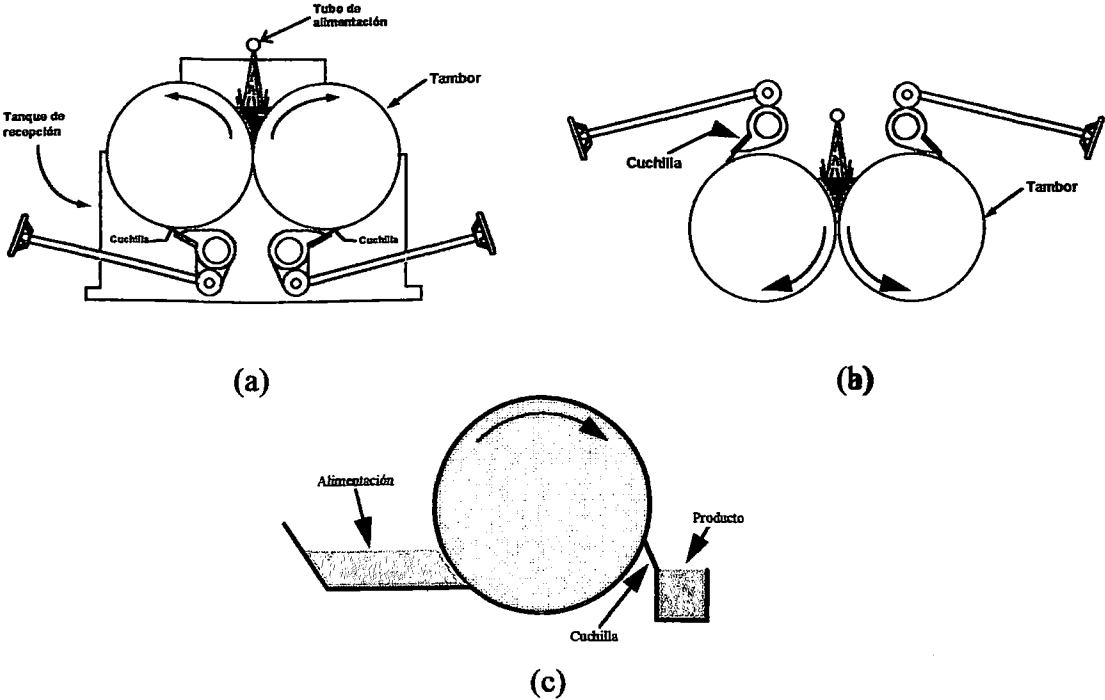


Fig. 6. Tipos de secadores de tambores. (a) Tambores gemelos, (b) doble tambor, (c) tambor simple

Los secadores de tambores gemelos operan con el mismo principio que los de doble tambor, excepto que los rodillos giran en sentido divergente. En estos el espacio entre los rodillos no influencia el espesor de la capa del producto, pero puede ser ajustada en la parte superior por medio de cuchillas (339)

Los secadores simples constan de un solo tambor, la alimentación se realiza usando depósitos en los que se impregna de líquido la superficie del tambor, usando dispositivos giratorios que rocían el líquido de la superficie del tambor, seguidos de cuchillas o rodillos de alimentación no calentados (Brenman, 349).

2.3.3.4 Ventajas

Alta velocidad de desecación.

Economía en el uso del calor.

2.3.3.5 Desventajas

Solo se aplica a alimentos líquidos o en papilla, capaces de resistir temperaturas altas durante cortos tiempos. (20-30 seg.).

2.3.3.6 Aplicación de los secadores de tambores en la industria de alimentos

Tanto los secadores simples, como los de doble tambor han sido utilizados en la industria de los alimentos. Algunas aplicaciones son: secado de la leche descremada, obtención de papa en escamas, secado de tomate, polvo de higo, puré de ciruelas purés cocinados de habichuelas. Para productos que contengan gran cantidad de azúcar se deben ensayar técnicas especiales para su secado. El azúcar hace el alimento pegajoso dificultando su secado, un método aplicado para estos productos consiste en utilizar una ráfaga de aire frío debajo de la lámina de producto, lo cual tiene como propósito enfriar y solidificar el material caliente. No existen métodos universalmente aceptados, cada material se considera como una aplicación particular. (Arsdell and Copley, 102).

Algunos alimentos son higroscópicos y requieren control de las condiciones atmosféricas para que no recobren humedad durante el enfriamiento y el empaque, en este caso es recomendable utilizar secadores de rodillos al vacío (102).

2.3.3.7 Principios generales de la deshidratación con rodillos:

El intercambio térmico de los secadores de rodillos se efectúa totalmente por conducción, la energía calorífica es suministrada desde la parte interna de los rodillos a la superficie de evaporación debe atravesar las siguientes capas de adentro hacia afuera: Sí el calentamiento se produce con vapor la película de vapor condensada en el

cilindro, pared metálica del cilindro, capa de producto, película de aire en contacto con la superficie del producto. (Segura, 1989, 7).

La velocidad de transferencia de calor es dada por la ecuación:

$$q = U \times A \times \Delta t$$

U : Coeficiente global de intercambio térmico Kcal/m²h°C

A : Superficie calefactora en m²

Δt : Diferencia de temperatura entre el medio calefactor y el producto en °C.

La evaporación disminuye desde la zona de alimentación y llega a ser casi nula en la zona de descarga. En el momento de la alimentación el producto se pone en contacto con la superficie caliente, elevando su temperatura a la de ebullición del agua, adhiriéndose al cilindro, dando lugar a una capa bastante uniforme. La velocidad de evaporación cuando la capa está todavía húmeda, es constante y puede calcularse según la siguiente ecuación:

$$v = 2,45 \times V^{0,8} \times \Delta p$$

v : Velocidad de evaporación Kg./m².h

Δp : ($P_c - P_a$); atmósferas

V : Velocidad del aire ambiente m/s

P_c : Presión de vapor en la capa del producto

P_a : Presión atmosférica

El tiempo de evaporación a velocidad constante es muy breve, lo que determina el ciclo de secado total, es la fase de secado a velocidad decreciente influenciada no tanto por el fenómeno de la difusión del agua a través de la capa delgada, por el aumento progresivo del poder de retención de agua por parte del producto en estado avanzado de secado, la temperatura de la película o capa de producto corresponde a la de ebullición del agua durante todo el período de velocidad de evaporación constante, aumentando gradualmente a medida que se va deshidratando. El gradiente térmico entre la superficie de calentamiento y el producto varía continuamente a través de la superficie de secado; tiene su valor máximo en la zona de descarga o raspado.

La evaporación del agua prosigue aún después de la descarga de la película de cilindro.

en función de la temperatura que tiene el producto al rasparlo; en este punto se puede evitar el resecamiento con una corriente de aire seco, para que se enfríe la película y conserve su plasticidad.

2.3.3.8 Etapas del proceso

1 Alimentación: Esta puede ser por inmersión, aspersión, gravedad o rodillos satélites.

La uniformidad y homogeneidad de la capa dependen de las características fisicoquímicas del producto, especialmente la concentración, la viscosidad, grado de refinación y temperatura

Los mejores resultado en cuanto a adhesión y espesor de la película se obtienen con aquellos producto que presentan una buena relación entre las sustancias soluble e insolubles. La adhesión depende de las características del producto y el espesor depende del sistema de alimentación utilizado y las condiciones del equipo.

En la superficie del cilindro se pueden obtener evaporaciones hasta de 100 kg./m².h; liberándose gran cantidad de vapor de agua en la zona de alimentación y menor cantidad en la zona de raspado.

3. Descarga:

Las cuchillas raspadoras separan el producto del cilindro en forma de película, escamas o polvo fino. Las mejores condiciones de descarga se presentan con los productos ricos en almidón, de los cuales se obtiene una hoja continua ligeramente plástica y resistente que tiende a caer en su propio peso, sin necesidad de desprenderla con las cuchillas. (Segura 1989)

2.3.4 Liofilización

Es un procedimiento de secado cuyo principio es la sublimación del hielo de un producto congelado, por lo tanto el agua del producto pasa directamente del estado sólido al estado de vapor. El ciclo de secado se desarrolla en dos fases:

- Fase de sublimación propiamente dicha que elimina alrededor del 90% del agua, es llamada también deshidratación primaria.
- Fase de desorción o desecación secundaria que elimina la casi totalidad del agua restante permitiendo obtener un producto con cerca del 2% de humedad. Esta fase es una evaporación a vacío, a temperatura positiva de 20 a 60°C

Las etapas del proceso de liofilización son:

1. Pretratamiento del producto Debido a los costos del proceso de liofilización se

debe efectuar una concentración preliminar el producto. Antes de la liofilización los productos tratados deben ser congelados.

2. Vacío: Este procedimiento no es riguroso, ya que puede hacerse la liofilización a presión atmosférica mediante corriente de aire o de nitrógeno frío, con la condición de que la presión parcial del agua en el gas sea inferior a la presión de vapor del hielo. Sin embargo el vacío tiene como objetivo disminuir los riesgos de fusión del hielo y acelerar el secado si el mecanismo limitante es la difusión del vapor a través de la masa de producto.
3. Sublimación: Es un fenómeno endotérmico, por lo tanto como en todo proceso de eliminación de agua por vía térmica se está produciendo simultáneamente transferencia de calor y de materia.

A lo largo del proceso progresa la capa ya seca en detrimento de la capa todavía congelada. El límite entre las dos capas se denomina frente de sublimación.

La transferencia de calor por conducción se describe según la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\lambda \times A}{x} (T_s - T_x)$$

- λ : Conductividad térmica del producto
 A : Superficie de la placa del producto
 x : Posición de frente de la sublimación
 T_s : Temperatura de la superficie del producto
 T_x : Temperatura en el frente de la sublimación

La transferencia de masa se da por difusión molecular y difusión de vapor.

El tiempo de la sublimación es aproximadamente proporcional al espesor del producto. Por eso es importante trabajar con capas delgadas o trozos de tamaño pequeño del producto.

4. Desorción: Todo el hielo desaparece durante la sublimación y el agua restante se halla en forma de agua ligada, por esto se hace un evaporación a vacío manteniendo la misma presión que durante la sublimación pero a temperaturas positivas superiores a 20°C. El tiempo del desorción es aproximadamente proporcional al cuadrado de espesor del producto y puede tener una duración de 2 a 6 horas.

5. Ruptura del vacío: Con el fin de recuperar la presión atmosférica en la cámara de secado, se abre una válvula que permite reducir progresivamente el vacío. Como el producto liofilizado tiene un alto poder de adsorción se prefiere romper el vacío con un gas neutro, nitrógeno o dióxido de carbono, además se toma la precaución de alcanzar una presión final ligeramente superior a la atmosférica de modo que la descarga se haga hacia el exterior. Este proceso dura de 10 a 20 minutos. (Mafart, 242).

2.3.4.1 Equipo

El liofilizador consta básicamente de las siguientes partes:

Cámara de secado: Puede ser rectangular o cilíndrica.

Fuente de calor: La transmisión de calor puede realizarse mediante placas con circulación de fluidos, resistencias eléctricas incorporadas directamente a las bandejas o infrarrojo.

Condensador: El condensador puede ser alimentado directamente por fluidos frigoríficos o por un fluido frigorífico como el agua glicolada. El condensador se puede encontrar interno o externo al liofilizador. (242)

2.4 DESHIDRATACIÓN DE TOMATES

El polvo de tomate es hecho de la pulpa, a la cual se le ha extraído la cascara, la semilla y la fibra.

Las piezas secas del tomate no recobran la forma ni el tamaño original con la rehidratación.

La variedad de tomate que mejor responde a la deshidratación es la variedad San Marzano, rojo con alto contenido de pectina, pared espesa, alto contenido de sólidos.

Los tomates son cosechados y recolectados. Después se lavan y se inspeccionan en bandas, los tomates seleccionados se cortan en rodajas, se sulfitan y se secan hasta aproximadamente el 4%, reduciéndolos a polvo. Los tomates son muy higroscópicos y se deben guardar en empaques a prueba de humedad (Copley y Arsdell 1963)

Orolunda y otros 1990 realizaron experimentos para estudiar los efectos de los métodos de secado y las condiciones de pretratamiento en la calidad del tomate de Nigeria deshidratado.

Utilizaron secado con aire caliente, con flujo cruzado y flujo a través, con temperaturas de 60, 70 y 80 °C y una velocidad de aire de 1,75 m/s. La remoción de humedad fue más rápida con el flujo a través que con el cruzado y el secado con el

secador de rodillos utilizando vapor a 240 Kpa de presión a 15 r.p.m. con una capa de 0,3 mm. El producto obtenido se empaco en bolsas de polietileno de baja densidad de 0,1 mm de espesor.

Realizaron varios ensayos para acondicionar el producto, encontrándose que los contenidos más bajos de humedad y la mejor apariencia se obtuvieron cuando el producto en rebanadas se dejaba durante 3 minutos en una solución de metabisulfito de sodio o de potasio de 9 gr./l, aparte de mejorar las cualidades sensoriales, se disminuía la pérdida de ácido ascórbico y carotenos en los productos deshidratados.

Al producto procesado se le analizó el índice de rehidratabilidad y un análisis sensorial. Del estudio se concluyó que el tomate secado en secador de rodillos con un pretratamiento adicionando 33 gr. de NaCl y 4 gr. de almidón por kg. de producto fue el que mejores características organolépticas presentó

Lazar y Miesr 1971, publicaron un artículo referente a su investigación acerca de la producción de tomate en escamas utilizando un secador de rodillos modificado.

Las modificaciones del equipo incluyen un extractor que proporciona un flujo de aire en contracorriente con la película del producto adherida al rodillo y un deshumificador en la zona de recolección.

El flujo de aire reportado fue de 1000 p³/min. sin especificar la cantidad de producto y en la zona de recolección se mantuvo una humedad relativa del 15 al 20%. Las mejores condiciones de operación del equipo se dieron trabajando a 3 r.p.m. y 280°F, obteniéndose un producto con el 5-7% de humedad. El producto se concentró hasta el 20% de sólidos solubles antes de someterse al secado.

Los resultados del estudio mostraron el deterioro del producto por efecto del calor concluyendo que para altas temperaturas es fundamental la adición de SO₂ (400 p.p.m) con el fin de prevenir el pardeamiento.

Utilizando el extractor de gases se disminuyó en 10°F la temperatura de los rodillos y se obtuvo un producto con menor contenido de humedad..

El producto obtenido con el secador modificado mostró un mejor índice de rehidratabilidad y menor deterioro del color que el producto obtenido con el secador tradicional.

Según experimentos realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Singapore (Hawalide 1991) para determinar influencia de la temperatura y la velocidad del flujo de aire utilizando un secador de bandejas se obtuvieron los siguientes resultados: con variaciones de la temperatura entre 40 y 80°C y velocidades de flujo de aire de 0.4, 0.7 y 1.4 m/seg., se encontraron variaciones en el coeficiente de

difusividad por incrementos de la temperatura.

En Egipto Shictry Müllery Mühlbaver (1991) realizaron un estudio para determinar la calidad de varias frutas y hortalizas deshidratadas con energía solar, deshidratando uvas, tomates cebollas, papas, reduciendo el contenido de humedad del tomate desde el 93 hasta el 6%, con un tiempo de secado de 30 horas empacándolas en bolsas de polietileno y almacenándolas durante un año a temperatura ambiente, con controles de parámetros de calidad cada mes, encontrándose que de todos los productos tratados el tomate y la cebolla fueron los que menos conservaron las características organolépticas, y el crecimiento microbiano no presentó variaciones entre el producto fresco y el tratado

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Manizales, Departamento de Caldas, con una temperatura promedio de 17°C y una humedad relativa del 78%.

La parte experimental y los análisis fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios de procesos y de alimentos de la Universidad Nacional Sede Manizales.

Las determinaciones microbiológicas se hicieron en el laboratorio de una empresa de la ciudad.

3.2 MATERIA PRIMA

Se utilizó el tomate chonto adquirido en la Central de Abastos de Manizales, con la siguientes características:

Tabla 3. Características de la materia prima

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Peso promedio	Gr.	87,19
Cáscara y semilla	%	25
Pulpa	%	75
pH		4,75
°Brix		5,0
Acidez	% ác cítrico	0,42
Agua		93,88
Grado de madurez	°Brix/Acidez	12,8

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Los equipos que fueron utilizados son los siguientes:

Para el proceso:

Balanza HAN 150W con capacidad hasta 150 kg.

Escalador

Licuada industrial con capacidad de 20 litros

Marmita

Secador de rodillos: Secador de rodillo de tambores gemelos con las siguientes características:

Diámetro 20 cm, longitud 50 cm, rodillos en acero inoxidable 316L, calentamiento con resistencias eléctricas, sensado por termocupla y regulado por un controlador ON-OFF, el movimiento de los tambores está suministrado por un motor reductor acoplado por medio de piñones de cadena y soportado con chumaceras de pedestal, la velocidad de giro está regulada por un variador de velocidad electrónico que permite girar hasta 100 r.p.m. La alimentación se realiza por la parte superior, el espesor de la capa está regulado por una cuchilla ubicada en la parte superior del tambor y las cuchillas raspadoras en la parte inferior. Fig 7



Fig 7 Secador de rodillos

Termómetro infrarrojo Raytek ST 4L con control de emisividad y temperatura entre 20 y 500°C.

Para los análisis fisicoquímicos:

Balanza Mettler AE160 con precisión de 0,1mg.

Bureta digital Brand

Refractómetro EXTRECH, escala 0-32%

Medidor de Actividad del agua NOVASINA TH 200 Thermoconstanter

pH-metro Scott Gerate CG818

Estufa DIEZ de circulación forzada y control automático de temperatura

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Ensayos preliminares

Se hicieron múltiples ensayos para determinar la temperatura del secador utilizando la mínima velocidad de operación y variando inicialmente la temperatura en incrementos de 10°C para seleccionar un rango inicial, para este se hicieron ensayos con incrementos de 2°C, determinándose así la temperatura de trabajo

Condiciones de la pulpa: Se ensayaron pulpas a 20°Brix, de acuerdo con los datos reportados en la literatura, para secar el producto en secador de rodillo, experimentalmente se encontró que con este valor el producto no se adhería al rodillo evitando la formación de una capa uniforme. Se ensayaron diferentes concentraciones y se seleccionaron 15°Brix, como el grado de concentración de la pulpa para llevar al secador.

Una vez seleccionada la temperatura se procedió a determinar el grado de madurez óptimo para el proceso, clasificando los tomates por el color en dos grupos, maduros y pintones, a cada uno de ellos se le determinaron las características fisicoquímicas. Se procesaron y se evaluó el color y la apariencia en forma visual de cada uno de los productos finales

En base a los resultados de la investigación reportada por Olorunda y otros, 1990, donde se recomienda la adición de almidón en un 4% a la pulpa para el secado con el fin de lograr una película más fina sobre el rodillo, se hicieron ensayos de secado con y sin adición de almidón.

3.4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Selección: Se hizo por inspección visual para la sanidad y el color, y con análisis fisicoquímicos para determinar el grado de madurez.

Pesaje: Se utilizó una balanza HAN 150W

Lavado: Se hizo lavado con chorro de agua fría. con el fin de separar suelos y materiales extraños, y reducir la carga bacteriana.

Sulfitación: Para conservar el color y sabores naturales, prolongar la conservación del producto, retardar la pérdida de vitamina A y C y contrarrestar el desarrollo de los microorganismos. Se realizó a través de una inmersión del producto en una solución de bisulfito de sodio, de 200 p.p.m de SO₂

Escaldado: En un escaldador durante un minuto, para facilitar el desprendimiento de la cáscara.

Pelado: Manual

Despulpado: En licuadora industrial

Tamizado: En forma manual, para retirar las semillas de la pulpa..

Análisis fisicoquímicos de la pulpa: En esta etapa del proceso se hace una caracterización de la pulpa antes de someterla al secado. Los análisis efectuados fueron: pH, °Brix, grado de madurez, acidez, azúcares reductores, vitamina C, A_w

Concentración: Hasta 15°Brix: utilizando una marmita,

Secado: Se utilizó un secador de rodillos de tambores gemelos, los cuales giran en forma divergente. Se realizaron ensayos a tres velocidades.

Trituración: La pasta seca se retira del secador y se tritura para obtener el polvo de tomate.

Empaque: El producto se empacó en bolsas de polietileno de alta densidad.

Al producto final se determinaron: pH, °Brix, acidez, vitamina C, humedad, azúcares reductores, A_w. y características microbiológicas.

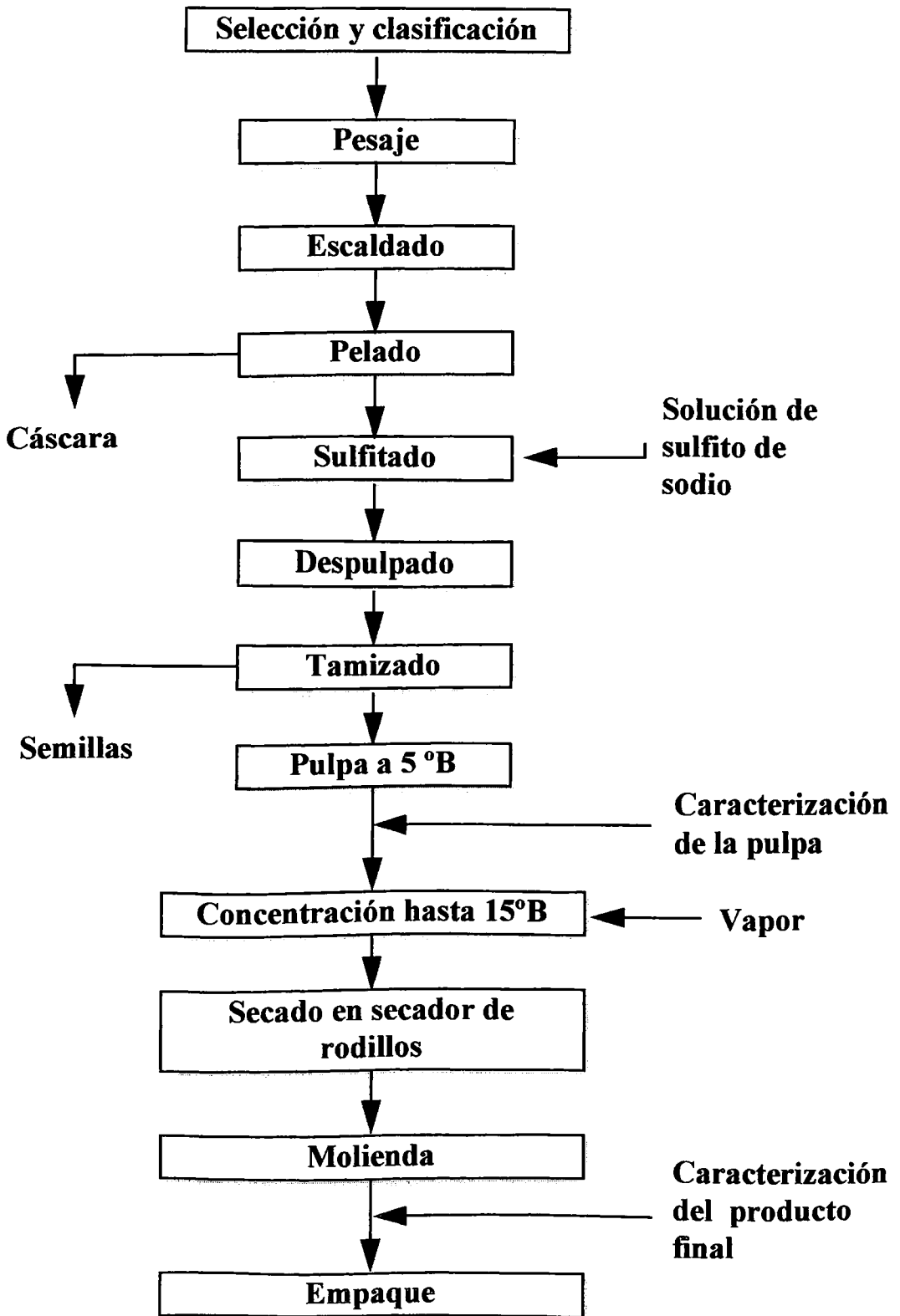


Fig 8 Diagrama de flujo del proceso

3.4.3 Análisis Físicoquímicos

Se determinaron las características físicoquímicas: pH, °Brix, acidez, vitamina C, azúcares reductores, humedad, actividad de agua a 20°C de la pulpa y de los productos de cada uno de los tratamientos., con el fin de evaluar los cambios por efecto del calor.

Los métodos utilizado para los análisis físicoquímicos fueron:

Humedad: Secado en estufa de circulación forzada.

Acidez: Expresada como ácido acético, se determinó por titulación potenciométrica hasta pH 8.3 con NaOH 0.1 N.

Sólidos Solubles: Determinación de grados Brix con refractómetro.

Índice de madurez: Relación entre los sólidos solubles y la acidez.

Vitamina C: Método colorimétrico, con e 2-6 diclorofenol, indofenol sódico

Azúcares reductores: Método gravimétrico de Munson y Walker.

Actividad del agua: Con el determinador de A_w , NOVASINA TH 200 Thermoconstanter.

Color: Creando una escala de colores según la metodología descrita por Anzaldúa (1994, 13). haciendo una combinación de rojo y negro. Se asignaron valores entre 1 y 5, el valor de 1 corresponde a la mezcla con mayor contenido de rojo y el 5 a la de mayor contenido de negro, como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 4. Escala de colores

Valor	% de rojo	% de negro
1	95	5
2	80	20
3	65	35
4	50	50
5	30	70

La carta de colores correspondiente a las anteriores mezclas se presenta en la figura 9.

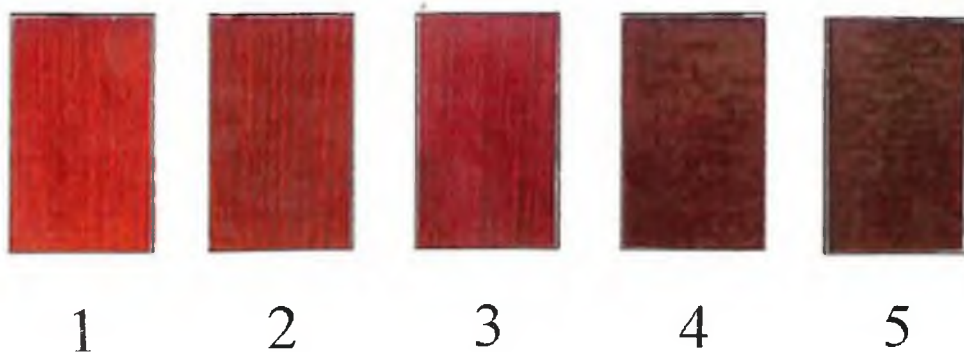


Fig 9 Carta de colores

3.4.4 Determinaciones microbiológicas

Los análisis microbiológicos que se hicieron a los productos finales fueron:

Coliformes totales y fecales, mesófilos totales, y esporas sulfito reductoras.

3.4.5 Diseño experimental

Para la elaboración del tomate deshidratado se hizo un diseño estadístico de una vía completamente aleatorio.

Se trabajaron 3 velocidades de rotación con 3 réplicas por proceso. Los ensayos se identifican como:

Proceso 1: Secado a 1 r.p.m.

Proceso 2: Secado a 2 r.p.m.

Proceso 3: Secado a 3 r.p.m.

Las variables dependientes tenidas en cuenta para comparar los diferentes tratamientos fueron las características fisicoquímicas del producto obtenido en cada proceso.

Los resultados de las determinaciones se evaluaron con un análisis de varianza al 5% de significancia utilizando el paquete estadístico STAT GRAPHICS.

La prueba de hipótesis formulada para el análisis de varianza fueron:

H_0 : Existe una diferencia significativa entre los procesos.

H_1 : No existe una diferencia significativa entre los procesos.

Si F calculado es mayor que F tabulado, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Los ensayos con el equipo para estudiar las condiciones reales de operación mostraron los siguientes resultados:

Se presenta una diferencia entre el tiempo de rotación programado en el equipo y el real.

La temperatura censada registrada con el sensor del equipo y la real no presentó variaciones significativas

La temperatura externa se determinó con un termómetro infrarrojo, y para una temperatura interior de 202 °C, la temperatura en la superficie del rodillo fue de 155°C.

Se cambió el material de las cuchillas raspadoras, debido a que en los ensayos iniciales, se encontraron dificultades para el raspado de la capa del producto seco.

El proceso presentó grandes pérdidas, como se observará en el balance de materia, debido a que el material seco no alcanzó a desprenderse totalmente de la superficie del rodillo creando una capa que permaneció adherida, causando problemas para el secado del resto de producto .

Los ensayos del proceso con adición de almidón a la pulpa en un 4%, no presentaron diferencias con respecto al producto sin adicionar, esto conllevó a trabajar el proceso definitivo con pulpa sin almidón.

Para seleccionar la temperatura de operación se trabajó el equipo entre 120°C y 170°C, (de acuerdo a la temperatura máxima reportada en la literatura), con incrementos de 10, para determinar un rango inicial, y se encontró que entre 140 y 160 °C de temperatura externa se obtenía un producto aceptable.

Para este rango se hicieron variaciones de 2 °C y se seleccionó 155°C como la temperatura de trabajo.

4.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO

Se determinó el tiempo de contacto teórico de acuerdo a la velocidad angular del secador, teniendo en cuenta que el ángulo de giro recorrido por el producto desde la alimentación hasta la posición de las cuchillas raspadoras es de $3\pi/2$.

El tiempo se determinó según la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\theta}{\omega}$$

t : Tiempo de contacto del producto con la superficie caliente.

θ : Ángulo de giro.

ω : Velocidad angular en r.p.m.

Para determinar el tiempo de contacto real se utilizó un cronómetro.

En la siguiente tabla se muestran los resultados teóricos y experimentales del tiempo de contacto.

Tabla 5. Tiempo de contacto teórico y real en segundos

Velocidad en r.p.m. de los rodillos	Tiempo teórico en seg	Tiempo real en seg
1	45	54
2	22,5	26
3	11,25	14

Se observa una desviación entre el tiempo calculado y el determinado experimentalmente.

4.3 DEL PROCESO

4.3.1 Resultados de los diferentes procesos

Los análisis de varianza al 5% de significancia de las pruebas fisicoquímicas mostraron una diferencia altamente significativa en cuanto al contenido de humedad final que se lograron con los diferentes tiempos de contacto.

Comparando los resultados en base seca de las características fisicoquímicas de la

pulpa antes y después del secado con el promedio de los datos de los tres procesos, que se muestran en la tabla 9, se encuentra que por efecto del calentamiento se presentan altas variaciones de los componentes como: disminución de la vitamina C en un 42%, pérdida de los compuestos causantes de la acidez en un 75%, cambio en los azúcares reductores en un 70%.

En el anexo 1 se presentan los valores calculado y tabulados de F para los diferentes parámetros y en el anexo 2 se muestra una ejemplo de los resultados de los cálculos

4.3.2 Grado de madurez

Se clasificaron los tomates por su color en dos grupos, maduros y pintones, se hizo un análisis fisicoquímico de cada uno de ellos y se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 6. Características Fisicoquímicas según el grado de madurez

Parámetro	Grado de madurez	
	Pintón	Maduro
pH	3,4	4,5
°Brix	4,0	4,8
Acidez % de ác cítrico	0,56	0,42
Grado de madurez	7,14	11,5

De acuerdo con las variaciones que se presentan en los diferentes componentes de los frutos durante el proceso de maduración, incremento del pH, disminución de la acidez, aumento de los sólidos solubles (Pantastico, 1984,131), se afirma que además del color, los análisis fisicoquímicos muestran diferente grado de madurez.

Se procesaron los tomates en iguales condiciones de temperatura y velocidad de rotación de los rodillos encontrándose que el material proveniente de la materia prima con mayor índice de madurez, presento menor pardeamiento que la preparada con el tomate pintón.

El grado de pardeamiento se determinó por el oscurecimiento de la pulpa estableciéndose una comparación visual entre ambos productos.

4.3.3 Balance de materia para el proceso de secado utilizando una velocidad de 1 r.p.m.

Se utilizaron 40 kg. de tomate chonto con un peso unitario promedio de 84 gr.

En la tabla 7 se muestran los balances de materia calculados y los reales para establecer el porcentaje de pérdidas durante el proceso:

Tabla 7. Balance de materia del proceso

OPERACIÓN	CANTIDAD DE MATERIA QUE ENTRA	CANTIDAD DE MATERIA QUE SALE TEÓRICO	REAL
SULFITADO	20 l de solución de sulfito de sodio de 200 p.p.m. 40 kg. de tomate.	200 l de solución de sulfito de sodio de 200 p.p.m 40 kg. de tomate.	
PELADO DESPULPADO Y TAMIZADO	40 Kg. de tomate	29,5 kg de pulpa 10,5 kg. de cáscara y semilla	28,5 kg. de pulpa
EVAPORACIÓN A 15 °BRIX	29,5 kg. de pulpa a 5°Brix Vapor	9,83 kg. de pulpa a 15°Brix y 84,16% de humedad 19,67 kg. de agua Vapor condensado	7,8 kg. de pulpa a 15°Brix
SECADO EN SECADOR DE RODILLOS A 1 r.p.m.	9,83 kg. de pulpa a 15°Brix y 84,16% de humedad	1,76 kg. de producto con el 11,75% de humedad 8,07 kg. de agua	0,57 kg. de producto

4.3.4 Balance de materia de la pulpa.

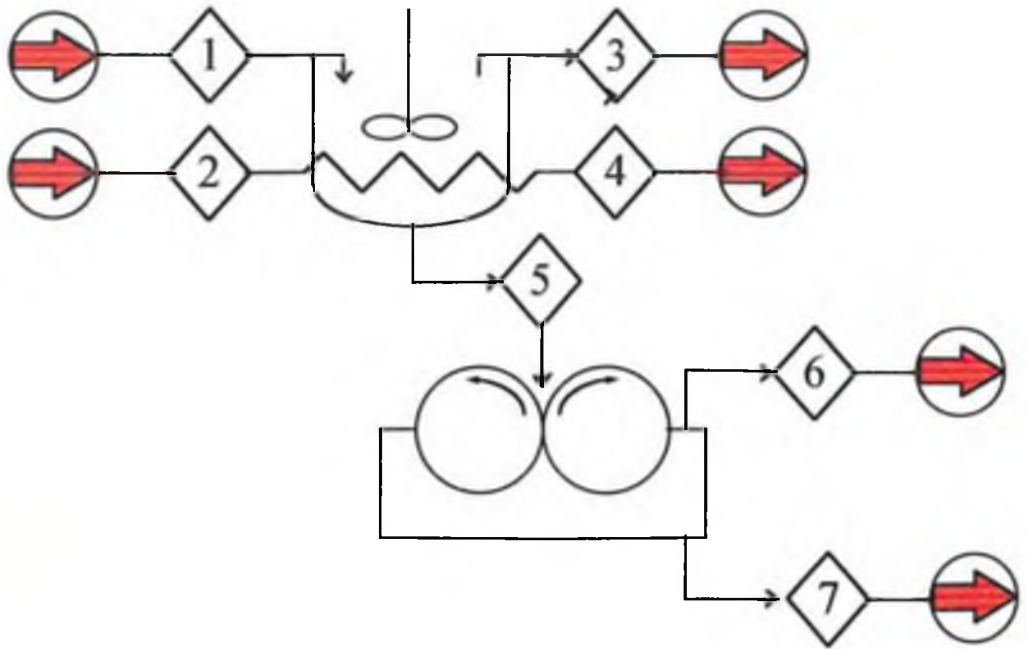


Figura 10. Diagrama del balance de materia de la pulpa

Identificación de corrientes:

- | | |
|---|---|
| 1 | 29,5 kg. de pulpa a 5°Brix. |
| 2 | Vapor |
| 3 | Agua evaporada 19,67 kg. |
| 4 | Vapor condensado |
| 5 | 9,83 kg. de pulpa a 15°Brix y 84,16% de humedad |
| 6 | 8,07 kg. de agua evaporada |
| 7 | Producto con el 11,75 de humedad |

Pérdidas durante el proceso:

Con el balance de materia calculamos las siguientes pérdidas:

En el proceso de evaporación hasta 15°Brix, el 20,65 %.

Esta pérdida se tuvo por la adherencia de la pulpa a la pared de la marmita durante la evaporación.

En el secador de rodillos: El 67,6%.

Las pérdidas en el secador fueron grandes, debido a la formación de una capa en la superficie del rodillo que se quemaba y era necesario retirarla con un lavado.

Esta operación se debió realizar varias veces durante el proceso.

En la tabla 8 se muestran los resultados teóricos y reales sobre el producto total y sobre la pulpa.

Tabla 8. Rendimiento teórico y real del proceso

	Teórico (%)	Real (%)	Pérdida (%)
Sobre el producto completo	4,4	1,43	67,5
Sobre la pulpa	5,97	1,93	67,7

4.3.5 Balance de energía en el secador

La cantidad de energía que entra al secador está suministrada por 12 resistencias de 900 W cada una, conectadas en los rodillos internamente

$$Q_{entra} = 900 W \times 12 = 10.800 W = 10,8 KW$$

Energía que consume el sistema:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

$Q =$ Velocidad de transferencia de calor

$U =$ Coeficiente global de transferencia de calor, en $\frac{W}{m^2}$

$\Delta T =$ Diferencia de temperatura entre el medio calefactor y el producto seco, en $^{\circ}C$

$A =$ Superficie calefactora en m^2

La transferencia de calor se da a través de dos capas, el acero y el tomate así:

$$r_1 = 9,7 \text{ cm}$$

$$r_2 = 10 \text{ cm}$$

$$r_3 = 10,1 \text{ cm}$$

$$T_1 = 202^\circ \text{C}$$

$$T_2 = 158^\circ \text{C}$$

$$T_3 = 153^\circ \text{C}$$

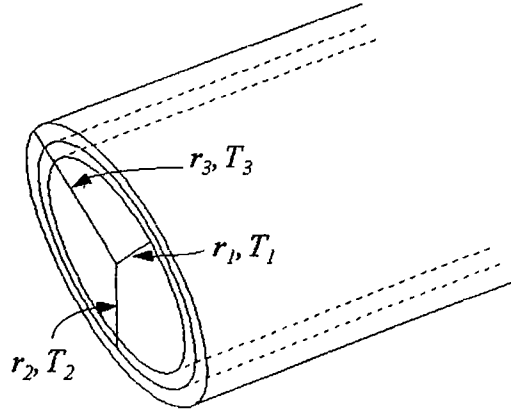


Figura 11. Flujo de calor a través de capas cilíndricas múltiples en serie

Para un flujo a través de varias paredes:

$$q = U_i A_i (T_1 - T_\infty) \quad (2)$$

$A_i = \text{Área } i$

$U_i = \text{Coeficiente de transferencia basado en el área } i$

Según Sing y Heldman (130), la velocidad de transferencia a través de capas individuales es:

$$q = k_1 A_{m1} \frac{T_1 - T_2}{r_2 - r_1} \quad (3)$$

$$q = k_2 A_{m2} \frac{T_2 - T_3}{r_3 - r_2} \quad (4)$$

$$\frac{q(r_2 - r_1)}{k_1 A_{m1}} = T_1 - T_2 \quad (5)$$

$$\frac{q(r_3 - r_2)}{k_2 A_{m2}} = T_2 - T_3 \quad (6)$$

$$\frac{q}{U_i A_i} = T_1 - T_\infty \quad (7)$$

Sumando las ecuaciones (5) y (6) e igualando con (7):

$$\frac{q}{U_i A_i} = \frac{q(r_2 - r_1)}{k_1 A_{m1}} + \frac{q(r_3 - r_2)}{k_2 A_{m2}} \quad (8)$$

ó

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{r_2 - r_1}{k_1 A_{m1}} + \frac{r_3 - r_2}{k_2 A_{m2}} \quad (9)$$

La ecuación (9) involucra el coeficiente global de transferencia de calor del sistema.

Para resolver la ecuación (9):

k_1 = Conductividad térmica del acero 316L = 16,3 W/m°C

k_2 = Conductividad térmica del tomate

A_{m1} = Área media de la superficie del acero

A_{m2} = Área media de la superficie del tomate

La conductividad térmica del tomate (k_2) se calculó con la ecuación tomada de Sing y Heldman (102) para frutas y vegetales con contenido de humedad superior al 60%.

$$k = 0,148 + 0,00493 w$$

$$k = \text{Conductividad térmica en } \frac{W}{m^\circ C}$$

w = Contenido de agua del producto

$$k_2 = 0,148 + 0,00493(93,88) = 0,6108 \frac{W}{m^\circ C}$$

Cálculo de las áreas medias

A_{m1} = Área media de la superficie del acero

$$A_{m1} = 2\pi L \frac{r_2 - r_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}; \quad L = 0,75 \text{ cm}, \quad r_1 = 9,7 \text{ cm}, \quad r_2 = 10 \text{ cm}$$

$$A_{m1} = 2\pi(0,5 \text{ cm}) \frac{0,1 - 0,097}{\ln\left(\frac{0,1}{0,097}\right)}$$

El factor 2 se debe a los dos rodillos, por lo tanto:

$$A_{m1} = 0,3094 \times 2 = 0,6188 \text{ m}^2$$

A_{m2} = Área media de la capa de tomate:

La capa de tomate se adhiere a $\frac{3}{4}$ del área superficial del rodillo, en consecuencia:

$$A_{m2} = \frac{3}{4} (2\pi) L \frac{r_3 - r_2}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}; \quad L = 40 \text{ cm}, \quad r_3 = 10,1 \text{ cm}, \quad r_2 = 10 \text{ cm}$$

$$A_{m2} = \frac{3}{4} (2\pi)(0,4 \text{ m}) \times \frac{0,101 - 0,1}{\ln\left(\frac{0,101}{0,1}\right)} = 0,1894 \text{ m}^2$$

$$A_{m2} \text{ total} = 0,1894 \times 2 = 0,3789 \text{ m}^2$$

Resolviendo la ecuación (9):

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{(0,1 - 0,097) \text{ m}}{16,3 \frac{W}{\text{m}^\circ\text{C}} (0,6188 \text{ m}^2)} + \frac{(0,101 - 0,1) \text{ m}}{0,6108 \frac{W}{\text{m}^\circ\text{C}} (0,3788 \text{ m}^2)}$$

$$\frac{1}{U_i A_i} = 0,00461 \frac{W}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

entonces:

$$U_i A_i = 216,82 \frac{W}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

Reemplazando en (7):

$$\frac{q}{216,82 \frac{W}{m^{\circ}C}} = (202 - 153)^{\circ}C$$

luego

$$Q = 10.711W = 10,71KW$$

Pérdida de energía en el sistema

$$Q_{entra} = 10,80 KW$$

$$Q_{sale} = 10,71 KW$$

$$\text{Pérdida} = 0,83\%$$

4.3.6 Velocidad de evaporación

La velocidad de evaporación cuando la capa está todavía húmeda es constante y se puede calcular con la siguiente ecuación (Segura, 8):

$$v = 2,45V^{0,8}\Delta P$$

$$v = \text{Velocidad de evaporación en } Kg/m^2h$$

$$\Delta P = P_c - P_a \text{ atm}$$

$$P_c = \text{Presión de vapor en la capa del producto}$$

$$P_a = \text{Presión atmosférica}$$

$$V = \text{Velocidad del aire ambiente en m/s}$$

Para hallar P_c :

Tomando la ecuación de Antoine, (Reklaitis, 619)

$$P = \exp\left(A - \frac{B}{T+C}\right) \text{ Para el agua}$$

$$A = 16,5362 \quad P \text{ en KPa}$$

$$B = 3985,44 \quad T \text{ en K}$$

$$C = -38,9974$$

Reemplazando:

$$P = \exp\left(16,5362 - \frac{3985,44}{(155,5 + 273,15) - 38,9974}\right)$$

$$P_c = 549,67 \text{ K}_p = 5,42 \text{ atm.}$$

$$P_a = 0,7697 \text{ atm.}$$

$$V = 0,25 \text{ m/s}$$

$$v = 2,45(0,25)^{0,8} (5,42 - 0,7697)$$

$$v = 3,76 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{h}}$$

La velocidad de evaporación en el periodo constante es de $3,76 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$

4.4 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

La pulpa es un líquido viscoso, de coloración roja

El producto final presentó las siguientes características:

Color: El color determinado por comparación visual del producto final con la carta de colores, que se muestra en la figura 9 presentó los siguientes resultados:

Proceso	Color
1	2
2	3
3	4

De acuerdo a la escala, se observa un incremento de coloración oscura a medida que aumenta el tiempo de contacto, esto es debido a la caramelización del producto.

Aroma: El aroma del producto seco con respecto al producto inicial disminuye, esto se debe a que durante el calentamiento, se pierden algunos componentes volátiles que son responsables del aroma característico del tomate. No se presenta diferencia apreciable entre los productos obtenidos con los diferentes ensayos.

Textura: Al triturar el producto seco se obtuvieron gránulos húmedos, suaves al tacto, que no presentan gomosidad. No se aprecian diferencias entre los materiales

provenientes de los diferentes procesos.

4.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

En la tabla 9 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la pulpa y del producto final de cada uno de los ensayos, los resultados se expresan en base seca para obtener datos comparables y corresponden al promedio de tres réplicas

Tabla 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos .

PARÁMETRO	UNIDADES	PULPA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
pH		4,76	4,56	4,65	4,7
Acidez	% ac. cítrico	6,91	1,78	1,77	1,65
Vitamina C	mg/100 ml	79,58	38,75	49,21	50,12
Azúcares reductores	%	54,24	15,83	16,25	16,7
Agua	%	93,88	11,75	17,91	22,1
Aw		0,953	0,4	0,517	0,542

Análisis de resultados:

pH: El análisis de varianza reporta unas diferencias estadísticamente significativas del proceso a 1 r.p.m. con respecto a los otros dos procedimientos.

Analizando los datos se puede afirmar que una diferencia de 0,2 unidades de pH, no determina una variación en la medida de este parámetro, se debe tener en cuenta que el equipo con que se determinó, trabaja con una exactitud de $\pm 0,1$ unidades.

Acidez: Se presenta una reducción considerable de la acidez, comparando el valor presente en la pulpa con los valores del producto procesado.

El análisis de varianza, muestra que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de los diferentes procesos. Esto indica que el tiempo del contacto del producto con la superficie caliente no influye en los cambios de la acidez.

Vitamina C: El análisis estadístico de la prueba de la varianza reporta una diferencia significativa del proceso 1 comparado con los procesos 2 y 3. La pérdida con respecto al proceso 1 es del 51% y con respecto al 2 y 3 es del 38%. Estos cambios se deben a

que la vitamina C es un compuesto termolábil por lo que se pierde fácilmente durante el proceso. Esta pérdida se atribuye principalmente a la oxidación del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico y la subsiguiente transformación en ácido 2-3 dicetogulónico, perdiéndose la actividad biológica de la vitamina C, por efecto de la temperatura .(Belitz y Grosch, 1985, 336).

Azúcares reductores: La prueba de varianza de los resultados de azúcares reductores en el producto final de los tres procesos no marca diferencia, pero comparando con el contenido de estos en la pulpa, se observa una alta diferencia, estos cambios se deben a la caramelización del producto durante el secado, con lo cual los monosacáridos (glucosa y fructuosa) presentes en el tomate, sufren transformaciones químicas hasta llegar a la formación de derivados furánicos que se polimerizan y dan origen a compuestos que no tienen propiedades reductoras. (Baudi, 1981, 16).

Humedad: Se presenta una diferencia estadísticamente significativa entre todos los ensayos, el contenido de humedad de los productos finales es alto teniendo en cuenta que los datos reportados por diferentes trabajos entre ellos Lazar y Miers (1971) son del 5 -7% partiendo de un producto concentrado hasta 20°Brix.

El valor elevado de la humedad 11,75%, 17,91% y 22,1% para los procesos, 1, 2 y 3 respectivamente, se debe a que la pulpa se llevó al secador con 15°Brix, para poder formar una película uniforme sobre la superficie de contacto

Actividad del agua: De acuerdo a las isotermas de adsorción, la A_w disminuye al bajar el contenido de humedad. Durante el secado se logró bajar la A_w de 0,953 hasta 0,40, . Analizando la influencia de la A_w en las diferentes reacciones se encuentra que en el rango en el cual se tienen los productos de los diferentes procesos, se incrementa la velocidad de reacción de pardeamiento, de oxidación de pigmentos, se disminuye la actividad microbiana (Sing y Heldman, 260).

Con los valores de A_w obtenidos, se pueden predecir buenas condiciones de almacenamiento.

4.5.1 Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos solo se realizaron el producto final y presentaron los siguientes resultados:

Tabla 10 Resultados de los análisis microbiológicos

	Coliformes totales	Coliformes fecales	Mesófilos totales	Esporas sulfito reductoras
PROCESO	NMP/gr	NMP/gr.	UFC/gr.	UFC/gr.
1	<4	<3	<10	<10
2	<4	<3	<10	<10
3	<4	<3	<20	<10

La literatura reporta los siguientes valores para vegetales deshidratados:

Coliformes totales 220/gr máximo.

Coliformes fecales menor de 10/gr.

Comparando estos valores con los resultados de los análisis microbiológicos de la tabla 10, se concluye que el producto no sobrepasa los límites permitidos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El secador de rodillos que se utilizó en el proceso de deshidratación del tomate presentó fallas debido que los cilindros en la superficie externa no tuvieron el pulimento necesario para que el producto seco se despegara con facilidad al contacto con las cuchillas raspadoras. La imposibilidad de raspar totalmente capa de producto seco ocasionó altas pérdidas en el proceso.

Se recomienda efectuar un pulimento de brillo de espejo en la superficie de los cilindros.

El alto contenido de humedad en los productos finales se debió a que la pulpa solo se concentró hasta 15°Brix para llevarla al secador, lo que implica una mayor remoción de agua durante el proceso para lograr un contenido de humedad del 3%-4% recomendado para este tipo de productos, que si se hubiera trabajado con una pulpa concentrada hasta 20°Brix.

Para que el producto se pueda llevar hasta 20°Brix, es necesario modificar el sistema de alimentación del equipo, colocando unos rodillos que permitan que la pulpa con esta concentración forme una película uniforme sobre la superficie de los rodillos.

El secador utilizado en el desarrollo de este trabajo, no presento condiciones favorables para la deshidratación del tomate por los problemas mencionados anteriormente, pero se ensayo en la deshidratación de materiales ricos en almidones arrojando los resultados esperados.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos están de acuerdo con las variaciones que reporta la literatura para este tipo de procesos.

A pesar de toda la manipulación a que es sometida la materia prima durante el proceso, los análisis microbiológicos muestran un producto con buenas condiciones microbiológicas.

Debido a las pérdidas elevadas durante el proceso no se considero el estudio de costos, ya que de antemano se esperaban resultados inconsistentes con lo que seria el costo real del producto en condiciones normales.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. ANZALDÚA MORALES, Antonio. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Editorial Acribia, Zaragoza. 1994.
2. BAUDI DERGEL Salvador. Química de los Alimentos. Editorial Alambra, España,. 1981
3. BELITZ, H. D. GROOCH, W. Química de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 1985.
4. BRENMAN, J. G., BUTTERS, J. R. y otros. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia. España. 1980.
5. CAMACHO, Guillermo. El Agua en las Hortalizas. Memorias del Curso Deshidratación de Frutas y Vegetales. Universidad Nacional de Colombia. 1989.
6. COPLEY AND ARSDELL. Food Dehydration. Drying Methods and Phenomenon. Vol I. 1963.
7. COPLEY AND ARSDELL. Food Dehydration. Product and Technology. V II. 1963.
8. DOMÉNECH, Joseph. Bioestadística. Métodos Estadísticos para Investigadores. Editorial Herder. Barcelona. 1980.
9. DOMÍNGUEZ, Jorge, Deshidratación por aire caliente. Memorias del Curso Deshidratación de Frutas y Vegetales. Universidad Nacional de Colombia. 1989.
10. EL-SHIATRY, MA. MÜLLER, J. MÜHLBAUER, W. Drying Fruits and Vegetables whit Solar Energy in Egypt. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. Vol 22 No 4. págs 61-64.1991
11. FENNEMA. Owen R. Principles of Food Science. Part II Physical Principles of Food Preservation. Marcel Dekker. New York. 1975

12. FOUST, A. S.; WENZEL, L. A. et all. Principles of Unit Operations. Editorial Wiley Toppan. New York, 1960.
13. HAWLADER, M. N. A. Drying Characteristics of Tomatoes. Journal of Food Engineering. Vol 14. págs. 259-268. 1991.
14. LAZAR, M. E. and MIERS. J. C. Improved Drum-Dried Tomato Flaker. Food Technology. Vol 25.No. 830. 1971.
15. MAFART, Pierre. Ingeniería Industrial Alimentaria. Editorial Acribia. España. 1994.
16. MAHECHA, Gabriela. Estudio de la Calidad de Tomate durante el Almacenamiento. Revista Colombiana de Química. Vol 21 No 1-2. Santa Fe de Bogotá . 1992.
17. OLORUNDA, A. O. AWORTH O., C. ONUOHA, C. N. Upgrading Quality of Dried Tomato: Effects of Drying Methods, Conditions and Pre-drying Treatments. Journal of Food Science. No. 52. págs. 447-454. 1990.
18. OSPINA, Gustavo. Deshidratadores de Aire Caliente. Memorias del Curso Deshidratación de Frutas y Vegetales. Universidad Nacional de Colombia. 1989.
19. PANTÁSTICO, E. R. Fisiología de la Post-recolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales. Editorial Continental S.A. Méjico. 1984.
20. PERRY, Robert. CHILTON, Cecil. Biblioteca del Ingeniero Químico. Quinta Edición. Vol. 5. McGraw Hill. Méjico, 1986.
21. PRIMO, Yúfera. Química Agrícola III. Editorial Alambra. 1979.
22. ROCKLAND, Louis. BEUCHAT, Larry. Water Activity: Theory and Aplications to Food. Editado por Institute Of Food Technologists. Chicago. 1987
23. SEGURA, Julio. Deshidratación por rodillos. Memorias del Curso Deshidratación de Frutas y Vegetales. Universidad Nacional de Colombia. 1989.
24. SINGH, Paul. HELDMAN, Dennis. Introduction to Food Engeneering. Academic Press. 1984.
25. VARGAS, W. Manuales Agroindustriales. Bogotá . 1985.

ANEXO 1

Valores de F, al 95% de significancia.

PARÁMETRO	G. L.	F calculado	F Tabulado
pH	2 9	25,09	4,26
Acidez	2 8	1,86	4,46
Vitamina C	2 3	168,02	9,55
Azúcares reductores	2 3	8,04	9,55
Agua	2 9	805,51	4,26

Resultado de la relación entre los procesos

PARÁMETRO	RELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS		
	1-2	1-3	2-3
pH	*	*	ns
Acidez	ns	ns	ns
Vitamina C	*	*	ns
Azúcares reductores	ns	ns	ns
Agua	*	*	*

* Denota una diferencia estadísticamente significativa.

ns No hay diferencia estadísticamente significativa

ANEXO 2

One-Way Analysis of Variance.

Data: ACIDEZ.datos

Level codes: ACIDEZ.ensayo

Labels:

Means plot: Tukey

Confidence level: 95

Range test: Tukey

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig
Between groups	.0301205	2	.0150605	1.860	
Within groups	.0647700	8	.0080963		
Total (corrected)	.0948905	10			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for ACIDEZ.datos by ACIDEZ.ensayo

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	4	1.5500000	X
2	3	1.6560000	X
1	2	1.6650000	X

contrast	difference	+/-	limits
1 - 2	0.00900		0.21545
1 - 3	0.11500		0.22301
2 - 3	0.10600		0.17274

* denotes a statistically significant difference.