

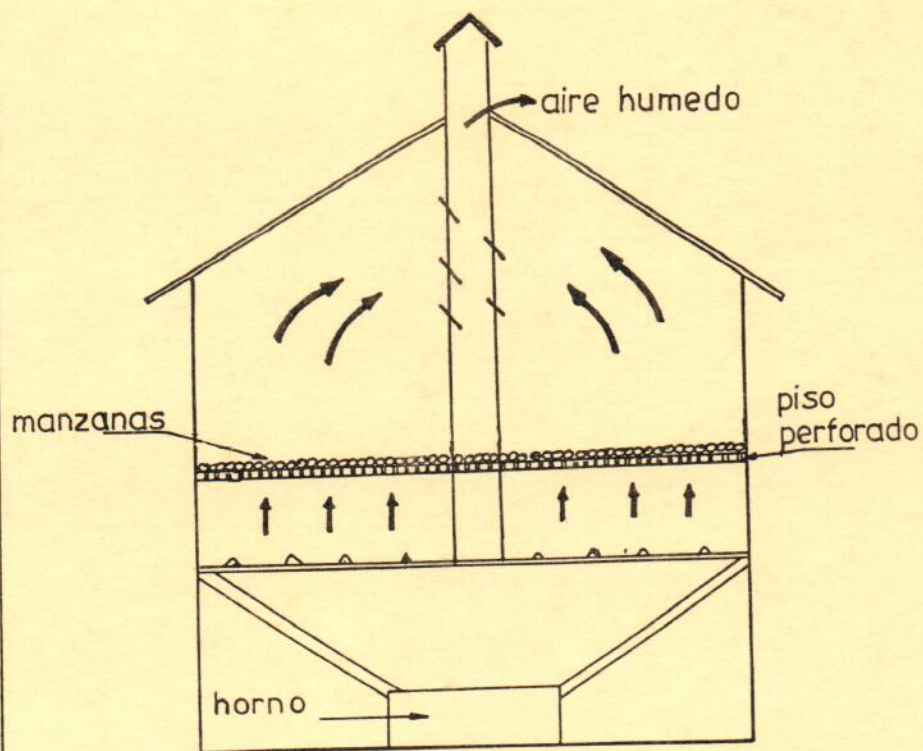


# UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

## DIRECCION DE EXTENSION

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

### DESHIDRATACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS



Autor:  
CECILIA CHANDIA V.  
Ing. C. Químico M.Sc.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA  
Octubre 1989

Boletín de Extensión Nº 41

Chillán

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

DESHIDRATAACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS

Cecilia Chandía V.  
Ingeniero Civil Químico

CHILLAN, septiembre 1989.

## P R O E M I O

La industrialización ha conducido a la organización de urbes cada vez más grandes, circunstancia que lleva consigo un requerimiento de suministro amplio de alimentos estables que se puedan almacenar y transportar con facilidad, que tengan gusto agradable y en general se parezcan lo más posible a los alimentos frescos originales.

La deshidratación de los alimentos tiene como consecuencia resultados de ahorro en peso y volumen a transportar, así como un aumento del tiempo que pueden estar almacenados, comparados con la de los productos frescos.

Estas características y otras hacen atractiva la deshidratación como método de preservación de alimentos.

El propósito de este boletín es recopilar la información básica y aplicada sobre la deshidratación de frutas y hortalizas.

Esta publicación pretende apoyar el diseño, selección y operación de sistemas de deshidratación de frutas y hortalizas.

La autora agradece el apoyo recibido del Departamento de Ingeniería Agrícola y Dirección de Extensión Académica de la Universidad de Concepción, que hicieron posible la materialización de este trabajo.

# INDICE DE MATERIA

<u>CAPITULO</u>		<u>PAGINA</u>
I	INTRODUCCION.....	1
II	DEFINICIONES.....	7
	A. Contenido de humedad, base húmeda.....	7
	B. Contenido de humedad, base seca.....	7
	C. Humedad absoluta.....	8
	D. Aire saturado.....	8
	E. Humedad relativa.....	8
	F. Entalpía mezcla aire-vapor de agua.....	9
	G. Volumen húmedo.....	9
	H. Volumen saturado.....	9
	I. Punto de rocío.....	10
	J. Temperatura bulbo seco.....	10
	K. Temperatura bulbo húmedo.....	10
	L. Determinación temperatura bulbo húmedo..	10
	M. Humedad de equilibrio.....	11
	* Curvas de humedad de equilibrio.....	12
III	CONCEPTOS DE SECADO.....	15
	A. Principios de secado.....	15
	B. Condiciones ambientales.....	16
	Carta psicrométrica.....	16

C. Curvas de secado y velocidad de deshidratación..... 16

D. Parámetros de secado y las características del alimento..... 23

IV

**METODOS Y EQUIPOS DE DESHIDRATACION DE ALIMENTOS..... 26**

A. Deshidratación por ebullición..... 26

B. Deshidratación por arrastre..... 28

1. Secadores discontinuos..... 28

    a. Secador de horno..... 28

    b. Secador de bandeja..... 28

2. Secadores continuos..... 32

    \* Secadores de túnel..... 33

        a. Con carros..... 33

            \* Paralelo..... 34

            \* Contracorriente..... 37

            \* Cruzado..... 37

            \* Con descarga central..... 38

        b. Con cinta transportadora..... 38

C. Otros métodos de secado..... 40

    1. Secador de tambor o cilindro..... 41

    2. Secadores de dispersión..... 41

CAPITULO

PAGINA

V	ASPECTOS GENERALES SOBRE PLANTAS DESHIDRATADORAS.....	45
	A. Elección de equipo de deshidratación.....	45
	B. Abastecimiento de materias primas.....	46
	C. Localización de la planta.....	47
	D. Layout de la planta.....	47
VI	DISEÑO DESHIDRATADOR DE FRUTAS Y HORTALIZAS POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA..	49
VII	APLICACIONES.....	54
	A. Condiciones de deshidratación para algunas frutas y hortalizas.....	54
	B. Relación de conversión para algunos pro - ductos deshidratados.....	55
	C. Algunas características de frutas y horta lizas deshidratadas.....	56
	D. Diagramas de flujos de algunos procesos..	59
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	62

# I N D I C E   D E   F I G U R A S

<u>N°</u>		<u>PAGINA</u>
1	Exportaciones de hortalizas deshidratadas (ton.) v/s Períodos (años).....	3
2	Exportaciones de hortalizas deshidratadas (ton.) años 1986 - 1987.....	4
3	Exportaciones de frutas deshidratadas (ton.) v/s Períodos (años).....	5
4	Exportaciones de frutas deshidratadas (ton.) años 1986 - 1987.....	6
5	Isoterma de adsorción y desorción de agua.....	13
6	Isoterma de adsorción y desorción de cebollas y espárragos a 36°C.....	14
7	Carta psicrométrica para temperaturas normales...	18
8	Carta psicrométrica para temperaturas altas.....	19
9	Curvas típicas para secado discontinuo, condicio_ nes constantes de secado.....	21
10	Curva típica de la velocidad de secado, condicio- nes de secado constantes.....	22
11	Contracción de un fragmento de alimento durante la deshidratación.....	24

N°

PAGINA

12	Secador de horno.....	29
13	Secador de bandeja.....	30
14	Secador con circulación a través del lecho.....	31
15	Túnel con carros paralelo.....	35
16	Túnel con flujo concurrente.....	36
17	Túnel con descarga central.....	39
18	Secador rotatorio de un solo tambor de alimentación por inmersión.....	42
19	Secador atomizador.....	43
20	Isométrica deshidratador frutas y hortalizas.....	51
21	Corte lateral deshidratador frutas y hortalizas..	52
22	Vista frontal deshidratador frutas y hortalizas..	53



## I. INTRODUCCION

La deshidratación es una de las formas más antiguas de preservar los alimentos. Sus orígenes no pueden ubicarse claramente en alguna época histórica, pero muchas de sus prácticas han sido transmitidas y hoy son aplicadas, con mayor o menor grado de desarrollo, en una multiplicidad de productos comestibles. Esta nos permite disminuir considerablemente la perecibilidad del producto, al bajar su contenido de agua a niveles tales que imposibilitan el desarrollo microbiano, no perdiendo características de sabor, aroma y apariencia.

La industria deshidratadora en Chile tiene perspectivas y puede mantenerse como una importante actividad productora agrícola, industrial y exportadora.

En la figura 1, se muestra el enorme crecimiento que se ha tenido en cuanto a la explotación de hortalizas deshidratadas. Esto se debe al incremento de cada una de ellas con la excepción de el ajo deshidratado. El problema específico de el ajo es en lo agrícola (variedad) y en lo industrial (tecnología), también en parte a la bonificación que obtiene el exportador en otros países que son competidores de Chile.

En la figura 2, se muestra un corte en los años 86 y 87. Se puede apreciar que el pimentón se ha constituido en una importante hortaliza de exportación, en el año 87 se ha llegado a exportar 1055 toneladas de pimentón deshidratado, lo que significa aproximadamente el procesamiento de 17.000 toneladas de material fresco. Esto da una idea de la cantidad de producto que se está deshidratando en las plantas.

Del mismo modo la figura 3, muestra el crecimiento en la ex

portación de frutas deshidratadas, desde el año 1983 a la fecha el total de frutas secas exportadas ha aumentado en 2.6 veces. Haciendo referencia a los años 86 y 87 lo que, se muestra en la figura 4, se tiene que los mayores volúmenes exportados han sido de uvas y ciruelas deshidratadas. Se puede observar que las manzanas y mosquetas han ido aumentando sostenidamente en los últimos años.

En los capítulos siguientes se tratará en forma general la deshidratación de frutas y hortalizas.

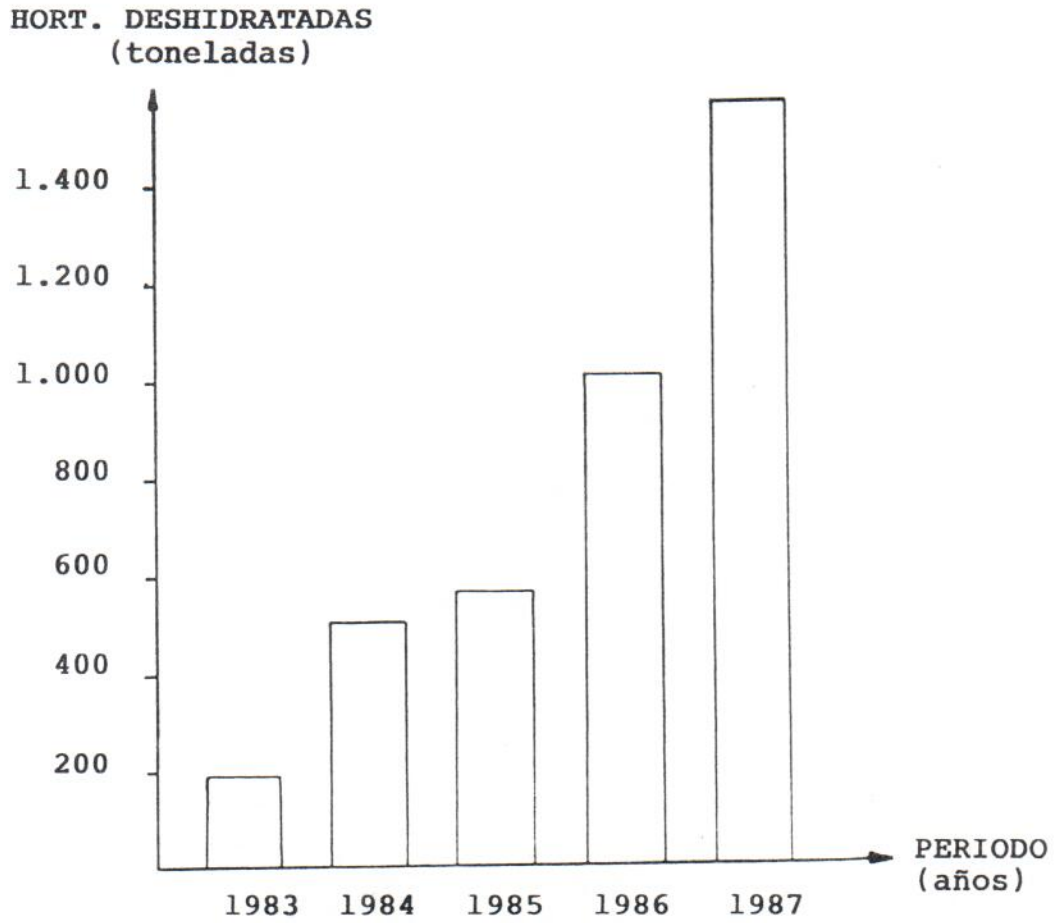


Figura 1. Exportaciones de hortalizas deshidratadas (ton.) v/s Período (años).

HORT. DESHIDRATADAS  
(toneladas)

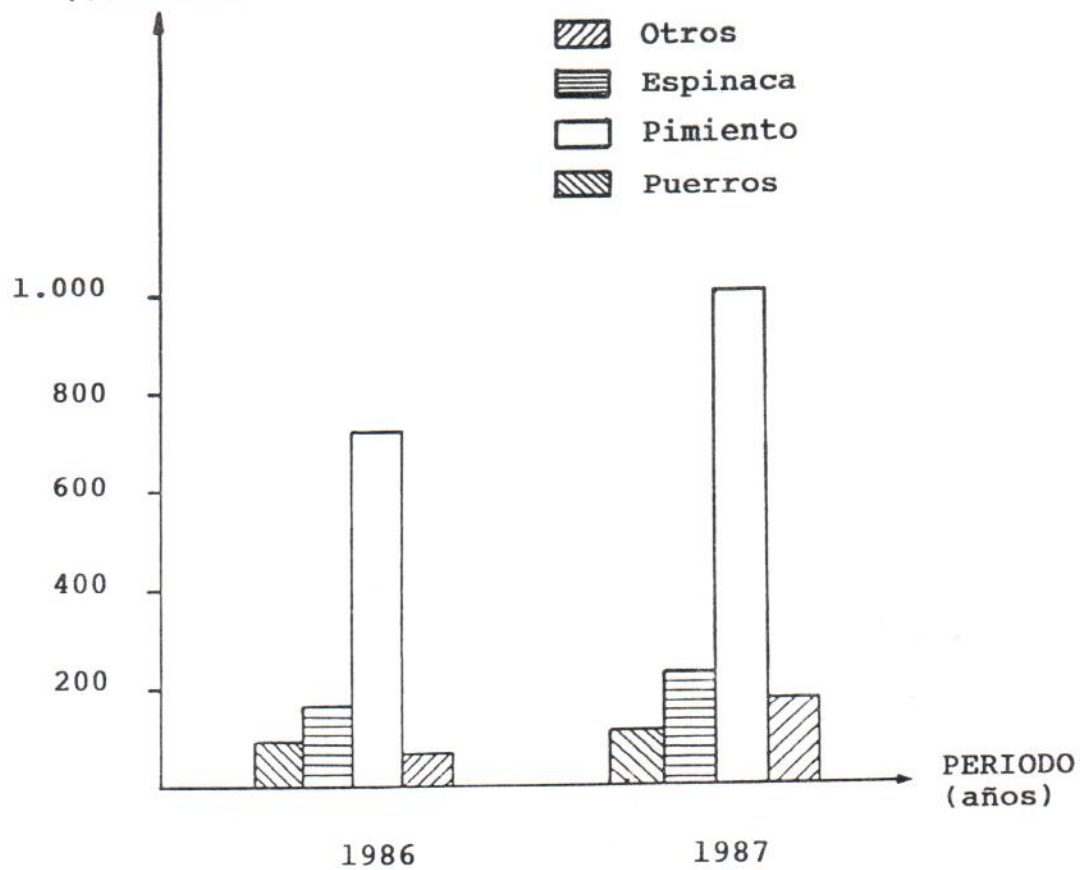


Figura 2. Exportaciones de hortalizas deshidratadas.  
Años 1986 - 1987.

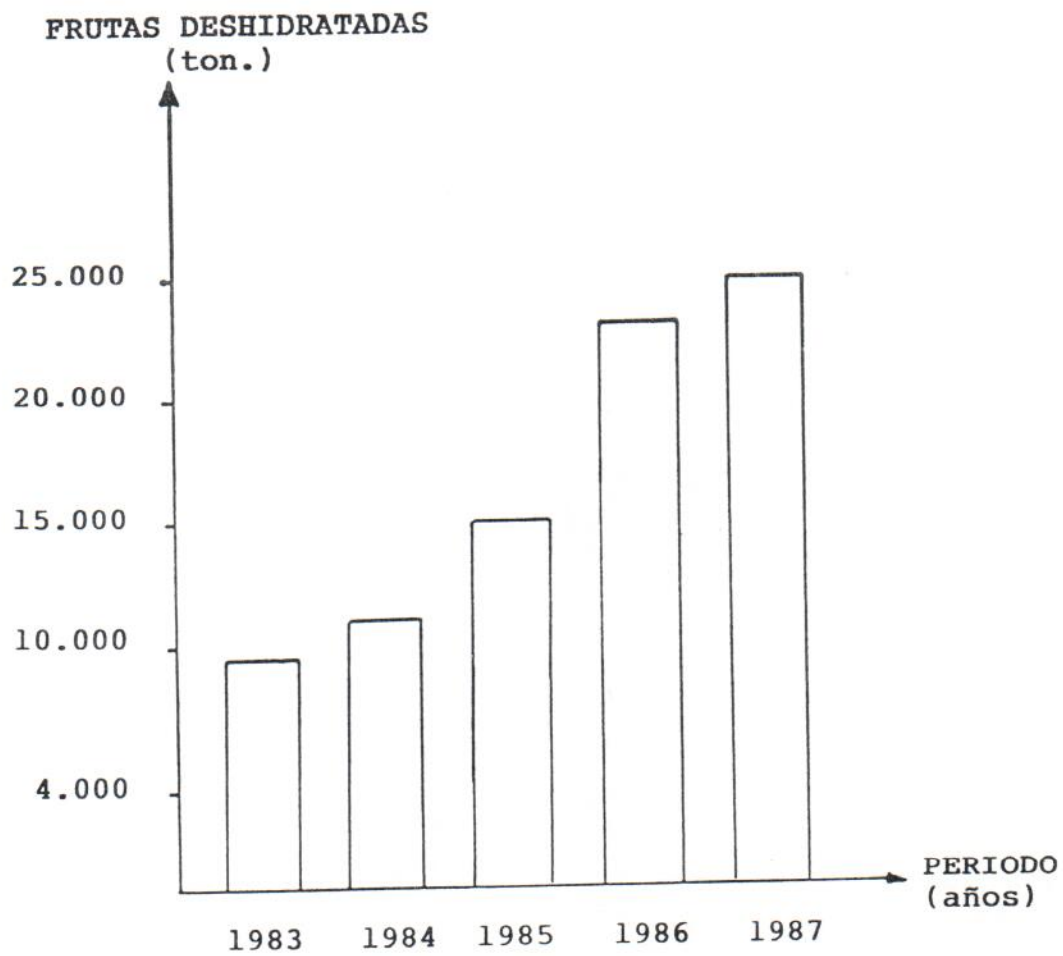


Figura 3. Exportaciones de frutas deshidratadas (ton.)  
v/s Período (años).

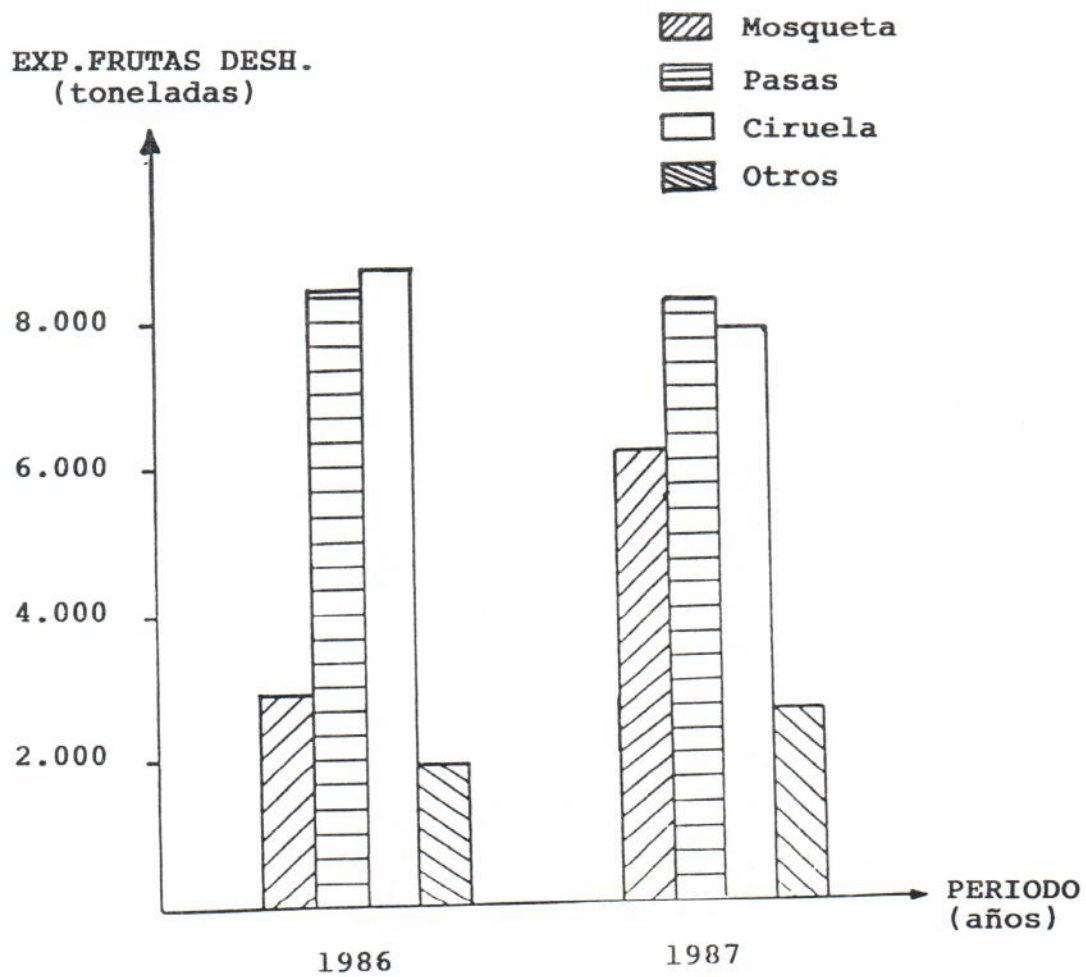


Figura 4. Exportaciones de frutas deshidratadas (ton.)  
Años 1986 - 1987.

## II. DEFINICIONES

Se entrega un resumen de definiciones de términos que se emplean para describir el contenido de humedad de las sustancias.

### A. CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE HUMEDA

Se describe el contenido de humedad en un sólido o en una solución en función del porcentaje en peso de la humedad, generalmente está expresado en base húmeda, es decir:

$$\% \text{ X b.h.} = \frac{\text{g. agua}}{\text{sólido húmedo}} \times 100$$

$$\% \text{ X b.h.} = \frac{\text{g. agua}}{\text{g. sólido seco} + \text{g. agua}} \times 100$$

### B. CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE SECA

Se expresa como:

$$\% \text{ X b.s.} = \frac{\text{g. agua}}{\text{g. sólido seco}} \times 100$$

### C. HUMEDAD ABSOLUTA

H: peso de vapor de agua contenido en la unidad de peso de aire seco, bajo condiciones determinadas. Depende de la presión parcial de vapor de agua en el aire y de la presión total.

$$H = \frac{18 p}{29 (1-p)}$$

H: (Kg agua/Kg aire seco)

p: Presión parcial del vapor de agua en el aire (atmósferas).

### D. AIRE SATURADO

Aire en el que el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida bajo condiciones de temperatura y presión dadas. En este caso, la presión parcial del vapor de agua en la mezcla aire-agua es igual a la presión de vapor del agua pura a esa temperatura.

### E. HUMEDAD RELATIVA O PORCENTAJE DE HUMEDAD

HR: razón porcentual entre el peso del vapor de agua que transporta la unidad de peso de aire seco, y el peso de agua que el mismo peso de aire podría transportar si se saturase en iguales condiciones de presión y temperatura.



## F. ENTALPIA DE UNA MEZCLA AIRE-VAPOR DE AGUA

h: es igual a la entalpía del aire seco más la entalpía del vapor de agua que lo acompaña. Usualmente, se emplean los siguientes estados de referencias para las entalpías:

agua: líquido a 0°C y presión de saturación. La entalpía del agua líquida a 0°C y 1 atm. es 0.022 Kcal/kg. Su calor latente es 597.8 Kcal/kg. bajo las mismas condiciones.

aire: aire seco a -18°C y 1 atm.

Para una mezcla de aire y vapor de agua que contiene X (kg de vapor/kg de aire seco) a t°C la entalpía es:

$$h = 0.24 (t + 18) + X (597.8 + 0.45 t)$$

## G. VOLUMEN HUMEDO

Volumen total ocupado por la unidad de peso (kg) de aire y la humedad que le acompaña, expresadas en unidad de volumen (m<sup>3</sup>).

## H. VOLUMEN SATURADO

Volumen de la unidad de peso (kg) de aire seco más el volumen de vapor necesario para saturarlo.

### I. PUNTO DE ROCIO

Temperatura a la que debe enfriarse una mezcla de aire - vapor de agua, con el objeto de que se sature.

### J. TEMPERATURA DE BULBO SECO

Temperatura de una mezcla aire-vapor de agua determinada ordinariamente introduciendo un termómetro en la mezcla.

### K. TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO

Temperatura estacionaria alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de mezcla aire-vapor de agua no saturada.

### L. DETERMINACION DE TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO Y HUMEDAD DE LA MEZCLA

La determinación de la humedad de la mezcla se puede hacer de diversas maneras, destacándose el método del Punto de Rocío, y algunos métodos psicrométricos, como son la determinación simultánea de las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco. Con este fin un termómetro cuyo bulbo está cubierto con una mezcla humedecida continuamente con agua destilada, se sumerge en una corriente de la mezcla gaseosa que se mueve rápidamente ( se recomienda una velocidad del aire de 3 m/seg, como mínimo ). Final-

mente la temperatura indicada por este termómetro alcanzará un valor menor que la temperatura de otro termómetro puesto directamente en la corriente gaseosa (temperatura de bulbo seco). Sólo si el aire ha alcanzado su punto de saturación ambos termómetros registrarán la misma temperatura.

A partir de estas mediciones, se emplea el Diagrama de Humedades o Diagrama Entalpía Aire-Agua, el cual permite obtener toda la información necesaria que caracteriza la masa de aire húmedo en estudio.

#### M. HUMEDAD DE EQUILIBRIO

La humedad contenida en un sólido húmedo o en un líquido, ejerce una presión de vapor que depende de la naturaleza del sólido y de la temperatura.

Si se expone un sólido húmedo a una corriente continua de gas que tiene una dada presión parcial de vapor, podrá el sólido perder humedad por evaporación, hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a la presión parcial de vapor del gas. Entonces el sólido y el gas se hallarán en equilibrio. Al contenido de humedad del sólido en esas condiciones se le denomina humedad de equilibrio.

La humedad de equilibrio depende del tipo de material que se considere, la dirección hacia donde se alcance el equilibrio (secado o humidificación) y también de la temperatura.

\* Curvas de humedades de equilibrio

Las curvas de humedades de equilibrio o isotermas de adsorción (o de desorción) son las que indican, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que le rodea.

La figura 5, representa una isoterma de adsorción y desorción de agua de un alimento. En cada punto la ordenada indica en gramos por cien gramos de producto seco, el contenido en agua del alimento; la abcisa correspondiente da, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la humedad relativa del ambiente que lo rodea. Al observar la figura, se observa que la desorción y adsorción no siguen el mismo camino, esto se denomina histéresis.

En la figura 6, se presentan las isotermas de adsorción y desorción de cebollas y espárragos a 36°C.

Las isotermas son importantes para predecir la velocidad de difusión del vapor de agua durante el secado, cómo el proceso de secado afectará a la estructura del producto y para determinar las condiciones de almacenamiento de los productos deshidratados.

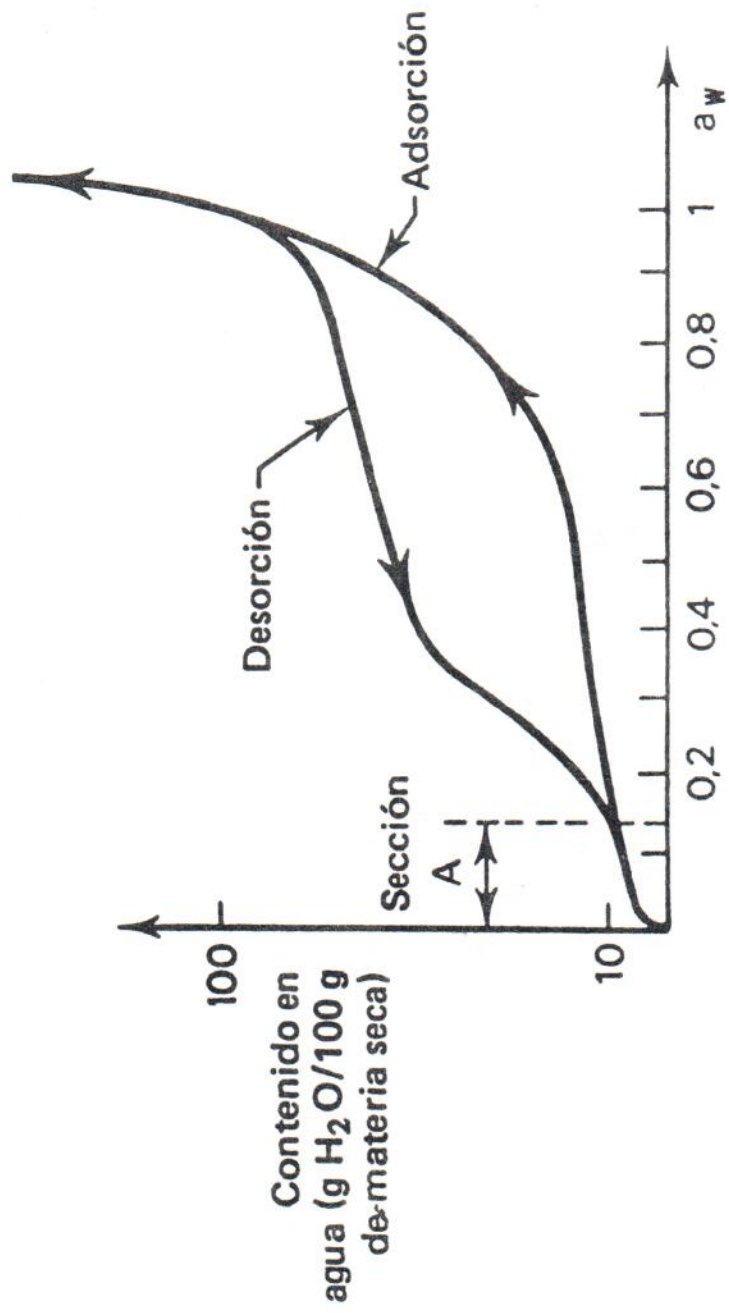


FIGURA 5. Isotermas de adsorción y desorción de agua.

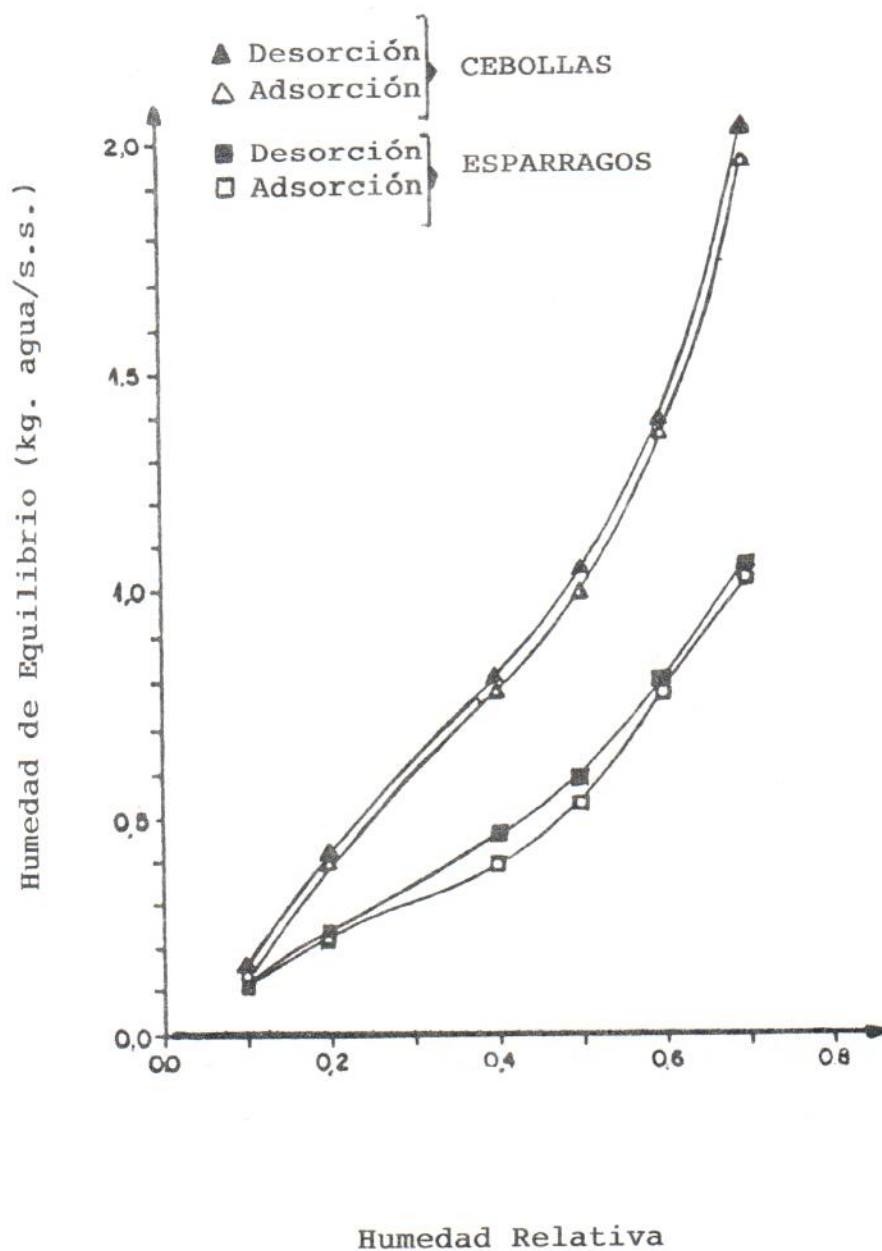


Figura 6. Isothermas de adsorción y desorción para cebollas y espárragos a 36°C.

### III. CONCEPTOS DE SECADO

Las variedades de forma y tamaño de material agroindustrial, de la humedad de equilibrio, del mecanismo de flujo de humedad a través del sólido, de los métodos utilizados para suministrar el calor de vaporización necesario, dificultan dar al problema un tratamiento unificado. Esto también debido a la gran variedad de materiales y a los muchos tipos de equipos que se emplean.

#### A. PRINCIPIOS DE SECADO

En la deshidratación de un producto se reduce el contenido de agua de la superficie, a la vez que se produce un movimiento de humedad desde el interior del sólido hacia la superficie. El proceso de vaporización exige energía, que es conocida como el Calor de Vaporización, el cual debe ser suministrado al producto.

El gas transportador (aire) desempeña dos roles: arrastrar el vapor y suministrar al material la energía térmica necesaria para la evaporación. La temperatura del aire en este caso se mantiene tan alta como sea posible para que no se produzca daño en el material. En general, se puede mantener una temperatura alta cuando el material está húmedo, porque la superficie es enfriada constantemente por la evaporación rápida.

El flujo de aire debe ser lo suficientemente grande para poder arrastrar todo el vapor que se desea eliminar, sin que el aire aumente su contenido de humedad en forma ex-

cesiva. Por otra parte, la velocidad del aire debe ser lo suficientemente grande como para reducir la resistencia del vapor al escapar de la superficie del sólido.

## B. CONDICIONES AMBIENTALES

### Carta Psicrométrica

El estudio de las variables que inciden en las operaciones de deshidratación se ve enormemente facilitado mediante el uso de algún tipo de carta psicrométrica. La más usual de todas es la que describe el sistema aire-agua a 1 atmósfera de presión total. Las coordenadas son rectangulares, con graduaciones uniformes; la temperatura del aire en la abscisa y la humedad absoluta en la ordenada. Líneas isotermas de bulbo húmedo, curvas de humedad relativa, de calor de evaporación, son algunos elementos importantes que conforman el diagrama.

Las figuras 7 y 8 muestran la carta psicrométrica para el sistema aire-agua.

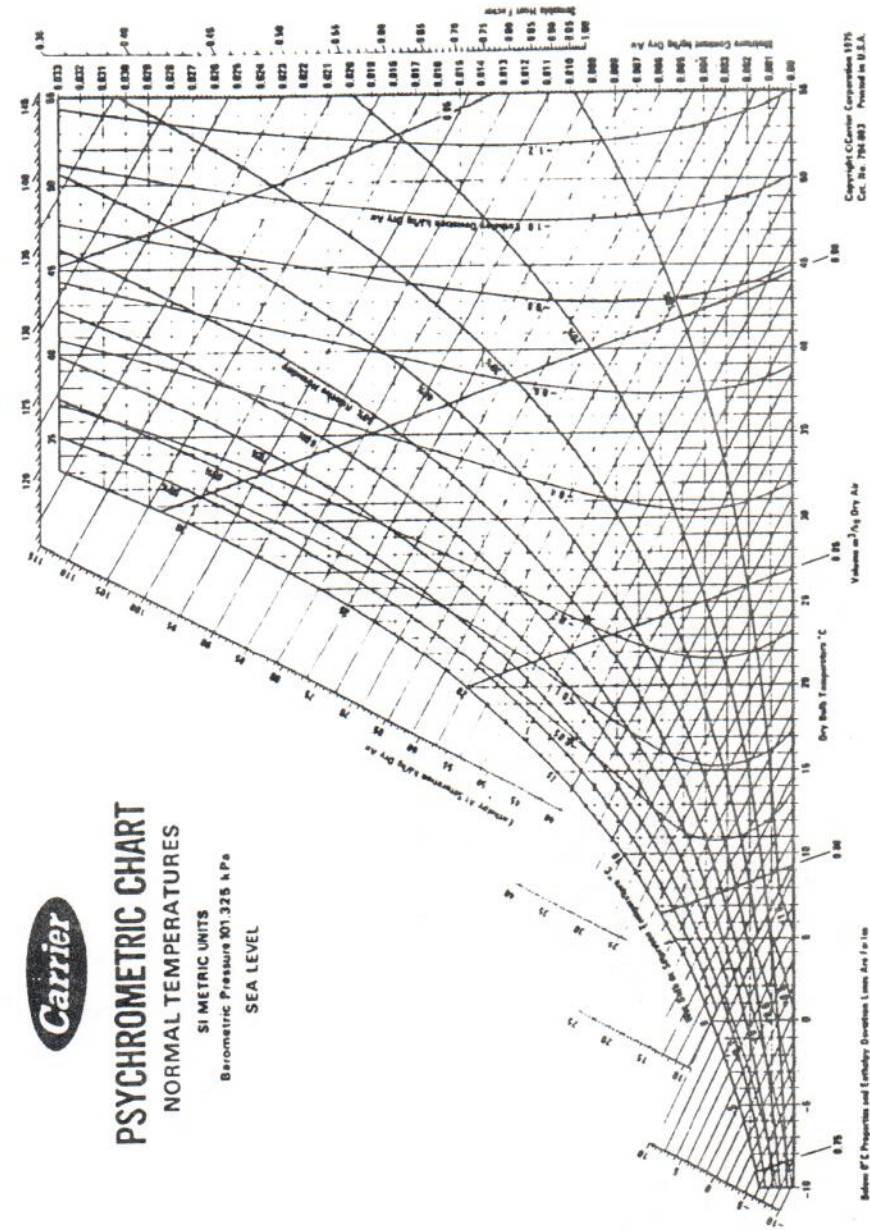
## C. CURVAS DE SECADO Y VELOCIDAD DE DESHIDRATACION

Al secar un producto, por ejemplo manzanas, empleando aire con temperatura y humedad fijas, aparece siempre un patrón general de comportamiento: inmediatamente después del contacto entre la muestra y el medio secante, la temperatura del sólido se ajusta hasta que alcanza un estado estacionario. Durante esta etapa, la temperatura de



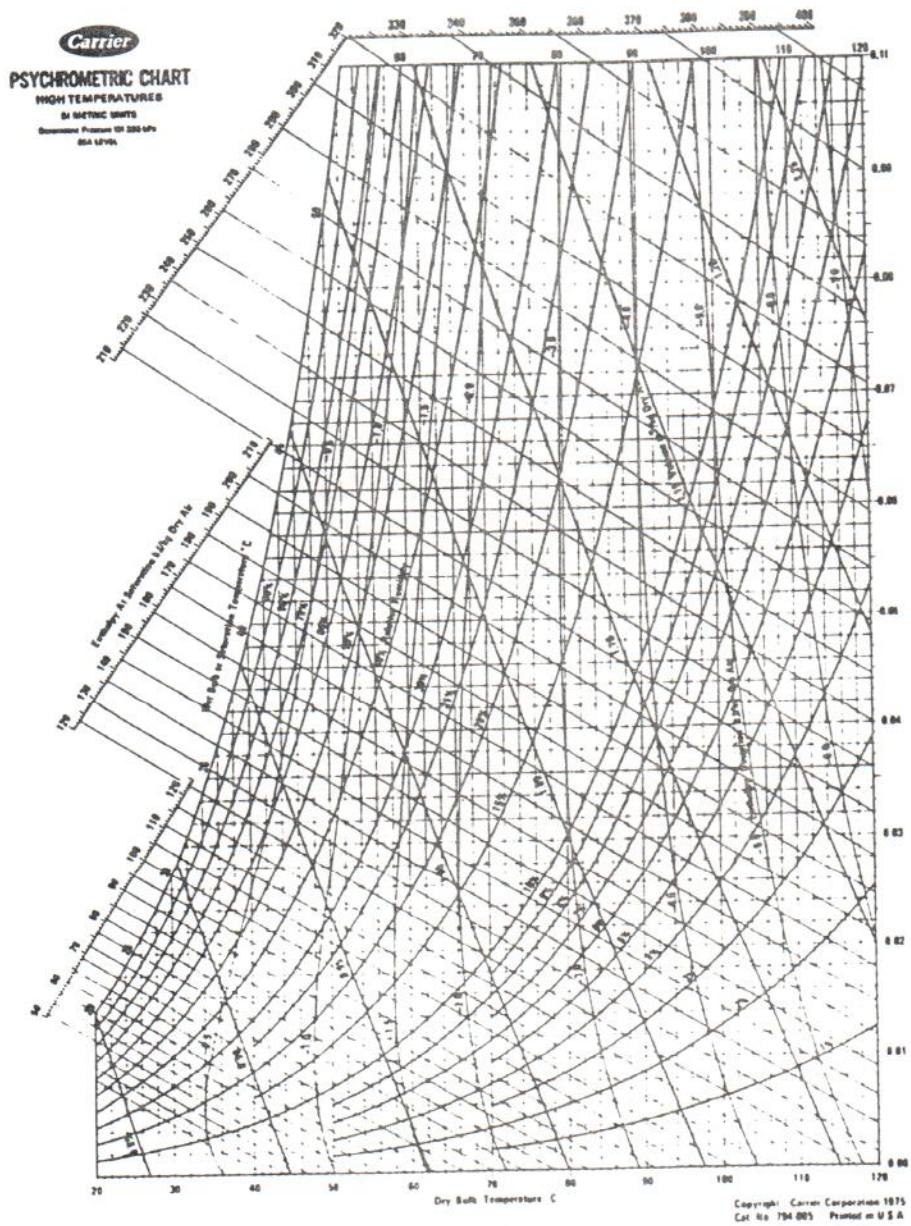
la superficie húmeda del sólido es la temperatura del bulbo húmedo del medio secante. Las temperaturas dentro del sólido tenderán a igualar también la temperatura del bulbo húmedo del aire y una vez alcanzado dicho valor, el régimen de secado es prácticamente constante (período de secado a velocidad constante). El período termina cuando el sólido alcanza el contenido crítico de humedad,  $X_c$ . Más allá de este punto, la temperatura de la superficie aumenta y la velocidad de secado disminuye rápidamente (períodos de secado a velocidad decreciente). El número y tipo de períodos decrecientes están determinados básicamente por los mecanismos de retención y movimiento de agua al interior del sólido.

Los sólidos orgánicos, a saber vegetales o animales, son en su mayoría amorfos, fibrosos o coloidales. Estos materiales retienen la humedad como una parte integral de la estructura del sólido, o bien la mantienen atrapada dentro de la fibra o en el interior de los poros o de los vasos capilares. En el deshidratado de alimentos, se observa en general una baja velocidad de difusión del líquido a través de la estructura sólida, mostrando las curvas de secado períodos muy cortos de velocidad constante, finalizando en valores altos de  $X_c$ . Luego, viene un primer período de velocidad decreciente que también es reducido: en esta etapa la superficie del sólido está parcialmente mojada. El secado completo y más extenso, tiene lugar en un segundo período de velocidad decreciente, en el cual el sólido presenta su superficie seca y el peso controlante es el régimen a que puede moverse la humedad a través del sólido, como consecuencia de los gradientes de concentración entre las partes más profundas y la superficie.



1982—AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK

Figura 7. Carta psicrométrica para temperaturas normales.



AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK—1982

Figura 8. Carta psicrométrica para temperaturas altas.

La figura 9, muestra curvas típicas de secado, la primera trazada sobre la base de contenido de humedad del sólido versus tiempo de secado y la otra, sobre la base de velocidad de secado versus tiempo de secado.

La velocidad de secado,  $N$ , se define como:

$$N = \frac{-L_s}{A} \frac{dX}{d\theta}, \text{ donde}$$

$N$  = velocidad de secado.  
(kg. humedad/m<sup>2</sup> - seg.)

$L_s$  = peso de sólido seco.  
(kg s.s.)

$A$  = área de secado (m<sup>2</sup>).

$X$  = humedad del sólido en base seca.  
(kg. humedad/kg s.s)

$\theta$  = tiempo de secado (seg)

La resolución de la ecuación anterior para los diferentes períodos de secado permite cuantificar las principales variables que se relacionan con el diseño de equipos industriales.

La figura 10, muestra otro tipo de curva del régimen de secado. En la ordenada se ha graficado la velocidad de secado  $N$ , y en la abscisa el contenido de humedad del sólido,  $X$ . Las condiciones de secado se han mantenido constantes.

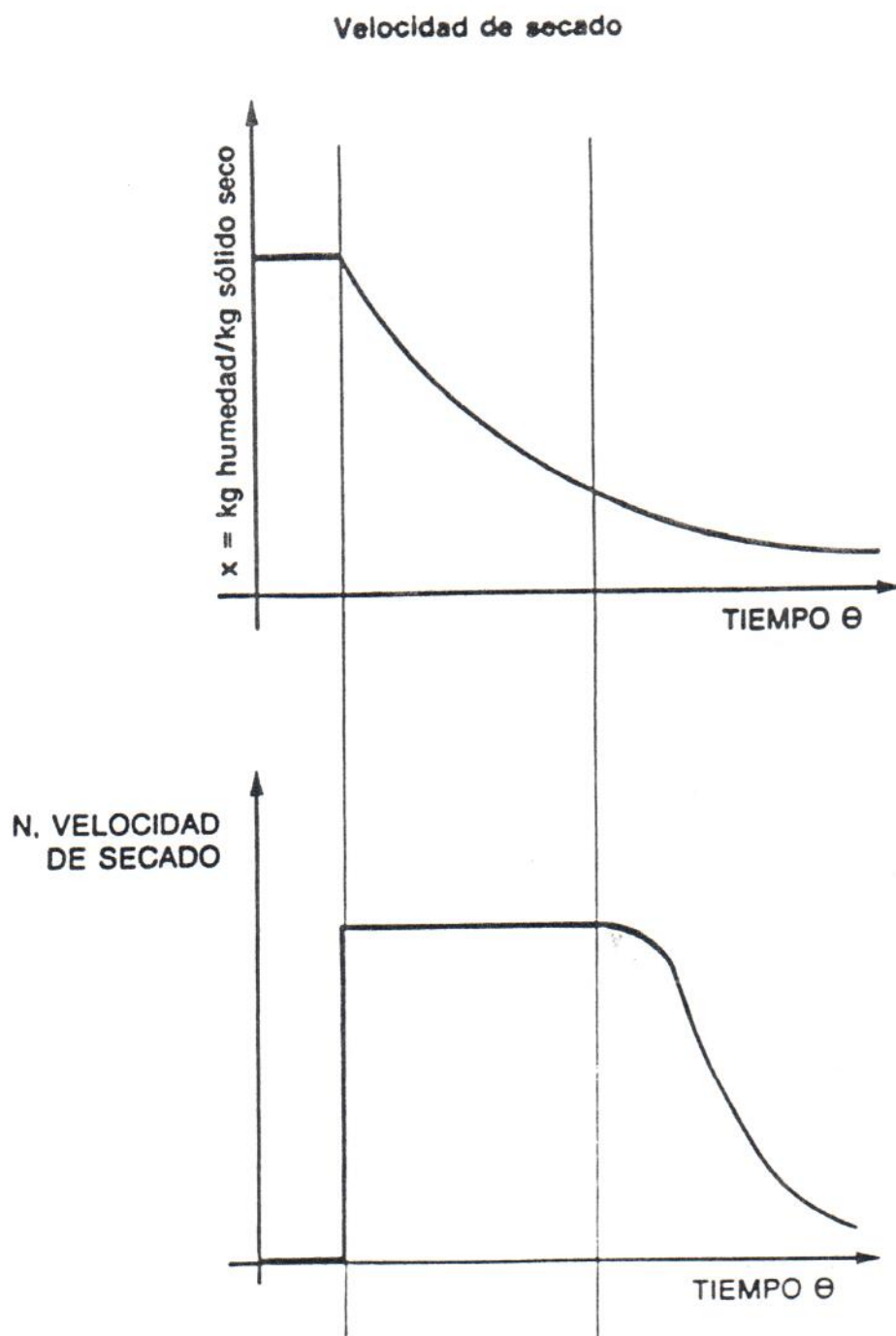


Figura 9. Curvas típicas para secado discontinuo, condiciones constantes de secado.

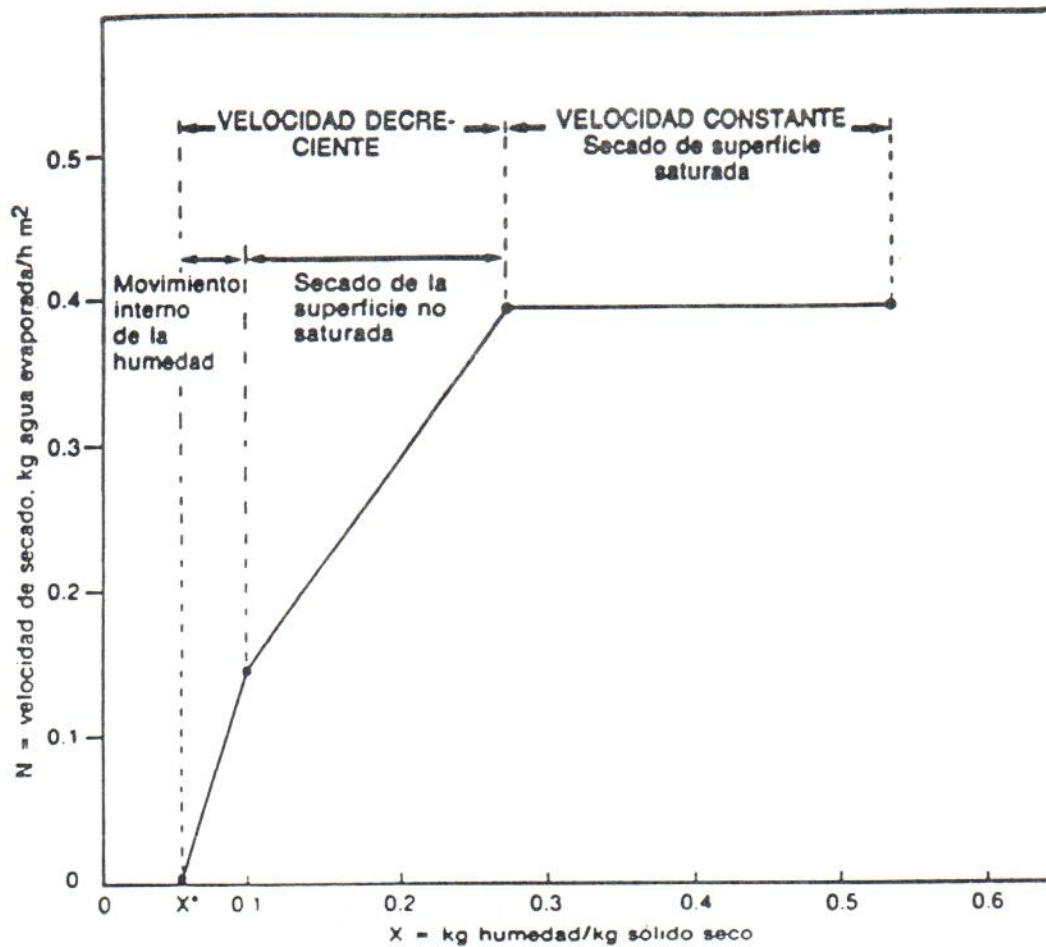


Figura 10. Curva típica de la velocidad de secado, condiciones de secado constantes.

Generalmente se encuentran dos partes notorias, un periodo de régimen constante y uno de velocidad decreciente. La humedad del material cuando ocurre el cambio de régimen desde velocidad constante a velocidad decreciente se denomina humedad crítica,  $X_c$ .

#### D. PARAMETROS DE SECADO Y LAS CARACTERISTICAS DEL ALIMENTO

La velocidad de cada una de las fases de secado depende, en gran parte, de las características propias del alimento.

Un contenido elevado en agua acelera la velocidad inicial de secado. La transferencia de vapor de agua durante la primera etapa de secado es proporcional a la amplitud de la superficie del alimento. Dos medios cubos secarán unas 1.33 veces más rápido que un sólo cubo del mismo peso. Durante la segunda etapa de secado, el fraccionamiento de los alimentos aún favorece todavía más la velocidad de secado.

Por otro lado, los parámetros de secado influyen acusadamente sobre la calidad de los alimentos deshidratados. Cuando el secado inicial es muy rápido (aire de secado que presenta una fuerte diferencia entre la temperatura "seca" y la temperatura "húmeda") el vapor de agua puede eliminarse en la superficie del producto más rápidamente que el que se desplaza del centro del producto hacia la superficie. Estas condiciones originan, algunas veces, una fuerte contracción de la capa superficial, que entonces opone una fuerte resistencia al posterior pase del vapor. En el caso de las frutas la formación de esta "corteza" se debe, en

parte, al comportamiento de los azúcares.

Al secar algunas hortalizas o legumbres cortadas, no hay peligro de la formación de " corteza " y por tanto, puede ser conveniente secar muy rápido. Si el secado inicial es lento, la transferencia de materia del centro hacia la su perficie se hace bajo la forma de agua líquida y no de va por de agua. El agua arrastra así azúcares y sales que terminan por formar una capa pegajosa que retarda considera blemente el secado.

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

En la figura 11, se muestra el cambio de forma en zanahorias durante la deshidratación.



Figura 11. Contracción de un fragmento de alimento durante la deshidratación.



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

También surgen diversas reacciones de deterioro. La más problemática es el pardeamiento no enzimático que modifica desfavorablemente el color, sabor, valor nutritivo y a veces también la capacidad de rehidratación de los alimentos. Estas reacciones son inhibidas parcialmente o retrasadas por el empleo de anhídrido sulfuroso.

#### IV. METODOS Y EQUIPOS DE DESHIDRATACION DE ALIMENTOS

El secado de un alimento se efectúa por dos métodos básicos:

- Por ebullición.
- Por arrastre.

##### A. DESHIDRATACION POR EBULLICION

Se puede dividir en tres casos:

- \* Secado de productos que contienen un solvente que se desea recuperar.

Esta operación se realiza en equipos cerrados, a presiones bajas y con un condensador de solvente. Los materiales que provienen de procesos de extracción sólido-líquido son secados en aparatos de este tipo.

- \* Secado de productos que pueden alterarse en contacto con el aire.

Esta deshidratación se realiza en aparatos de ebullición que trabajan al vacío. Generalmente son discontinuos. El secador más corriente, en este tipo, es un estante formado por platos o bandejas superpuestas que contienen el producto a secar.

El calentamiento se efectúa por contacto directo de los platos calentados por energía eléctrica, vapor, agua caliente u otro medio, con el producto.

Están provistas de condensadores de superficie y bombas de vacío. Se emplean principalmente para el secado de pro

ductos farmacéuticos, antibióticos y otros, y , en ciertos casos, para el secado de legumbres, carnes y pescados.

\* Liofilización o secado en estado congelado.

Consiste en congelar el producto a deshidratar y luego someterlo a una presión inferior al punto triple del agua (4.5 mm de Hg). En estas condiciones el hielo se sublima. En la liofilización se tiene las siguientes etapas:

- Congelación previa
- Deshidratación primaria
- Deshidratación secundaria

Al disminuir la temperatura por medio de su exposición a un aire muy frío, se va separando el agua libre, formando cristales y aumentando la concentración del líquido que queda. Cuando se llega al punto eutéctico de la solución, se solidifica también el líquido intersticial. Una vez congelado el producto, se disminuye la presión para que el hielo sublime, evitando que la temperatura sobrepase el punto de fusión. El agua se elimina del sistema mediante un condensador.

Cuando el agua en forma de hielo se ha eliminado por sublimación, queda aún el agua ligada que hay que eliminar. Para esto se eleva la temperatura y se disminuye la presión, operación que se hace larga y difícil.

Se pueden secar mediante este método las sustancias que no admiten calentamiento ni aún a temperaturas moderadas, tales como antibióticos, vitaminas y también algunos alimentos principalmente ricos en proteínas, ya que se conservan así las características del producto natural.

El costo de sus instalaciones es alto, derivado de la dificultad de evaporar el agua obtenida a presiones tan pequeñas.

## B. DESHIDRATACION POR ARRASTRE

En el caso de deshidratación por arrastre, una corriente de gas, normalmente aire, arrastra la humedad contenida en el material sólido. El agua extraída no se recupera.

Los secadores por arrastre se pueden clasificar de la siguiente manera:

### 1. Secadores discontinuos

Se limita a operaciones en pequeña escala, a trabajos en plantas piloto o de desarrollo.

#### a. Secador de horno

Es un edificio de dos pisos con un horno situado en el primer piso como se observa en la figura 12. El aire caliente y los gases de combustión se elevan por convección natural o forzada a través del suelo enrejado del segundo piso, sobre el que se esparce el producto húmedo en una capa uniforme, de 10 a 20 cm. Principalmente se seca rodajas de manzanas y lúpulo.

#### b. Secador de bandeja

En la figura 13 se muestra un secador de este tipo. Están dotados de bandejas perforadas sobre las que se deposita el sólido húmedo. Una vez cargado el deshidratador,

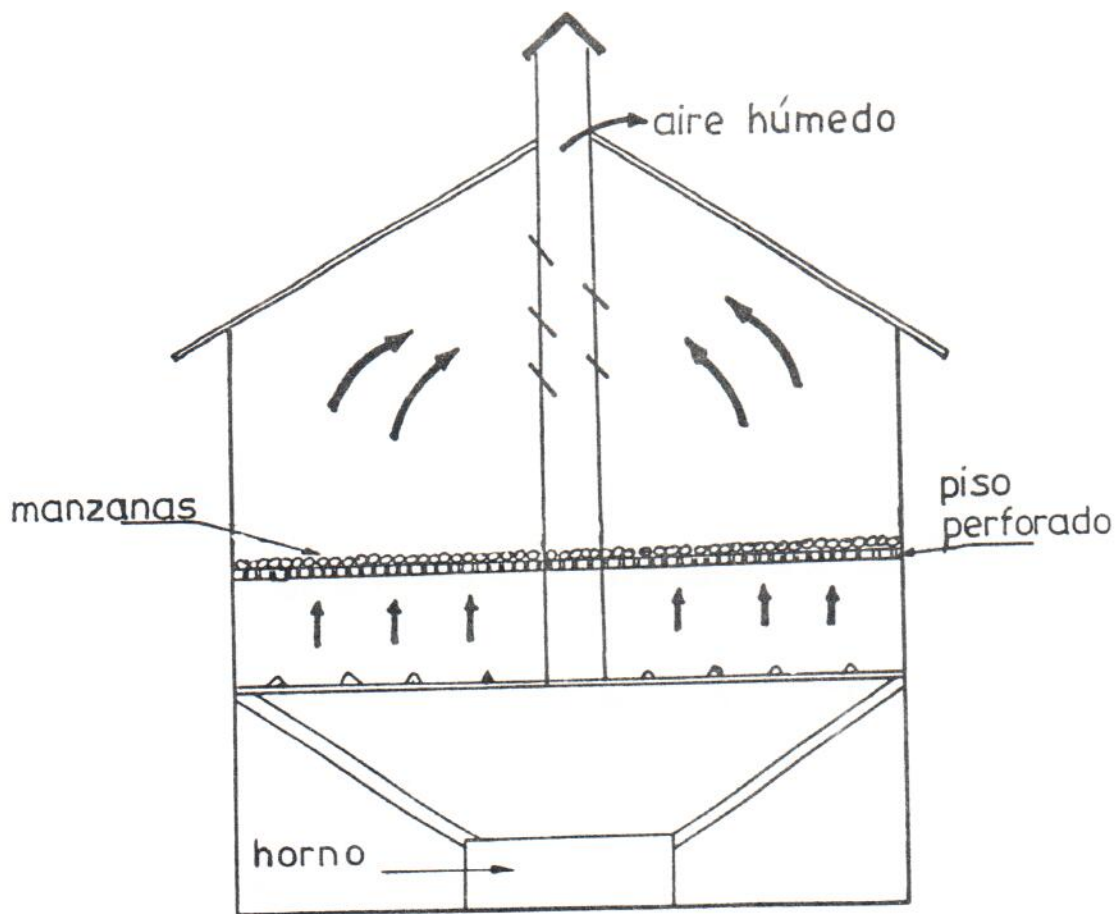


Figura 12. Secador de horno.

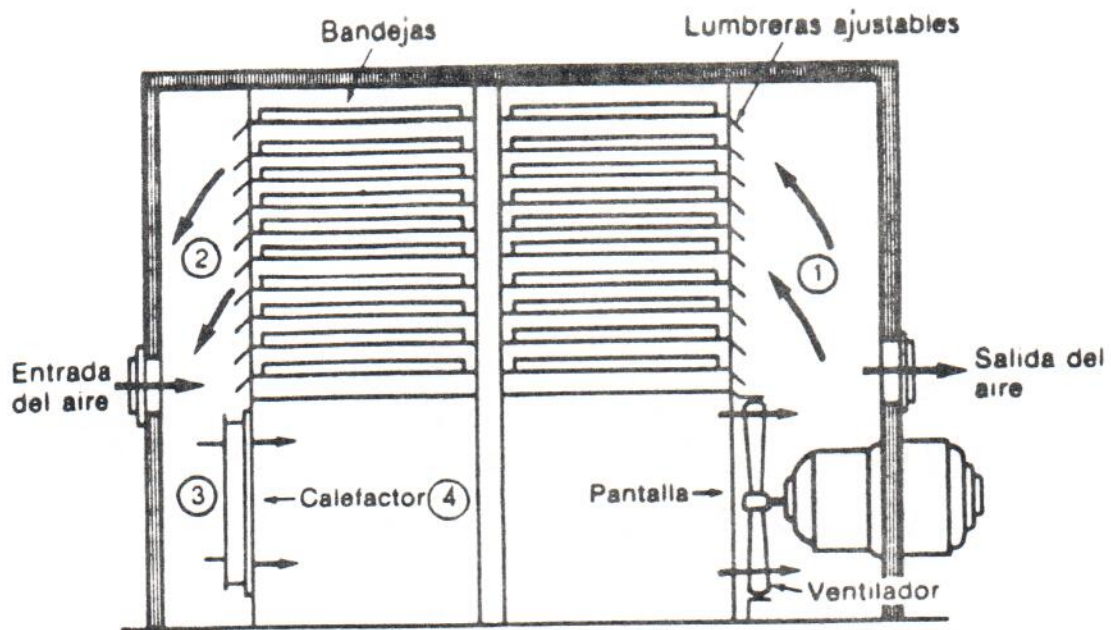


Figura 13. Secador de bandeja.

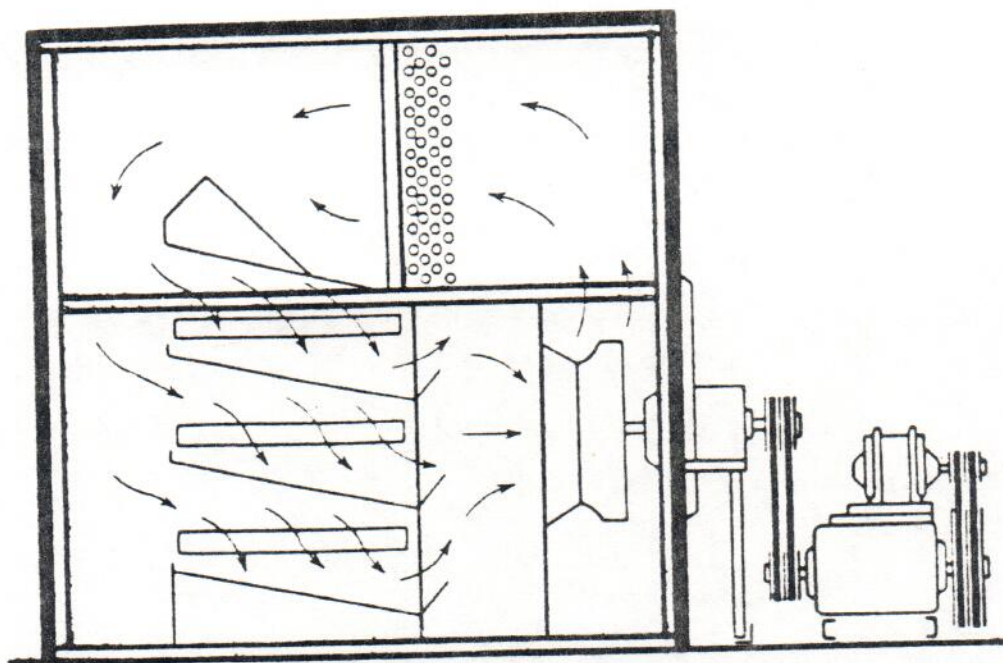


Figura 14. Secador discontinuo con circulación a través del lecho.

se cierra y el aire se introduce por un costado del secador y es forzado a circular a través de serpentines de calefacción. Luego se pone en contacto el aire caliente con el sólido de manera paralela, a través o en flujo cruzado, dependiendo del diseño particular.

En la figura 14, se muestra un secador discontinuo con circulación a través del lecho sólido. Se dispone en las bandejas un delgado lecho de material granular, de modo que pueda pasar el aire a través de él. Esto da lugar a un secado más rápido.

Los secadores discontinuos o por cargas son de una gran versatilidad y de bajo costo. Una de las grandes dificultades en su uso es la no uniformidad del contenido de humedad que se logra en el producto terminado. Esto se debe a la desuniformidad del movimiento del aire dentro del secador.

Se ocupan para deshidratar una gran variedad de frutas y vegetales, aunque tienen el inconveniente de su pequeña capacidad de producción (menos que 50 Kg. producto fresco/hora).

## 2. Secadores continuos

La operación continua es la operación en la cual el sólido húmedo está siendo alimentado constantemente al secador a la vez que el producto seco se descarga.

Los secadores continuos se clasifican de acuerdo al sentido de circulación entre el gas y el sólido húmedo. Existen equipos con circulación en contracorriente, corrien-



tes paralelas y corrientes cruzadas. Otra clasificación puede establecerse según el tipo de circulación del sólido por el interior del secador: hay equipos de correa perforada sin fin, de tambor rotatorio, de túnel con carros transportadores, etc.

#### \* Secadores de Túnel

Son los aparatos más usados para deshidratado de frutas y hortalizas.

Se puede usar calentamiento directo o indirecto del aire. En el calentamiento directo del aire los productos de la combustión son mezclados y circulados con el aire. El combustible es generalmente gas natural, butano u otro derivado del petróleo.

En el calentamiento indirecto intercambiadores de calor, que usan vapor o gases de combustión en el interior de tubos, calientan al aire que pasa a través de él.

Existen dos tipos de secadores de túnel:

- Túnel con carros.
- Túnel con cinta transportadora.

##### a. Túnel con carros

Permiten el secado en forma continua de frutas y hortalizas trozadas. Están compuestos por un túnel de hasta 25 m. de longitud y área transversal cuadrada de  $2 \times 2 \text{ m}^2$ . El material húmedo se esparce sobre las bandejas las cuales son montadas en forma de pilas sobre los carros. A medida que un carro entra por el "extremo húmedo" del túnel, sale otro con producto

seco por el "extremo seco". El aire es impulsado por ventiladores a través de calentadores.

Los túneles continuos se clasifican de acuerdo al sentido de circulación del aire y los carros a través de él. Así tenemos equipos con circulación en contracorriente, cruzados y paralelos.

#### \* Túneles Paralelos

En la figura 15, se muestra el esquema de un túnel paralelo que tiene como características principales:

- En el extremo húmedo del túnel (entrada de carros) se alcanzan grandes velocidades de evaporación. Por esto se pueden usar temperaturas de aire relativamente elevadas sin riesgo de recalentamiento o tostado. Este secado inicial rápido origina una pequeña contracción obteniéndose un producto final de baja densidad global.
- A medida que los carros avanzan en el túnel, se encuentran con aire más frío y más húmedo, lo que hace menor la velocidad de secado, minimizándose los problemas del producto debidos a exceso de calor.
- Es difícil obtener productos finales con pequeños contenidos de humedad, ya que a la salida del túnel se tiene las condiciones más pobres de secado.

Otro diseño de túnel paralelo es el que se muestra en la figura 16. Este consta de dos túneles con carros y un segundo piso donde se encuentra el ventilador.

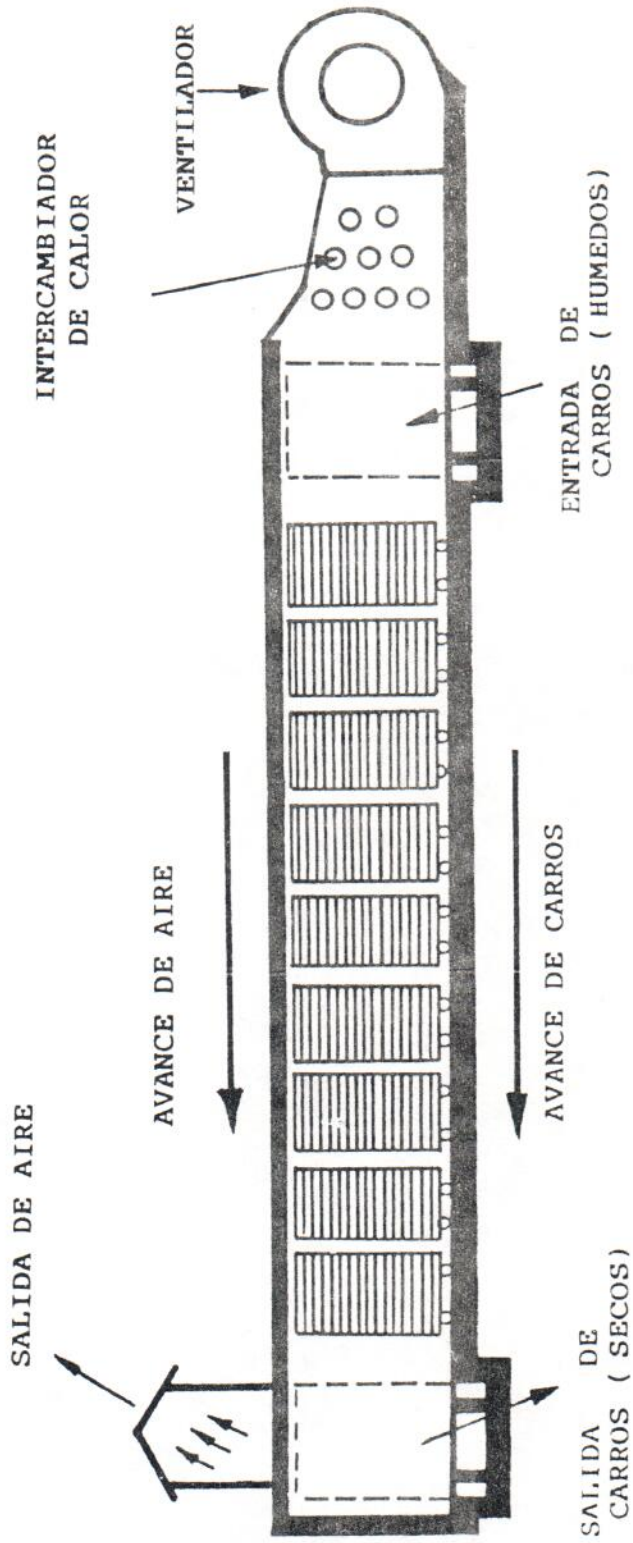


Figura 15. Túnel deshidratado paralelo.

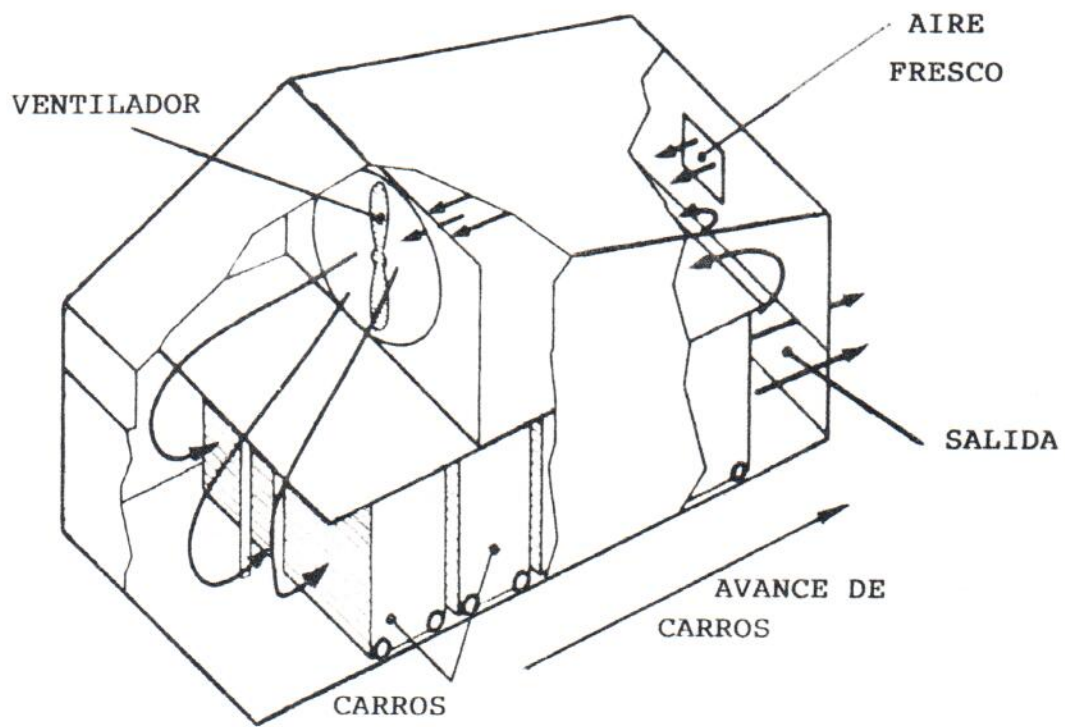


Figura 16. Túnel con flujo concurrente.

**\* Túneles con circulación en contracorriente**

En este túnel el flujo de aire es contrario al avance de los carros, el esquema sería similar al "sistema paralelo" intercambiando salida de carros por entrada.

Sus principales características son:

- En el extremo húmedo del túnel se logran pequeñas velocidades de secado debido a que el aire en este extremo, sale con la humedad que ya ha extraído. Esto origina una gran contracción obteniéndose un producto final con una alta densidad global.
- A medida que el producto avanza en el túnel, se encuentra con aire más caliente y más seco, lo que hace mayor la velocidad de secado, corriendo riesgos de daños por altas temperaturas.
- Es posible obtener productos con bajo contenido de humedad ya que a la salida de los carros se tiene aire con buenas condiciones de secado.

**\* Túnel con circulación cruzada**

- En el " sistema cruzado " a medida que los carros avanzan, el flujo de aire cruza en sentido transversal al túnel.

Puede tener varias unidades de calefacción lo que aumenta en gran medida los costos. Sus principales características son:

- Se obtiene un producto con contenidos de humedad uni-

formes, debido a los cambios de dirección del aire.

- Al funcionar con unidades de calefacción entre etapas se logra una gran flexibilidad en el control.

#### \* Túnel con descarga central

Como se vió el túnel paralelo ofrece excelentes condiciones de secado en la primera sección donde el producto está muy húmedo. Sin embargo, el túnel con circulación en contracorriente ofrece condiciones superiores en el extremo seco. Combinando ambos sistemas se tiene el túnel con descarga central, el cual consta de un ventilador sencillo en el centro. Se lleva con ello aire caliente hacia el sistema desde los dos extremos, y el aire, después de estar en contacto con los alimentos se elimina parcialmente por el centro o recircula según sea necesario. Este túnel se muestra en la figura 17. Sus principales características son:

- Tiempos de secado más pequeños, por lo que se pueden conseguir mayores capacidades de producción respecto a las unidades sencillas de tamaño similar.
- En general, se puede lograr un mejor control de las condiciones de secado, aunque es difícil conseguir un buen flujo de aire en el centro del túnel.

#### b. Túnel con cinta transportadora

Es similar al túnel con carros con la diferencia de que el producto húmedo se desplaza a través del sistema sobre una cinta móvil.

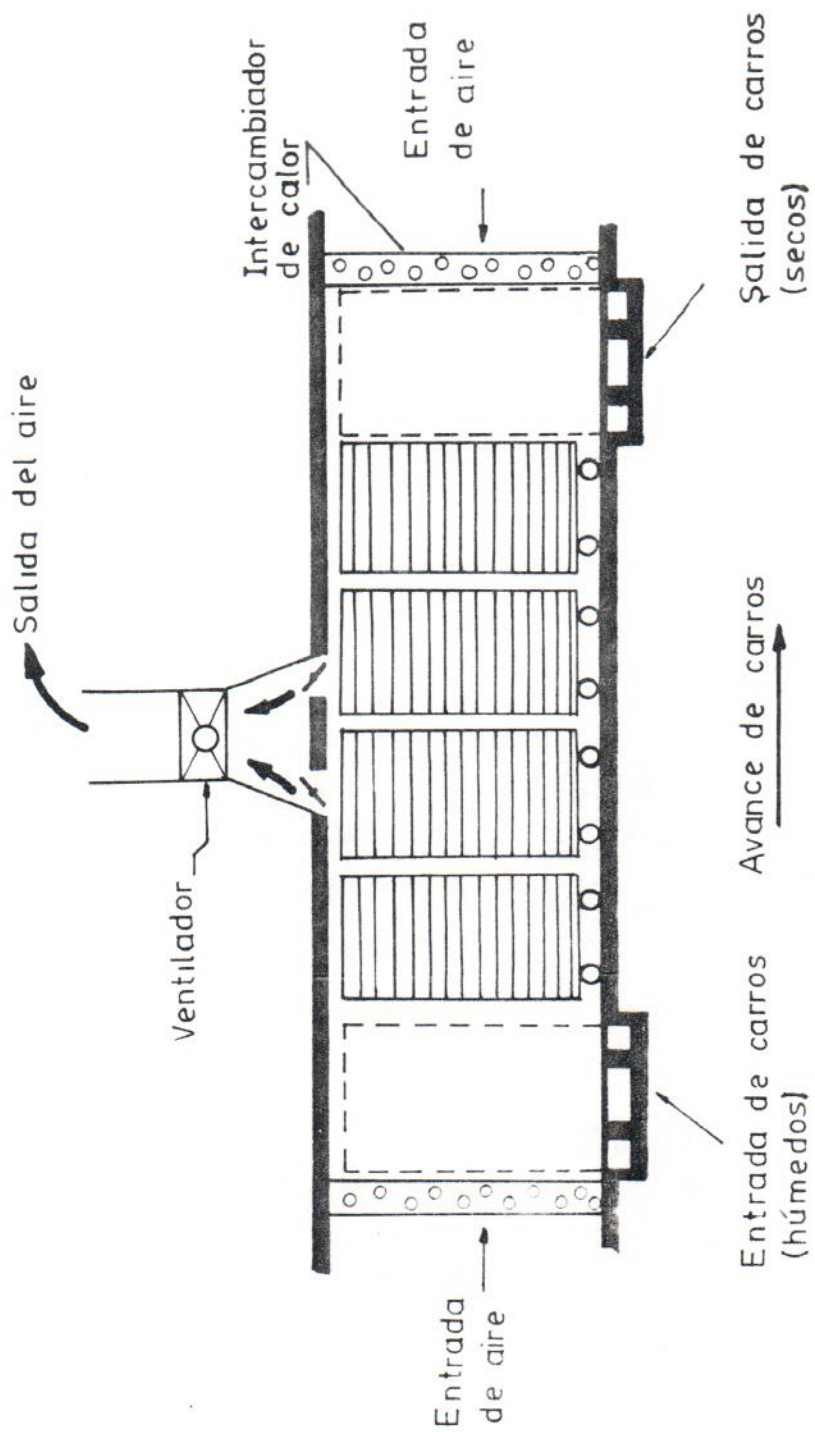


Figura 17. Túnel de deshidratado con descarga central.

Se puede utilizar cualquier sistema de movimiento producto-aire descritos para el túnel con carros, pero el más utilizado en la práctica es el sistema de flujo directo, en el que se dirige el aire sobre la cinta y la capa de producto. Generalmente se utiliza movimiento hacia arriba del aire en la primera sección, es decir, en el " extremo húmedo " del túnel, y movimiento hacia abajo del aire en el " extremo seco " para evitar el esparcimiento del producto seco de poca densidad.

Sus principales características son:

- Se obtienen grandes velocidades de secado, debido a la superficie relativamente grande expuesta al aire de secado, al camino relativamente corto que debe seguir la humedad interna y al buen contacto entre el aire y el producto.
- Se debe preparar el producto húmedo de forma que tenga un estado de subdivisión adecuado, que permita un buen flujo de aire a través de la capa situada sobre la cinta.

### C. OTROS METODOS DE SECADO

Existen otros procedimientos de deshidratación, entre los que se cuentan el secado directo de líquidos y lechadas. Para pasar directamente del estado líquido al sólido se usan los secadores de cilindro y los secadores de dispersión, cuyas características principales se dan a continuación.



## 1. Secadores de tambor o cilindro

Tambores o cilindros de metal, calentados internamente con vapor de agua y que lentamente dan vueltas, se sumergen en forma continua dentro de una batea que contiene la sustancia a secar, y una delgada película de sustancia queda retenida en la superficie del cilindro. El líquido se adhiere a la superficie del tambor mientras se va secando, y al otro lado un cuchillo rozante va separando el producto seco que cae en ductos o cintas transportadoras.

En la figura 18, se muestra un secador rotatorio de un solo tambor de alimentación por inmersión.

La alimentación de la solución o lechada a secar se puede efectuar también por gravedad. En la industria alimentaria se emplean estos secadores para deshidratar pastas, leche, papas, purés de tomate, manzana entre otros.

## 2. Secadores de dispersión

El principio de estos equipos es la dispersión en una corriente de aire caliente de la solución a desecar, en forma de gotas. Las partículas secas son separadas de la corriente gaseosa y colectadas, mientras la mezcla aire-vapor de agua es descargada al exterior.

Los principales elementos de un sistema de secado se muestran en la figura 19 y son los siguientes:

- Sistema de calentamiento de aire (por combustión directa, intercambiador de calor, resistencia eléctrica)

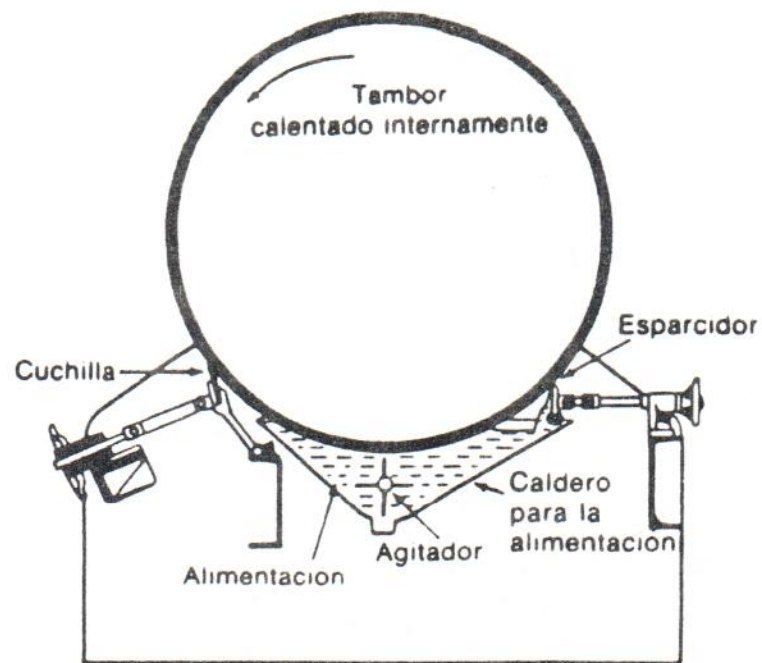


Figura 18. Secador de un solo tambor de alimentación por inmersión.

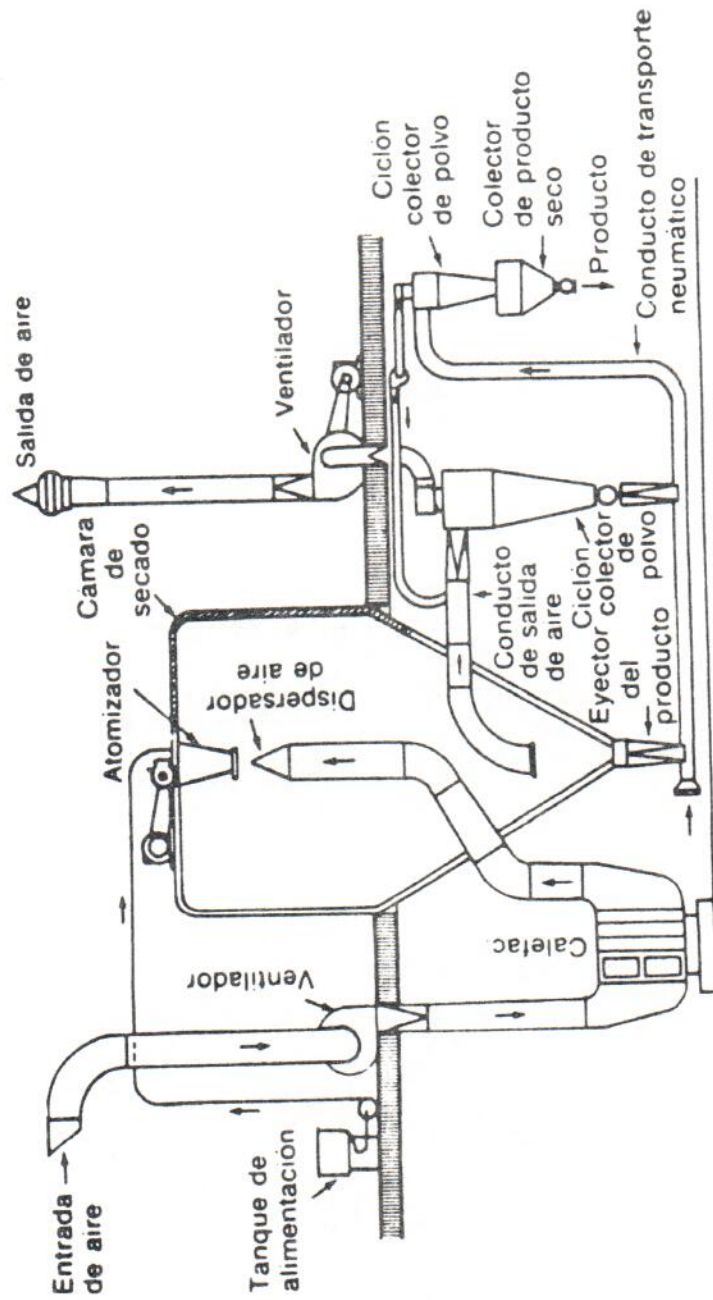


Figura 19. Secador atomizador.

ca).

- Cámara de secado con sistema spray para atomizar el líquido en la cámara.
- Sistema recolector del polvo seco (ciclón).
- Ventilador para la circulación del aire a través del sistema.

Los secadores de dispersión se usan como una alternativa a otros métodos de secado cuando se necesita obtener productos de alta calidad, en productos termolábiles o degradables por oxidación.

En la industria alimentaria se aplica este tipo de secador en polvos de vegetales y frutas, como tomate, limón, naranja, pera y papa.

## V. ASPECTOS GENERALES SOBRE PLANTAS DESHIDRATADORAS

### A. ELECCION DE EQUIPO DE DESHIDRATAACION

Varios aspectos deben considerarse en la elección de un equipo de deshidratación, entre ellos se puede enumerar:

- a. Cantidad de producto húmedo a secar.
- b. Características del producto (aspectos fisicoquímicos, biológicos, si es termolábil, nivel de resistencia mecánica, etc.)
- c. Características finales que se desean obtener en el producto seco.
- d. Velocidad de deshidratación del producto.
- e. Método de calentamiento del producto húmedo ( convección forzada, conducción, radiación, calentamiento dieléctrico ).
- f. Presión y temperatura de operación.
- g. Manera en la cual el producto se encontrará dispuesto en el secador ( fijo, móvil, suspendido en el aire, proyectado al aire).
- h. Costos.

Para la elección de un equipo en particular generalmente es necesario realizar algunos ensayos a escala de laboratorio para determinar las características del secado. Con esos resultados se mejorará la predicción del comportamiento del material en el secado en la planta industrial.

## B. ABASTECIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Debe considerarse:

- \* Ubicación de la planta: debe estar localizada preferentemente cerca de la fuente de materias primas.
- \* Variedades adecuadas de materias: determinan características de calidad del producto, así como los rendimientos económicos del proceso.
- \* Producción y rendimientos: razón de secado (peso producto fresco a peso prod. seco) alta determina costos mayores, calidad del producto fresco a ser deshidratado, etc.
- \* Madurez: el producto fresco debe estar maduro para ser deshidratado; de otra manera, tendrá insuficientes porcentajes de sólidos solubles, sabor, aroma, textura y tamaño. Por otro lado, productos sobremaduros tampoco son convenientes.
- \* Cultivo, cosecha y almacenamiento: para lograr la calidad deseada para la deshidratación, las materias primas deben ser cultivadas, cosechadas y manipuladas bajo condiciones adecuadas. Riego excesivo, uso inadecuado de pesticidas, malas condiciones de embalaje, almacenamiento y transporte son aspectos que deterioran la calidad del producto fresco.

### C. LOCALIZACION DE LA PLANTA

Debe considerarse:

- \* Disponibilidad de un abastecimiento adecuado de materias primas.
- \* Instalaciones adecuadas para eliminar sólidos y líquidos de desecho.
- \* Abastecimiento amplio de agua pura.
- \* Buen abastecimiento de energía (combustible, electricidad, etc.) para la operación de equipos y sistemas.
- \* Mano de obra disponible y adecuada calificación para las necesidades de la empresa.
- \* Entorno libre de problemas de contaminación.
- \* Infraestructura de transporte y comunicaciones adecuada.
- \* Terreno de la planta de suficiente tamaño para las necesidades actuales y futuras.
- \* Clima apropiado para la operación de deshidratación.
- \* Regulaciones, ordenanzas y restricciones de la industria alimentaria.

### D. LAYOUT DE LA PLANTA

Debe considerarse:

- \* Caminos y áreas de estacionamiento aptos para vehículos de carga y transporte de pasajeros.

- \* Areas de carga y descarga de materias primas y productos suficientemente expeditas.
- \* Las diferentes áreas de proceso deben estar suficientemente separadas entre si para prevenir el transporte de polvo, humedad, olores y ruido de una sección a otra.
- \* Disponibilidad de agua fría y caliente.
- \* Areas de trabajo de equipos y personas deben ser holgadas con el fin de evitar estorbos por falta de espacio.
- \* Materiales de desecho deben ser almacenados y/o eliminados sin provocar focos de contaminación biológica química.
- \* El layout del edificio debe permitir futuras expansiones sin necesidad de mayores ajustes del layout existente.
- \* Espacio suficiente para reparación, reemplazo y mantenimiento de equipos.
- \* Flujo de operaciones y materiales en proceso no debe tener interrupciones o limitantes físicas.
- \* Instalaciones sanitarias e higiene del personal.



## VI. DISEÑO DESHIDRATADOR DE FRUTAS Y HORTALIZAS POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

El Departamento de Ingeniería Agrícola, Sección Procesos, diseñó un deshidratador de frutas y hortalizas de flujo descendente. Este, es de construcción simple (albañilería, madera, lana mineral y adobe) y de bajo costo de operación ya que, trabaja con aserrín, viruta o leña como combustible. El flujo de aire es descendente, lo que previene problemas de condensaciones sobre el producto.

La capacidad de deshidratado es variable y funciona en forma intermitente.

La temperatura se regula con el combustible, se agrega más o menos según las necesidades. Consta de controles semi-automáticos, que indican temperaturas de bulbo seco y húmedo y de acuerdo al programa de deshidratado suenan alarmas que indican si falta combustible o debe abrirse compuertas de ventilación. En el cuadro siguiente se muestran los datos de diseño y operación de este deshidratador con sus rangos de variación.

En las figuras 20, 21 y 22 se pueden observar algunos detalles de construcción.

DATOS DE DISEÑO Y OPERACION DESHIDRATADOR  
RANGOS DE VARIACION

Productos a deshidratar	:	frutas, vegetales, otros. (mosqueta).
Capacidad	:	300-4600 (kg fresco/turno).
Forma calentamiento aire	:	aserrín, leña, viruta.
Temperatura del aire	:	40 - 90 (°C).
Velocidad del aire	:	1 - 7 (m/seg).
Area de secado por bandeja	:	2 (m <sup>2</sup> ).
Número de bandejas	:	16 por carro.
Número de carros	:	18.
Equipo para flujo de aire	:	4 ventiladores centrífugos (150m <sup>3</sup> /min).

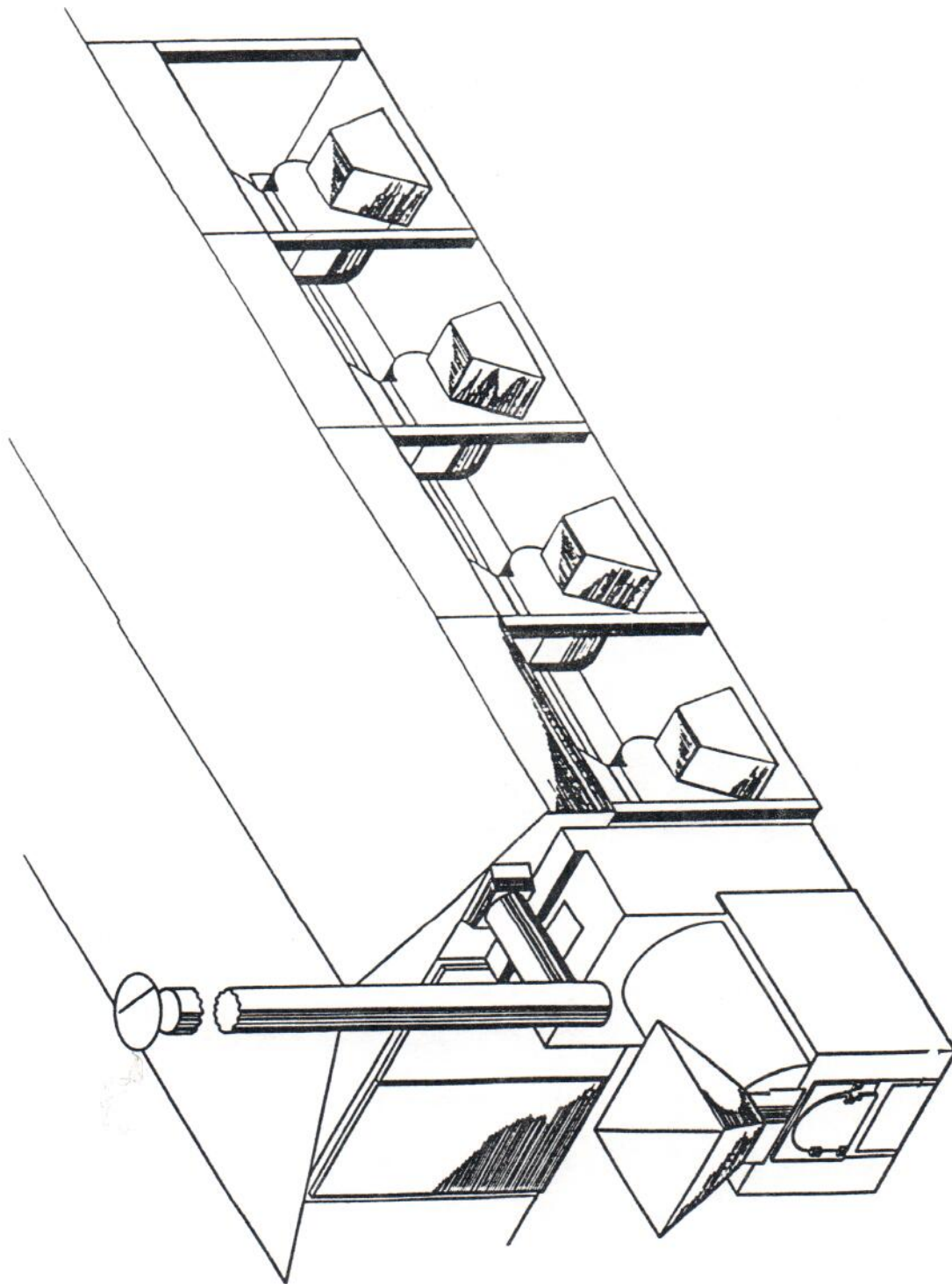


Figura 20. Isométrica deshidratador frutas y hortalizas.

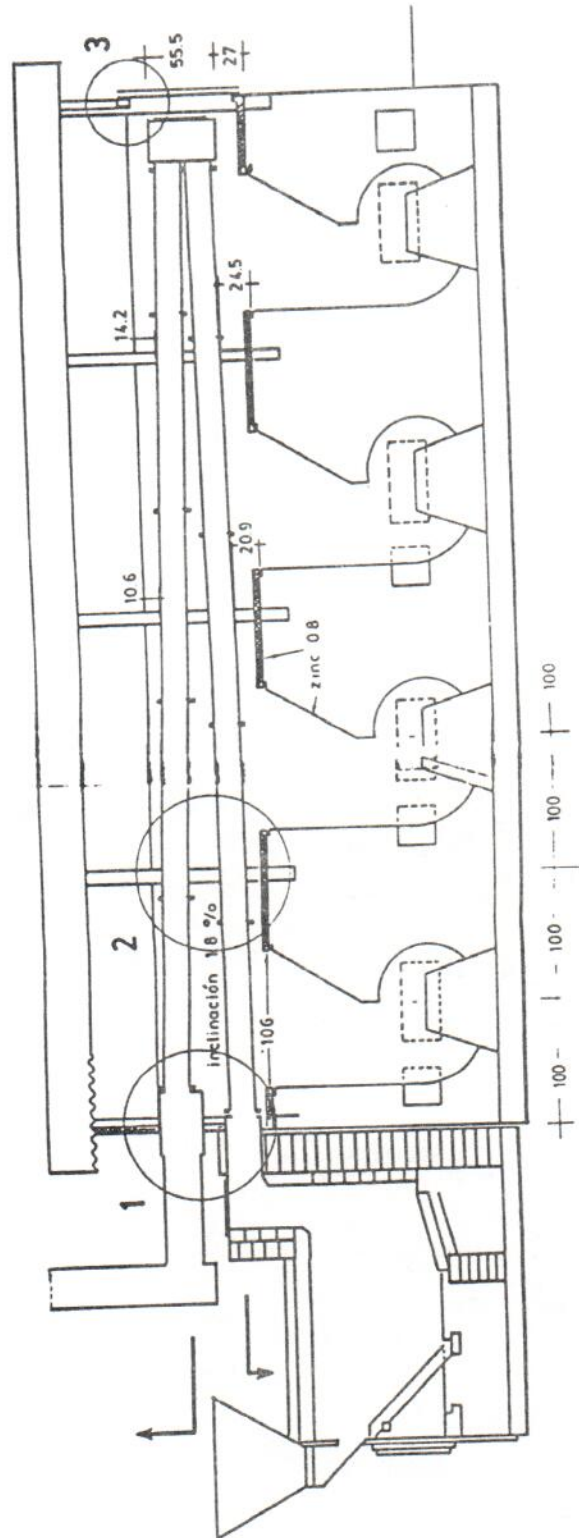


Figura 21. Corte lateral deshidratador frutas y hortalizas.

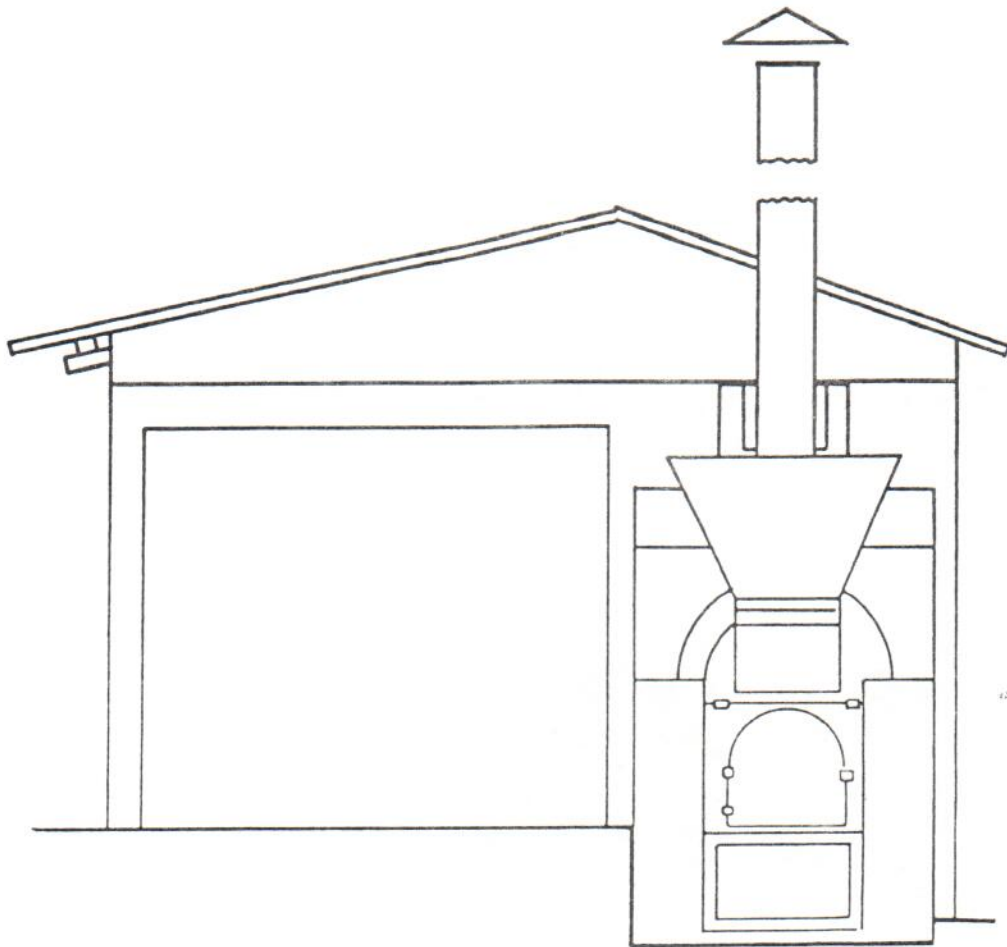


Figura 22. Vista Frontal deshidratador frutas y hortalizas.

## VII. APLICACIONES

A. CONDICIONES DE DESHIDRATAACION PARA ALGUNAS FRUTAS  
Y HORTALIZAS.

---

PRODUCTO	TEMPERATURA DE SECADO ( °C )
Callampas	40 - 45
Ciruela	60 - 75
Cilantro	45 - 50
Damascos	55 - 70
Durazno	60 - 75
Espárragos	50 - 65
Espinaca	45 - 50
Manzana	50 - 65
Mosqueta	60 - 75
Orégano	40 - 45
Perejil	45 - 50
Uva	55 - 70
Zapallo	45 - 55

---

**B. RELACION DE CONVERSION PARA ALGUNOS PRODUCTOS****DESHIDRATADOS**

---

<b>PRODUCTO</b>	<b>kg. fresco/kg. deshidratado</b>	
Callampas	10	- 20
Ciruelas	2.5	- 3
Damascos	5.5	- 7
Duraznos	6	- 7
Espárragos	10	- 12
Manzanas	7	- 10
Mosqueta	4	- 6
Orégano	2	- 3
Pimiento	12	- 18
Uva	4	- 5

---

C. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE FRUTAS Y HORTALIZAS  
DESHIDRATADAS

Para cada tipo de producto procesado existe ya una tradición de mercado que señala las características primarias más importantes, a las cuales debe ceñirse su producción. Las características más importantes de frutas y hortalizas deshidratadas son las siguientes:

1. Frutas

Se señala como variables primarias:

a. **Corte:**

Puede variar desde productos sin cortar (uva, ciruela), hasta productos que se comercializan en varios tipos de corte, como la manzana (cubos, anillos, etc.)

b. **Calibre:**

Se refiere al tamaño del producto, cuando este se deshidrata entero o en mitades. En general, en frutas es común observar tres calibres; la excepción es la ciruela, donde existe un sistema de calibración en número de unidades por unidad de peso.

c. **Variables de la materia prima:**

En el caso particular de la uva, se refiere a la presencia o ausencia de pepas (variedades seedless).



**d. Humedad:**

En varias frutas deshidratadas se conocen productos de diferente humedad. En ciruelas, los productos deshidratados tienen un contenido de humedad menor de 25%, los tiernizados pueden llegar hasta 30% o superior, con la adición de un preservante químico.

En manzanas deshidratadas, la fruta de alta humedad puede hasta un 24% de agua, en tanto la fruta de baja humedad tiene entre un 3 y 5%.

**e. Contenido de anhídrido sulfuroso:**

Se considera como característica primaria pues influye directamente en el color de algunas frutas deshidratadas.

**f. Presencia de partes no comestibles:**

Esta característica considera los casos del durazno y ciruela ( con o sin carozo), o bien la manzana (con cáscara y corazón).

**2. Hortalizas**

Las características primarias son:

**a. Corte:**

En general, las hortalizas se fraccionan en forma más reducida que las frutas (anillos, cubos y polvo de diferente granulometría).

**b. Granulometría:**

Se refiere al tamaño de la partícula del producto seco. Las denominaciones granulométricas se producen por procesos de post-secado, generalmente molienda y clasificación.

**c. Humedad:**

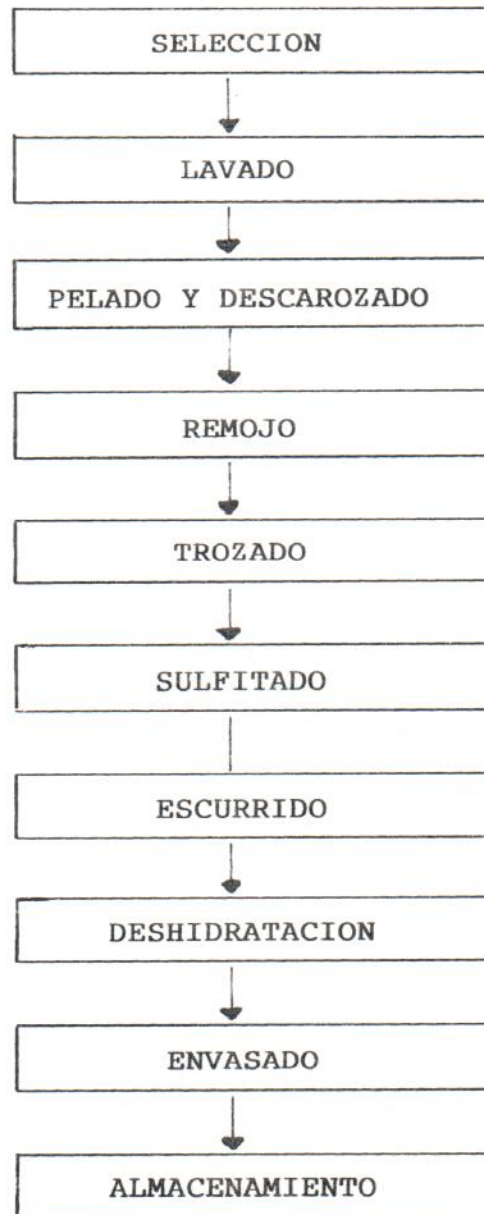
En general, la humedad final de las hortalizas es menor que la de la fruta, estando en el rango de 3-6%.

**d. Color:**

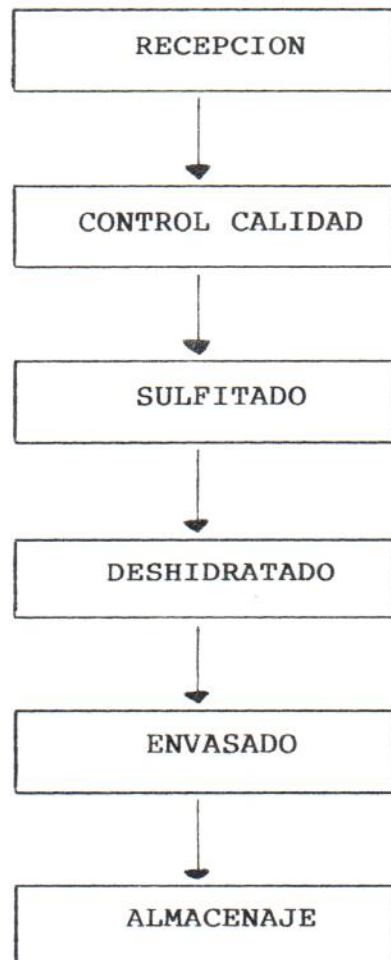
En algunas hortalizas, el color es importante como característica externa primaria, pudiendo darse el caso de productos de una misma especie y de diferente color, por ejemplo, por materia prima en distintos estados de madurez (pimentón), dos o más partes de una planta de diferente color (puerro), o como resultado de un proceso como es el caso de la cebolla deshidratada y tostada.

D. DIAGRAMAS DE FLUJOS DE ALGUNOS PROCESOS

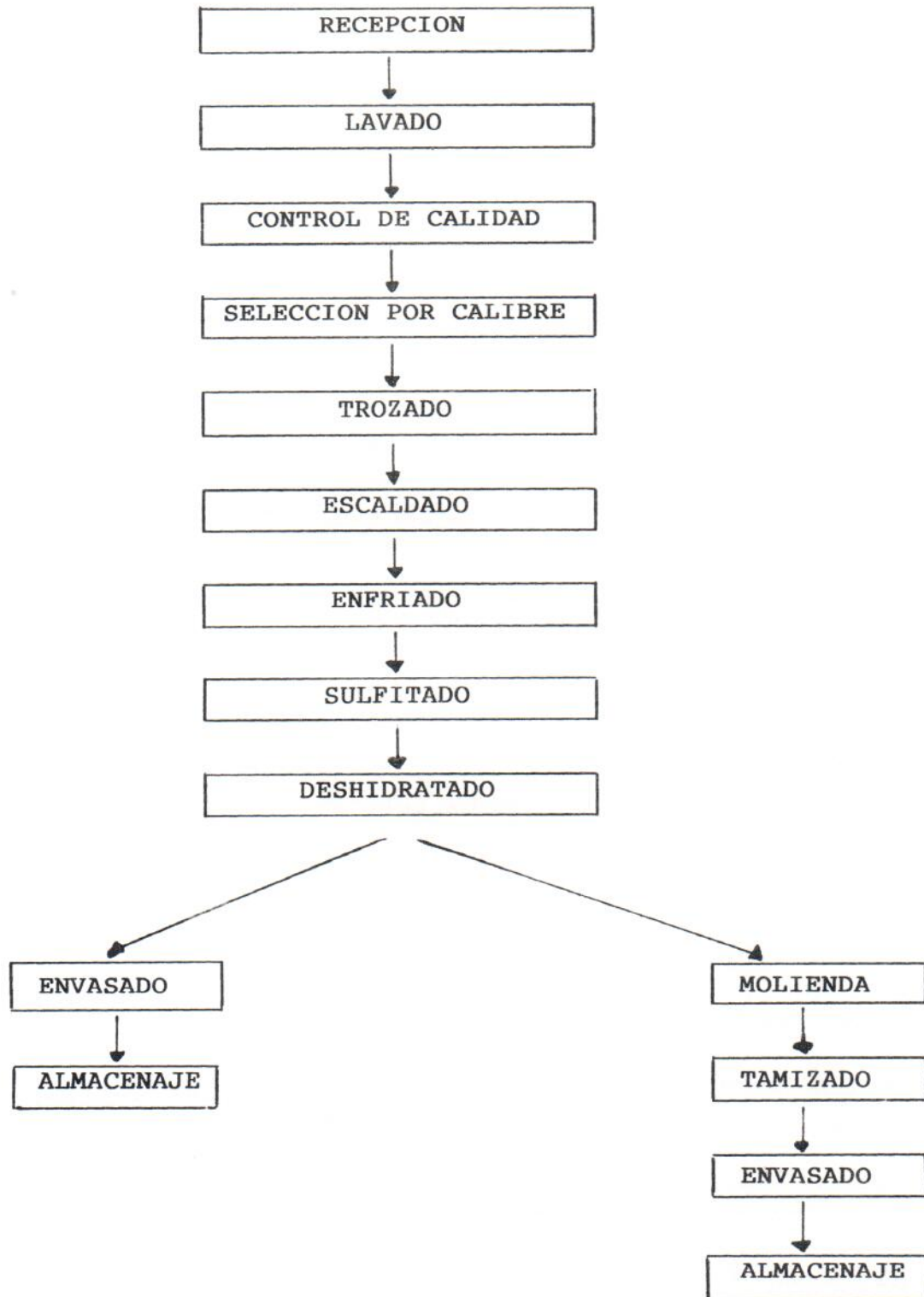
## LINEA DE FLUJO DE ELABORACION DE "SNACK" DE MANZANAS



## LINEA DE FLUJO DE FRAMBUESA DESHIDRATADA



## LINEA DE FLUJO DE DESHIDRATADO DE ESPARRAGOS



## VIII. BIBLIOGRAFIA

- 1 . ADAMS, R.L. and THOMPSON J.F. 1985. Improving Drying Uniformity in Concurrent Flow Tunnel Dehydrators. Transaction of the ASAE, Vol. 28(3), pp. 890-892.
- 2 . AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1982. Food, Fiber and the Future, Published by the American Society of Agricultural Engineers. U.S.A.
- 3 . BRENNAN, J.G. et al. 1975. Food Engineering Operations. 2a. Ed. Applied Science Publishers Limited, London.
- 4 . MORALES, P., JIMENEZ G. and ARATA N. 1983. Deshidratación de vegetales. Alimentos. Vol. 8(4), pp 5 - 8.
- 5 . CHILE, Ministerio de Agricultura.  
Oficina de Planificación Agrícola.  
CHILE: estadísticas agropecuarias 1975-1987.  
Santiago, Chile, ODEPA, 1988 622p.
- 6 . PERRY R.H. and CHILTON C.H. 1973. Chemical Engineers' Handbook. 5a Ed. Kosaido Printing Co., Ltda.  
Tokyo, Japón.
- 7 . POBLETE, RICARDO. 1984. Aplicación de la Deshidratación en Alimentos, Publicación Técnica N°11, División Frutas y Hortalizas, Fundación Chile, Chile.

- 8 . SAENZ, C.H. et al. 1988. Obtención de Manzanas Deshidratadas todas tipo crocante. Alimentos, Vol. 13 (2) . pp 7 - 12.
- 9 . TREYBAL, ROBERTO. 1970. Operaciones con Transferencia de Masa. Editorial Hispano Americana S.A., Buenos Aires.
10. VAN ARSDEL, W.B.: COPLEY, M.J. and MORGAN, A.J. 1973. Food Dehydration. Vol 1, 2a Ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. U.S.A.
11. WOODROOF, J.G. and LUH, B.S. 1975. Commercial Fruit Processing, The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, U.S.A.